

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA

UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS EM TEORIA
ELETROMAGNÉTICA: INFLUÊNCIAS NA APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE
GRADUAÇÃO E UMA PROPOSTA INICIAL DE UM CAMPO CONCEITUAL
PARA O CONCEITO DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO

TESE DE DOUTORADO

GLAUCO COHEN FERREIRA PANTOJA

PORTO ALEGRE

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
DOUTORADO EM ENSINO DE FÍSICA

UNIDADES DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS EM TEORIA
ELETROMAGNÉTICA: INFLUÊNCIAS NA APRENDIZAGEM DE ALUNOS DE
GRADUAÇÃO E UMA PROPOSTA INICIAL DE UM CAMPO CONCEITUAL
PARA O CONCEITO DE CAMPO ELETROMAGNÉTICO

Glauco Cohen Ferreira Pantoja

Tese de Doutorado em Ensino de Física
apresentada ao PPGENFIS e realizada,
como requisito parcial para obtenção do
título de Doutor em Ensino de Física, sob
orientação do Prof. Dr. Marco Antonio
Moreira.

PORTO ALEGRE

2015

“If I can’t be on my own, I’d feel better dead”¹
(Alice in Chains – Nutshell).

¹ Em tradução livre “se eu não pudesse ser eu mesmo, eu me sentiria melhor morto”.

Dedico este trabalho:

ao meu amado pai, Raimundo Pantoja Jr,
por me estimular o cultivo da resiliência

à minha querida mãe, Rina Pantoja, por me
estimular o estudo e o uso da racionalidade

ao meu incrível irmão, Felipe Pantoja , por
ser o fluxo de alegria e de inspiração em
vários períodos turbulentos

ao meu grande amor, Amanda Cantal, por
me fazer recuperar o sorriso e a vontade de
continuar

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, por ser uma grande referência em vida e por continuar sendo, mesmo depois de falecido, através da sua memória. Por ajudar a constituir minha “espinha dorsal psicológica” e por me ensinar a ser um adulto, resignado e sereno quando preciso, porém, com fibra e perseverança quando fundamental. Por me guiar pelos caminhos da honestidade e do respeito ao próximo, por me ensinar que nossos desejos e caprichos não são prioridade para o mundo ou para a sociedade.

À minha mãe, outra grande referência para mim. Por me mostrar a importância da organização na vida, da sistemática equilibrada e do “um pouco a cada dia”. Por me ser sincera ao ponto de “furar a carne”, por me ensinar a ser crítico, a questionar, a buscar mais a fundo tudo o que precisa ser descoberto.

Ao meu irmão, que me mostrou a importância da intuição e da criatividade. Por me mostrar que um homem equilibrado não é um diligente paranoico e tampouco um improvisador irresponsável. Por transformar diversas das minhas tristezas, tanto no passado como hoje, em alegrias, por ser a pessoa que me entende de verdade.

À minha eterna companheira, Amanda, pelo apoio, compreensão e incentivo. Pelo suporte psicológico imprescindível para articular uma tripla jornada: conjugal, acadêmica e profissional. Pelos ótimos momentos que me fizeram retomar o prumo da razão, pelos planos, pela esperança de um mundo melhor, por me ajudar a superar traumas. Enfim, por estar sempre ao meu lado e por me ajudar a guiar a minha própria razão e por entender meus raciocínios tortuosos.

À família da Amanda, a saber, Mônica (mãe), Roberto (pai), Bruna (irmã), Caio (irmão) e o canino Doug (filho canino) por me acolher como se fosse um deles, pelo bom trato, pelos momentos divertidos e por preencher, mesmo que parcialmente, um vácuo deixado pela distância geográfica com respeito à minha mãe, que mora a 900 km de mim, do meu irmão, residente em outro país e de meu pai que já não mais está entre nós.

Ao meu orientador, Marco Antonio Moreira, pelo incentivo, pela confiança e pelos conselhos quando me encontrava “perdido” em relação à minha própria carreira. Pelo conhecimento compartilhado e pelo estabelecimento de uma relação de independência que se adequa ao meu perfil.

Aos meus companheiros da banda Cérbero, Silvan (meu primo), Angelo e Junior, pela amizade, pela compreensão e risadas. Aos meus amigos da banda Crush Bones, Alvaro e Valdeleon pelos momentos divertidos.

Parece estranho, mas gostaria de agradecer aos meus parceiros caninos de lar, Fox e Max pelo apoio incondicional (muitos risos por escrever isto). Sim, o amor deles é literalmente incondicional. Ao outro canino, Fred, que mora com minha mãe por me acompanhar nessa trajetória desde o segundo ano do Ensino Médio (na graduação, várias vezes meu pai dizia que ele ficava estudando Física Quântica comigo).

Aos meus colegas da Universidade Federal do Oeste do Pará, em especial aos coordenadores de curso, Karlúcio Castelo-Branco, Edson Akira, José Aquino e Sebastián Mancuso pela ajuda com as possibilidades que contribuíram a finalizar este trabalho.

Aos meus épicos amigos de Porto Alegre (alguns nem tão gaúchos), que me ajudaram a entender melhor as coisas da vida, dentre eles Paulo Lima Jr., Everton Granemann, Mara Parisoto, Leo Heidemann, Nathan Pinheiro, Diomar Deconto, Ricieri, Mozart Oliveira, Alexsandro Pereira, Maykon Müller, Eliane Schäffer, Maria Cecília, Breno Dröse, Josiane de Souza, Leonardo Decker, William Stradolini, João Streibel, Igor Kosarczuc, Ariadne Pazzini, Jéssica Gertz, Lucas Fernandes, Jéssica Fontoura, Guilherme Volkmer, Douglas Oscar, Érison Rocha, Luiz Ernesto, Vitoria Nani, Felipe Kunzendorff, Rodrigo Fraga, Marcelo Bebber, Beatriz Fontoura, Gabriel Martell, Vagner Carvalho, Deyvison Borba, Jennifer Carrion, Marcelo Tedesco e Daniel Serafim.

Às minhas grandes amigas Nilzilene, Daiane e Angélica pela amizade, pelo apoio, conversas e confiança. À Nilzilene, em especial, por ficar me aconselhando a toda hora. Acho que ela quer ser minha mãe (risos).

Aos meus professores da graduação em Física na UFPA, do mestrado em Ensino de Física e do doutorado em Ensino de Física da UFRGS. Sem a inspiração e a inteligência deles, o caminho teria sido muito mais difícil. Em especial aos professores Ives Araújo e Eliane Veit por abrir minha cabeça durante a disciplina de Modelagem Computacional no Ensino de Física.

A todos os que torceram, de alguma forma, por mim nesta longa e engrandecedora caminhada rumo à lapidação contínua do meu ofício, sem o qual minha existência perderia todo sentido (“If I can’t be on my own, I’d feel better dead”), eu agradeço imensamente. O sorriso e o sincero abraço de vocês contribuíram bastante neste processo. Inclusive para o “amolecimento” do meu coração que agora, mais que nunca, precisa de uma casca grossa para ser protegido (risos). Vocês entendem.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Por que as UEPS?	13
1.2. Perguntas de pesquisa	17
1.3. Por que um Campo Conceitual para o eletromagnetismo?.....	18
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1. Conceito de Campo.....	23
2.2. Campo Elétrico	23
2.3. Campo Magnético.....	29
2.4. Indução Eletromagnética	31
3. REFERENCIAL TEÓRICO	35
3.1. O conceito de Aprendizagem Significativa como construção Supra-teórica... 35	
3.2. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud	36
3.3. A Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird.....	41
3.4. A Proposta de Greca e Moreira para a Aprendizagem Significativa	44
3.5. Visão epistemológica e ontológica adotada no trabalho.....	49
4. METODOLOGIA	56
4.1. Metodologia didática	56
4.2. O contexto de implementação da pesquisa	58
4.3. Descrição das UEPS	65
4.4. Metodologia investigativa.....	97
5. RESULTADOS.....	104
5.1. Possíveis Esquemas e Modelos Mentais apresentados pelos alunos relativos às classes de Situações trabalhadas e suas Representações.....	111
5.2. Primeiro estudo	212
5.3. Segundo estudo	256
5.4. Terceiro estudo	307
6. DISCUSSÃO.....	347
6.1. Como ocorre a construção das possíveis representações internas e uso de possíveis Operações de Pensamento dos estudantes relativas ao Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?.....	347
6.2. É possível evidenciar a facilitação do domínio do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?.....	363

6.3. Qual a capacidade explanatória da proposta de Greca e Moreira (2002) que integra Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação?	366
6.4. Que Classes de Situações, Operações de Pensamento e Representações Externas podem ser enquadradas no Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético para orientação do Ensino em nível de Física Geral (graduação)?	368
6.5. Aspectos limitantes para a implementação de uma UEPS	372
7. PERSPECTIVAS FUTURAS	374
8. REFERÊNCIAS	376
APÊNDICE A – Ficha catalográfica de achados da revisão da literatura.....	381
APÊNDICE B – Descrição detalhada das aulas nos estudos II e III.....	399

RESUMO

Neste trabalho discutimos os resultados de uma pesquisa envolvendo três estudos sobre as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, propostas por Moreira (2011), aplicadas ao Eletromagnetismo, tendo como corpo estruturante as equações de Maxwell. Discutimos, primeiramente, a relevância do trabalho como associada a uma potencial facilitação dos mecanismos de aprendizagem significativa cientificamente aceita e epistemologicamente coerente por parte dos alunos e, pois, ao desenvolvimento de possíveis novos modelos mentais e esquemas de assimilação que se distanciem do conhecimento de senso comum, recorrente em alunos de diversas faixas etárias. Abordamos, ainda, o conhecimento obtido sobre as pesquisas cobrindo aprendizagem (por parte de alunos e professores) de conteúdos de eletromagnetismos em propostas didáticas diferenciadas, dificuldades (de estudantes e de professores) no trato com assuntos envolvendo teoria eletromagnética, análises de materiais didáticos e currículos envolvendo eletromagnetismo, e discussões teórico-epistemológicas sobre conteúdos da disciplina. Percebe-se que o maior número de publicações na área está nas duas primeiras categorias e há evidências de o conhecimento dos estudantes se encontrar muito distante do conhecimento científico e de as propostas didáticas enfocando ensino por investigação e outras metodologias (como a de Shen e Linn, 2011) serem frutíferas. Apresentamos, ainda, no trabalho as ideias norteadoras do referencial teórico, a saber, as teorias dos Campos Conceituais (as relações entre os complexos conceitos de esquema, de situação e Campo Conceitual) e dos Modelos Mentais (as relações complexas entre modelo de trabalho e a tentativa de junção disto com a referência epistemológica dos Campos Conceituais, entendendo modelos mentais como geradores de operações de pensamento de curto prazo). Discutimos como estas ideias se enquadram na montagem das UEPS a partir de princípios norteadores: 1) conhecimento prévio é o ponto de partida do ensino-aprendizagem, 2) aprendizagem significativa envolve a integração entre pensamentos, sentimentos e ações de forma construtiva, 3) a aprendizagem significativa só ocorre se for intencional, deliberada, 4) as situações dão sentido aos conceitos, 5) os modelos mentais operam na memória de trabalho, 6) o ensino deve intercalar a diferenciação progressiva e reconciliação integradora, 7) a aprendizagem significativa é progressiva, 8) o papel do professor é de provedor de situações-problema para os estudantes, 9) existe uma relação triádica entre professores, alunos e materiais educativos, 10) a aprendizagem significativa deve ser crítica. Descrevemos as três UEPS implementadas no primeiro estudo (Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Eletromagnética) e as quatro implementadas no segundo estudo (Campo, Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Magnética). Apresentamos as ligeiras diferenças entre elas, enfatizando mais o aspecto conceitual e colocando a formalização em um estágio posterior à conceitualização. Por fim, são discutidas as representações internas usadas pelos estudantes para processar operações de pensamento para conduzir o domínio classes de situações e a estabilização de Modelos Mentais (provisórios) em Esquemas de Assimilação (mais estáveis). Discutem-se, ainda, as Classes de Situações mapeadas para o Eletromagnetismo de nível de ciclo básico de Graduação, bem como as representações mais adotadas pelos estudantes, isto é, apresenta-se uma proposta inicial

para o Campo Conceitual do Conceito de Campo Eletromagnético recortado em três partes: Eletrostática, Magnetostática e Eletrodinâmica. Propomos, também, quatro grandes classes de situações possíveis de orientar o ensino de Eletromagnetismo envolvendo as quatro ações seguintes: Descrição de Interações, Representação Analógica, Representação Simbólica, e Cálculo do Campo. Através da síntese teórica de Greca e Moreira (2002), foi possível classificar as ações dos estudantes nos Campos da Eletrostática, da Magnetostática e da Eletrodinâmica. Propusemos tipos de Representação Interna para análise da ação cognitiva dos estudantes tanto em Curto como em Longo Prazo. Classificamos as ações dos estudantes em determinadas formas, distinguindo entre as Ações dos estudantes com base na conceitualização empregada por eles em distintas classes de Situações. Com respeito ao conceito de Campo, classificamos as ações em: Descrição de Interações Físicas (I); Representação Analógica do Campo (A); Representação Simbólica do Campo (S). Com respeito ao conceito de Campo Elétrico, classificamos as ações em: Descrição de Interações Elétricas (I.E); Representação Analógica do Campo Elétrico (A.E); Representação Simbólica do Campo Elétrico (S.E); Cálculo do Campo Elétrico (C.E). Com respeito ao conceito de Campo Magnético, classificamos as ações em: Descrição de Interações Magnéticas (I.B); Representação Analógica do Campo Magnético (A.B); Representação Simbólica do Campo Magnético (S.B); Cálculo do Campo Magnético (C.B). Com respeito ao conceito de Campo Eletromagnético, classificamos as ações em: Descrição de Interações Eletromagnéticas (I.J); Representação Analógica do Campo Eletromagnético (A.J); Representação Simbólica do Campo Eletromagnético (S.J); Cálculo do Campo Eletromagnético (C.J). Discutimos, por fim, as implicações do trabalho para a ideia de Aprendizagem Significativa progressiva, a Influência das UEPS no Ensino e na Aprendizagem de Eletromagnetismo em nível de graduação e a importância da estruturação do Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético, tanto para a organização do Ensino como para estudo de Processos Significativos de Aprendizagem.

Palavras-chave: Eletromagnetismo, UEPS, Aprendizagem Significativa.

ABSTRACT

In this work we discuss the first results of two studies on the Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU) proposed by Moreira (2011), applied to the teaching of Electromagnetism and based on the Maxwell's equations. We firstly discuss the relevance of the work as being associated to a potential facilitation of students' meaningful learning mechanisms (scientifically correct and bounded to epistemological coherence) and so to the development of new possible mental models and assimilation schemes that progressively getting further common sense. We discuss, yet, knowledge produced in the literature covering learning of electromagnetism content in new didactical approaches, difficulties students tackle when studying the subject, didactical stuff and curricular analyses on electromagnetism, and theoretical-epistemological discussions on the electromagnetic theory. We found a greater number of researches in the first two categories compared to the other ones. There is evidence that students' knowledge is distant from scientific knowledge and that didactical proposals based on inquiry teaching and other methodologies (as the one due to Shen and Linn, 2011) are prompted to facilitate meaningful learning. We also present the guiding ideas in the theoretical framework, which is based in the Conceptual field theory (the relations between the complex concepts of scheme, situation and conceptual field) and in the Mental model theory (the relations between working model, the attempt of merging this idea to the epistemological reference of Conceptual field, thinking as mental models of generators of short-term thought operations). We discuss how these ideas are framed when building a PMTU once we present guiding lines to be followed: 1) prior knowledge is the starting point to teaching-learning processes, 2) meaningful learning embraces the integration of thoughts feelings and actions in a constructive way, 3) meaningful learning just occurs if it is intentional, if it is done by the student's free will, 4) situations gives rise to concepts, 5) mental models operate in the working memory, 6) teaching must mix progressive differentiation and integrative reconciliation, 7) meaningful learning is progressive, 8) the teacher must provide problem-situations for the students, 9) there is a triadic relationship among teachers, students and educative materials, 10) meaningful learning must be critical. We describe three PMTU implemented in the first study (Electric Field, Magnetic Field and Electromagnetic Induction) and four that were implemented in the second study (Field, Electric Field, Magnetic Field and Electromagnetic Induction). We present the slight differences among them, emphasizing the conceptual bias we have given by putting formalization in the stage that followed conceptualization, instead of working on it in parallel with conceptualization. We discuss internal representation used by students to process thought operations driven to master classes of situations, the stabilization of Mental Models in Assimilation Schemas, the Classes of Situations we've mapped to Electromagnetism (universities basic cycle), as long as the most used representation carried by the students, namely, an initial proposal for a Conceptual Field for the concept of Electromagnetic Field, that was divided in three parts: Electrostatics, Magnetostatics and Electrodynamics. We also discuss four great classes of situation that are useful for orienting Electromagnetism teaching: Description of Electromagnetic

Interactions, Analogical Representation of the Electromagnetic Field, Symbolic Representation of the Electromagnetic Field and Calculations of the Electromagnetic Field. Using the theoretical synthesis between Conceptual Field Theory and Mental Models Theory, due to Greca and Moreira (2002), it was possible to classify students' actions in problem-solving on Electrostatics, Magnetostatics and Electrodynamics. We also propose types of Internal Representation for analyzing students' cognitive action in long and short term. We classify students' actions distinguishing among them by conceptualization they used when mastering different classes of Situations. With respect to the concept of Field, we classified these actions in four different and complementary ways, namely: Description of Physical Interactions (I); Analogical Representation of the Field (A); Symbolic Representation of the Field (S). With respect to the concept of Electric Field, we classified those actions in: Description of Electric Interactions (I.E); Analogical Representation of the Electric Field (A.E); Symbolic Representation of the Electric Field (S.E); Calculation of the Electric Field (C.E). We classified the cognitive actions of the students when tackling Situations related to the concept of Magnetic Field in: Description of Magnetic Interactions (I.B); Analogical Representation of the Magnetic Field (A.B); Symbolic Representation of the Magnetic Field (S.B); Calculation of the Magnetic Field (C.B). We classified the cognitive actions of students tackling the concept of Electromagnetic Field in: Description of Electromagnetic Interactions (I.J); Analogical Representation of the Electromagnetic Field (A.J); Symbolic Representation of the Electromagnetic Field (S.J); Calculation of the Electromagnetic Field (C.J). We finish this work discuss the implications of the work for the idea of progressive Meaningful Learning, the influence of PMTU in Teaching and Learning of Electromagnetism in undergraduate level and the importance of structuring the Conceptual Field for the concept of Electromagnetic Field, both for the organization of Teaching and study of Meaningful Learning Processes.

Keywords: Electromagnetism, PMTU, Meaningful Learning

1. INTRODUÇÃO

1.1. Por que as UEPS?

Segundo Wandersee et al. (1994) desde a década de 90, pesquisas apontam que estudantes não têm obtido sucesso no entendimento de conceitos básicos em Física. O movimento das concepções alternativas indica isto já na década de 70 e as pesquisas em Mudança conceitual objetivaram, na década de 80, facilitar tal compreensão sem obter sucesso (Greca e Moreira, 2002). Furió et al. (2003) apontam vários motivos para isto e enfatizam, dentre outros, o ensino meramente transmissivo (narrativa) e linear. Facilitar a Aprendizagem Significativa de conceitos parece ser, portanto, um problema de longa data.

O primeiro elemento (uso exclusivo da narrativa) tolhe, em alguns aspectos, a participação ativa do estudante na construção de novos conhecimentos a partir do conhecimento prévio em sua estrutura cognitiva (Ausubel, 2000) nas situações de sala de aula. David Ausubel afirma que a aula expositiva deve ser bem planejada e deve carregar em seu bojo princípios programáticos coerentes com as ideias da teoria da Aprendizagem Significativa, muitas vezes não levados em conta na programação do ensino. A narrativa, a nosso ver, deve ser substituída por processos que propiciem maior ação, explicitação e desequilíbrio cognitivo por parte do estudante, para que este atinja a adaptação dos seus conhecimentos prévios a novas situações, conforme afirma Vergnaud (1996).

O segundo elemento (ensino epistemologicamente linear) dificulta a aquisição significativa do conteúdo de Física sob um prisma epistemológico mais adequado em relação a ideias empiristas/indutivistas ou concepções da ciência como construto acabado. Este fator é foco de pesquisas apontando que a mudança conceitual tem como condições necessárias, uma metodologia de ensino que favoreça a postura atual/crítica em relação aos conteúdos trabalhados e a apresentação de uma visão de Ciência alinhavada à epistemologia moderna. Neste trabalho, trazemos algumas ideias pinçadas de forma coerente de distintos referenciais, a saber, Fourez (1995), Popper (1972) e Bunge (2009)

Gil-Pérez e Carrascosa-Alis (1994) afirmam que o alinhamento do trabalho escolar com alguns aspectos compatíveis com o do conhecimento científico como, por exemplo, discussão entre grupos e o levantamento e testagem de hipóteses, pode satisfazer a essas condições. Não fazemos aqui apologia à aprendizagem por investigação pura, mas ao estímulo de atividades coerentes com o pensamento científico, tais como: levantamento e testagem de hipóteses, construção de modelos, discussão em grupo, etc.

Moreira (2011, p.19) sugere as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), nas quais incorpora elementos importantes presentes em teorias de aprendizagem. Essas unidades encarregam-se, teoricamente, da facilitação da aprendizagem significativa do conteúdo e de uma visão adequada da natureza da Física,

isto é, aquisição de conhecimento cientificamente correto e epistemologicamente mais adequado que o indutivismo/empirismo puro.

As UEPS são sequências didáticas fundamentadas em teorias de aprendizagem (Moreira, 2011, p.19) que têm como objetivo a facilitação da Aprendizagem Significativa. Esta aprendizagem deve ser, no entanto, compatível com um ensino seguindo uma visão epistemológica enfocando o caráter problematizador e não-linear da Ciência e, sobretudo, focada na aquisição de conhecimento cientificamente aceito. Em outras palavras, o ensino deve facilitar aquisição longa de largos conjuntos de conhecimento coerentes com o conhecimento científico produzido e com a forma pela qual é produzido (adequação epistemológica). Este é (ou deveria ser) o objetivo principal do ensino de ciências e é compatível com a premissa das UEPS.

A aprendizagem significativa insere-se neste contexto, como objetivo principal da UEPS que é, no entanto, somente potencialmente significativa, ou seja, seu conteúdo pode ser incorporado à estrutura cognitiva de um indivíduo de forma não-arbitrária e não literal e, portanto, o aprendiz deve estar predisposto a isto. A questão da intencionalidade, a ser discutida no referencial teórico, torna-se ponto chave no problema, pois é função dos traços cognitivos e pessoais do aprendiz e muitas vezes não pode ser facilmente manipulada. A eficácia alta de uma UEPS, entretanto, pode, além de facilitar a aprendizagem significativa de alunos predispostos à mesma, lançar luz sobre o aspecto de intencionalidade, permitindo assim a identificação tanto de alunos não predispostos cognitivamente à aprendizagem significativa (o que permitiria voltar nossas preocupações à meta-cognição) como dos alunos cujos traços de personalidade impeçam este tipo de aprendizagem (alunos desmotivados).

Neste sentido, é fundamental destacar que o conceito de aprendizagem significativa pode ser tratado desde uma perspectiva supra-teórica (Moreira, 1997, p.19), pois sendo o produto fenomenológico da interação não arbitrária e não literal dos conhecimentos a serem aprendidos com a estrutura cognitiva, podemos entendê-lo não somente desde a perspectiva da aprendizagem verbal-predicativa de Ausubel, mas também desde a perspectiva desenvolvimentista de Vergnaud como associada ao conhecimento implícito, porém consciente, na forma operatória e também à luz da teoria cognitiva dos modelos mentais de Johnson-Laird, cujo construto pode dar origem a esquemas de assimilação (Greca e Moreira, 2002). A intencionalidade, já trazida à tona no parágrafo anterior, subjaz o processo e está estritamente ligada à integração construtiva de pensamentos, sentimentos e ações (Moreira, 2011, p. 31).

A investigação destes aspectos altamente específicos é importante tanto para a melhor caracterização da dinâmica da parcela da estrutura cognitiva associada a grupos de conceitos específicos como a Física (Termodinâmica, Eletromagnetismo, Relatividade) ou a Matemática (Operações Aditivas, Operações Multiplicativas, Cálculo Diferencial), como para a construção e corroboração de princípios didático-programáticos potencialmente significativos como as UEPS.

Quanto à natureza da Ciência, visamos uma abordagem explícita (Abd-El-Khalic, 2000), isto é, evidenciada ao longo da instrução, como meio para facilitação da aprendizagem significativa de conhecimentos cientificamente aceitos.

A Física é uma Ciência que: passa por saltos qualitativos (conceituais) entre ideias que suplantam umas às outras até o atingimento da degenerescência de umas e progresso de outras; é composta por uma comunidade; é inserida em um contexto social; realiza processos como levantamento e testagem de hipóteses. A comunicação desta visão evitaria, *a priori*, o caráter linear associado ao conhecimento científico em diversos livros didáticos como, por exemplo, a obra de Halliday et al. (2004). Um bom exemplo de contraprodução da abordagem didática ortodoxa, é a diferença das visões de ciência evidenciadas pela sequência didática apresentada em eletromagnetismo na obra de Halliday et al. (ibid), por exemplo, e a exibida por Furió e Guisasola (1998) que afirmam ter ocorrido um salto qualitativo do perfil conceitual coulombiano para o maxwelliano devido à mudança ontológica ocorrente na primeira metade do século XIX em virtude de novas formas de conceber cargas e interações eletromagnéticas.

Quanto à facilitação da aquisição do conhecimento científico, apropriar-nos-emos da estrutura apresentada por Moreira (2011) para a construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas. Essas unidades são embasadas, na sua construção, em teorias de aprendizagem a serem descritas no referencial teórico (seção 6) apresentado no trabalho.

Para a facilitação de uma Aprendizagem Significativa coerente tanto com o conhecimento científico como com uma visão adequada da natureza da Ciência, sugerimos a construção das UEPS e investigação dos seus efeitos sobre o domínio do conhecimento de um conceito estruturante em Física, a saber, o conceito Campo (Vergnaud, 1997). Em particular, o foco estará no conceito de Campo Eletromagnético (Campo elétrico, Campo Magnético e Indução eletromagnética).

O conceito de Campo é ubíquo e consensualmente aceito como importante na descrição das mais variadas interações da Física, desde a Física Clássica até a Física Contemporânea. Como Llancaqueo et al. (2003) afirmam, o conceito é fundamental para descrever e explicar fenômenos eletromagnéticos, gravitacionais, de transporte, das interações entre partículas elementares, etc.

O conceito de Campo pode ser entendido matematicamente como função vetorial ou como função escalar das coordenadas e do tempo, ao contrário do conceito de energia, que só pode ser tratado como escalar. Campos Estáticos são importantes de ser ensinados, no entanto, enfatizaremos os Campos Dinâmicos (variantes no tempo) cuja importância epistemológica, a ser tratada posteriormente, é acentuada na discriminação de dois importantes programas de pesquisa no eletromagnetismo, o Coulombiano e o Maxwelliano (Furió et al., 2003). Um dos principais motivos importantes nesta caracterização é a implicação deste deslocamento ontológico (ibid.) para a Relatividade Einsteiniana, através da ruptura com a ideia de interação instantânea à distância (Landau e Lifshitz, 1975; Llancaqueo et al., 2003).

Além de ser distribuído pela Física e de ter uma representação simbólica (matemática) plausível, o conceito de Campo é válido na Física Moderna, tanto na Mecânica Quântica através da descrição e explicação do comportamento de interações em partículas elementares (Llancaqueo, 2003), como nas teorias da Relatividade Especial e da Relatividade Geral Einsteinianas.

É fortuito, ainda, o aproveitamento da disciplina de eletromagnetismo para a introdução não só dos aspectos que promoveram o progresso da teoria eletromagnética clássica, mas também os obstáculos oferecidos para uma teoria com maior poder de explanação como a teoria da eletrodinâmica quântica. Isto significa que o viés epistemológico das UEPS, ao tentar fornecer uma visão de ciência mais alinhada ao pensamento da moderna Filosofia da Ciência, deverá visar a discussão de ideias problematizadoras no Eletromagnetismo Clássico.

Na sequência apresentaremos as perguntas norteadoras da pesquisa e nos questionaremos sobre a necessidade da construção de um Campo Conceitual do Eletromagnetismo. Neste trabalho, defendemos a tese de que as UEPS facilitam:

- A construção de modelos mentais por parte dos estudantes;
- A estabilização de modelos mentais em novos esquemas de assimilação;
- A diferenciação de esquemas de assimilação para resolução de novas situações.

Disto implicam três pontos originais e interligados, a saber:

- 1) Construção, execução e análise de UEPS de Eletromagnetismo construída a partir do conceito de Campo Eletromagnético (equações de Maxwell);
- 2) Análise das possíveis operações de pensamento dos estudantes em eletromagnetismo usando a proposta integradora dos esquemas de assimilação e de modelos mentais aventada por Greca e Moreira (2002).
- 3) A proposta inicial de um Campo Conceitual para o conceito de Campo Eletromagnético em nível de Física Geral.

Reservou-se ao capítulo 2 a revisão da literatura feita até agora. No capítulo 3 discutimos os referenciais teórico e epistemológico a serem adotados na pesquisa de doutorado. No capítulo 4, abordamos a metodologia didática (construção e implementação das UEPS) e a metodologia investigativa (coleta e análise de dados para investigação dos efeitos das UEPS) utilizadas no trabalho. No capítulo 5, apresentamos os resultados. Ao capítulo 6 foram reservadas as conclusões. No capítulo 7 discutimos as várias extensões do trabalho como projeto de vida acadêmica do proponente da tese, já em exercício de docência na rede pública federal de Ensino Superior desde o ano de 2012. No capítulo 8 apresentamos as referências. Três apêndices complementam o trabalho. O apêndice A detalha o planejamento para as aulas, o apêndice B detalha os dados obtidos na revisão da literatura e o apêndice C apresenta alguns complementos relativos a depoimentos sobre a adoção da proposta em uma disciplina de Física Geral III.

1.2. Perguntas de pesquisa

Nesta seção, descrevemos as perguntas e objetivos da pesquisa a ser realizada no Doutorado. Estes objetivos são princípios² metodológicos para responder as questões de pesquisa a serem respondidas ao longo do processo de investigação. Apresentamos, portanto, as perguntas:

- É possível evidenciar a facilitação do domínio do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?
- Como ocorre a construção de possíveis Representações Internas e uso de possíveis Operações de Pensamento dos estudantes relativas ao Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?
- Qual o potencial explanatório da proposta de Greca e Moreira (2002) que integra modelos mentais e esquemas de assimilação?
- Que possíveis Classes de Situações, quais Operações de Pensamento e quais Representações Externas podem ser enquadradas no Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético para orientação do Ensino em nível de Física Geral (graduação)?

Objetivos gerais

- Investigar e facilitar a construção de esquemas de assimilação e modelos mentais associados ao conceito de Campo Eletromagnético ao longo das UEPS;
- Investigar e facilitar a construção de representação (nos modelos mentais e esquemas de assimilação) associada ao conceito de Campo Eletromagnético ao longo das UEPS.
- Construir uma proposta inicial de Campo Conceitual para o conceito de Campo Eletromagnético para orientar o Ensino de Eletromagnetismo em nível de Física Geral, ou seja, de Graduação.

Objetivos específicos

- Analisar e facilitar a construção, explicitação e uso de modelos mentais e esquemas de assimilação³ em situações envolvendo os conceitos de Campo Eletromagnético (além dos de Carga Elétrica, Corrente Elétrica, Força Eletromagnética e Indução Eletromagnética);

² Significando ponto de partida

³ Os objetivos específicos não mencionam o fato de tomarmos como referência o conhecimento científico, mas esta referência foi suposta como tácita. Esta referência aparecerá explicitamente na argumentação sobre a necessidade da construção de um Campo Conceitual de referência para o eletromagnetismo.

- Analisar e facilitar a manipulação de diagramas e equações, bem como outros tipos de representação simbólica associados ao conceito de Campo Eletromagnético (além dos de Carga Elétrica, Corrente Elétrica, Força Eletromagnética e Indução Eletromagnética);
- Investigar a estabilização de possíveis modelos mentais dos estudantes em esquemas de assimilação.
- Apresentar Classes de Situações, Operações de Pensamento e Representações Externas usando o conceito de Campo Eletromagnético em nível de Física Geral (Graduação)

Na sequência, argumentamos sobre a necessidade da construção de um Campo Conceitual para o eletromagnetismo. Este processo encontra-se em fase inicial, pois o processo envolve a relação das Classes de Situações a serem dominadas envolvendo o conceito de Campo Eletromagnético (Eletrostático, Magnetostático e Eletrodinâmico), com Operações de Pensamento (colocadas em termos de Esquemas e Modelos Mentais) realizadas pelos alunos e com Representações Externas usadas para representar este conhecimento. Construir uma estrutura conceitual de referência didático-epistemológica facilita, portanto, a tarefa de analisar o progresso do estudante na aprendizagem, ou seja, seus avanços e retrocessos com relação ao conhecimento científico.

1.3. Por que um Campo Conceitual para o eletromagnetismo?

É fundamental que tenhamos uma estrutura conceitual de base para estudar como evolui o processo de estabelecimento de referência em relação ao real, isto é, a conceitualização dos estudantes ao longo do tempo.

O aspecto da referência à realidade significa para Vergnaud o modo pelo qual lidamos com situações-problema. Um conceito só faz sentido a partir de um conjunto de situações, ao mesmo tempo em que uma situação não se resolve somente com um conceito, então isto se torna fundamental no processo de conceitualização. Os conceitos se referem a classes de situações e estas são dominadas com conceitos. É uma relação dual.

É necessário, para Vergnaud, ter capacidade de julgamento sobre a realidade (psicologicamente, as situações) e isto envolve tanto a categorização como enunciação de proposições tomadas como verdadeiras sobre a realidade, através de conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, respectivamente. O aspecto não se finda, entretanto, neste ponto, pois é necessária, ademais, a enumeração de representações relativas tanto às situações como aos invariantes operatórios. A representação, afinal, é parte constituinte da conceitualização.

Um Campo Conceitual para Vegnaud (1982) é:

“Um conjunto **informal e heterogêneo** de **problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos, e operações de pensamento**, conectados uns aos outros e possivelmente imbricados no processo de aquisição”.

Desta forma, é possível tratar o Eletromagnetismo como uma disciplina baseada em um conjunto heterogêneo de classes de situações cujo domínio requer Conceitos-em-ação, Teoremas-em-ação, Representações Externas e o emprego de Operações de Pensamento nas quais estão emaranhados os anteriores. Para a construção do Campo Conceitual do Eletromagnetismo, foi necessário trabalhar de forma extensa no estudo das Operações de Pensamento dos estudantes. Tal análise é descrita no capítulo 4 (metodologia) e os resultados apresentados no capítulo 5.

Foi possível mapear diversas Operações de Pensamento desenvolvidas pelos estudantes ao longo dos três estudos realizados, bem como identificar Classes de Situações para as quais ou os alunos desenvolvem um Modelo Mental quando não possuem uma conduta organizada de forma invariante ou um Esquema quando possuem uma conduta organizada de forma invariante⁴. Associamos os primeiros à Memória de Trabalho e os últimos à Memória de Longo Prazo. Consideramos, portanto, serem os Modelos Mentais construídos para resolver Situações novas e os Esquemas construídos e retomados para resolver Situações conhecidas.

Além de identificar Classes de Situações envolvendo Eletromagnetismo de Graduação e as Operações de Pensamento realizadas por alunos deste nível, foi possível, ainda, reconhecer os tipos mais adotados por eles de Representação Externa. A proposta de construção de um Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético é inédita e conta como um dos pontos chave de contribuição para a área do Ensino de Física.

Nas conclusões, apresentamos um esboço inicial desta proposta de Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético, relacionando os conceitos de Campo Elétrico, Campo Magnético, Indução Eletromagnética, Força Eletromagnética, Carga Elétrica e Corrente Elétrica.

Neste trabalho apresentamos, ainda, os resultados de três estudos desenvolvidos com Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, visando à facilitação da Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Eletromagnético.

Optamos por dividir o curso em três partes, quais sejam, Eletrostática (Campos Elétricos constantes ao longo do tempo), Magnetostática (Campos Magnéticos constantes ao longo do tempo) e Eletrodinâmica (Campos Elétricos e Magnéticos dinâmicos) no primeiro dos estudos relativos à tese.

A abordagem difere, epistemologicamente, de forma radical da empregada nos livros didáticos, embora aparentemente se ancore nela, pois enfatiza o conceito de Campo e trata o conceito de Força como decorrente deste. Discutimos o Campo como uma grandeza aplicando Forças e realizando trabalho, isto é, trocando Energia com objetos. Isto, em geral, não é enfatizado nos materiais didáticos mais tradicionais.

Os livros didáticos partem do conceito de Força e, em geral, introduzem o conceito de Campo como uma entidade matemática e, muitas vezes, sem uma referência semântica definida (Krapas e da Silva, 2008). As raízes epistemológicas desta escolha

⁴ A conduta é *organizada* de forma invariante, não é ela que é invariante (Vergnaud, 1996).

adotada por autores de livro estão associadas, obviamente, ao positivismo lógico e ao empirismo clássico. Como o Campo é tratado como uma grandeza não observável, os autores o consideram como uma “muleta” matemática.

Nossa escolha baseou-se tanto nos trabalhos encontrados na literatura como nos conteúdos de Eletromagnetismo ensinados, em geral, em um curso de Física Geral III (ordem tradicional de um curso de Eletromagnetismo em cursos Universitários envolvendo a disciplina de Física).

Foi percebido ser fundamental trabalhar um pouco mais de tempo com Campos Vetoriais antes de tratarmos diretamente do Campo Elétrico. Depois do primeiro estudo foi concebida, então, uma unidade tratando sobre Campos Vetoriais e usando situações-problemas relativas ao Campo Gravitacional que, em geral, compõe parte do conhecimento prévio (algumas vezes vago) dos estudantes sobre Campo. O Campo Gravitacional lembra bastante o Campo Eletrostático e, por esta razão, optamos por introduzir o conceito de Campo Eletrostático a partir deste.

Os resultados dos três estudos apresentados nesta tese são relativos a disciplinas ministradas em dois contextos diferentes. Dois dos estudos foram implementados na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e outro realizado na Universidade Federal do Oeste do Pará. Os resultados são comparados e analisados ao longo do trabalho.

Tendo apresentado a problemática envolvendo o trabalho, apresentamos a seguir, uma revisão de literatura relativa aos conceitos de Campo, Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Eletromagnética (Campo Eletromagnético).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Como parte do trabalho foi produzida uma revisão da literatura que cobriu, inicialmente, o período de 1992 a 2012. Usamos como critério inicial para seleção das revistas, o sistema de classificação (por Qualis) adotado pela CAPES. Consideramos as revistas com Qualis A1 e A2 e examinamos as seguintes revistas:

- Ciência & Educação (A1);
- Cognition & Instruction (A2);
- Enseñanza de las Ciencias (A1);
- International Journal of Science Education (A1);
- Investigações em Ensino de Ciências (A2);
- Journal of Research on Science Teaching (A1);
- Research in Science Education (A1);
- Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias (A2);
- Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias (A2);
- Research in Science & Technological Education (A1);
- Science & Education (A1);
- Science Education (A1).

Outros estudos importantes oriundos de outras revistas compuseram a revisão, por trazer informações importantes, mas as revistas das quais foram obtidos não foram pesquisadas, pois não se enquadravam no critério pré-estabelecido. Julgamos ser este um padrão de qualidade reconhecido em nível nacional e as revistas como fontes de trabalhos fortemente relevantes para a área de Ensino de Física.

A primeira etapa do processo de revisão da literatura foi enumeração de artigos. Esta consistiu na leitura dos resumos publicados em todos os números das revistas arroladas (cobrindo o período mencionado, a saber, 1992 - 2012), além da procura por palavras-chave que incluíssem termos como Campo, Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Eletromagnética.

A segunda etapa seguida foi a da leitura e classificação dos artigos em categorias pré-estabelecidas. Esta etapa objetivou a construção de um panorama do conhecimento construído na área, importante tanto para a contextualização do trabalho de pesquisa aqui proposto, como para a indicação de novas contribuições para a pesquisa em ensino do conceito de Campo Eletromagnético. A quantidade de artigos encontrada por revista é exposta na tabela 1.

Tabela 1: Revistas (com indicação do qualis) e números de artigos consultados

Revista	Artigos	Qualis
Ciência e Educação	4	A1
Cognition and Instruction	1	A2
Enseñanza de las Ciencias	10	A1

International Journal of Science Education	6	A1
Investigações em Ensino de Ciências	3	A2
Journal of Research in Science Education	5	A1
Research in Science and Technological Education	1	A1
Research in Science Education	4	A1
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	4	A2
Revista Electrónica de Investigación en Educación em Ciências	2	A2
Science and Education	4	A1
Science Education	4	A1
Total	47	

A seguir apresentamos os resultados da revisão da literatura dividindo a classificação dos artigos primeiramente em termos do conteúdo de Física que enfocam: Conceito de **Campo** (sem particularizar qualquer aspecto), Conceito de **Campo Elétrico**, Conceito de **Campo Magnético**, Conceito de **Campo e Indução Eletromagnética**. Fizemos isto, pois assim é mais fácil de identificarmos as contribuições de cada artigo para cada uma das quatro UEPS construídas para discutir o conteúdo de Eletromagnetismo.

Dividimos os achados em quatro categorias considerando a contribuição de diferentes autores para uma mesma problemática. As categorias são indexadas pelas nomenclaturas:

- **Concepções de professores:** engloba as ideias de autores investigando como professores manipulam seus conhecimentos-em-ação⁵ e quão distantes estão da estrutura conceitual de referência científica;
- **Críticas curriculares:** abarca as ideias associadas a como os livros didáticos, em especial, abordam o Campo Conceitual do Eletromagnetismo;
- **Concepções de estudantes:** apresenta as ideias de autores pesquisando como estudantes manipulam seus conhecimentos-em-ação;
- **Aprendizagem em propostas didáticas inovadoras:** sintetiza os resultados de propostas inovadoras na aprendizagem dos conceitos de Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Eletromagnética.

As contribuições de cada trabalho podem ser encontradas em uma lista no apêndice A. Nesta relação, apresentamos o **título do trabalho** pesquisado (para identificação do trabalho) com o ano de publicação, as **motivações do trabalho** (para apresentação do problema dando origem à pesquisa), os **achados importantes** da pesquisa (para destacar os principais resultados da pesquisa) e as **contribuições do**

⁵ Para Vergnaud, os conhecimentos-em-ação ou invariantes operatórios constituem a base implícita ou explícita da conceitualização. Teoremas-em-ação são proposições consideradas como verdadeiras sobre a realidade e Conceitos-em-ação são categorias tomadas como pertinentes (Vergnaud, 1983).

trabalho à pesquisa (para discutir como o trabalho se ancora à pesquisa feita, demonstrando, de certa forma, o contexto do trabalho).

2.1. Conceito de Campo

Em função de termos somente quatro trabalhos associados ao conceito de Campo, sendo a maioria dos trabalhos classificados em categorias diferentes, é difícil construir uma síntese sobre cada categoria. As informações de cada uma delas podem ser vistas individualmente e, por isto, nos abstermos de sintetizar algo com pouca regularidade. Discutimos, então, a contribuição de cada trabalho.

Martin e Solbes (2001) nos apresentam as principais concepções trazidas pelos estudantes com respeito ao conceito de Campo. Estas são arroladas a seguir:

- Pensamento em termos de Forças – Campos são, para os alunos, entidades confusas e desprovidas de significado;
- Campos são regiões do espaço delimitando a influência de uma entidade física;
- Forças são atribuídas às fontes e não ao Campo. Para os autores, isto corresponde ao pensamento Newtoniano. Tal ideia apresenta influência da forma pela qual o conteúdo é ensinado;
- Desconhecimento por parte dos alunos das diferenças entre uma teoria de Campo e uma teoria de ação à distância para abordagem das interações;
- Desconhecimento por parte dos alunos das vantagens destas teorias de Campo sobre as teorias de ação à distância;
- Desconhecimento da interpretação dos aspectos energéticos associados às interações, ou seja, desconhecimento da ideia de Campo como uma entidade real dotada de energia e de momentum.

Os autores ainda afirmam que um ensino por investigação orientada⁶ que se aproxime do conhecimento prévio dos estudantes através do conceito de Campo Gravitacional tende a facilitar a introdução e motivação para o estudo do conceito de Campo e a atenuar as ideias Newtonianas, não reforçando o conhecimento prévio dos estudantes.

Nos artigos de Krapas e da Silva (2008) e Pocovi e Finley (2003), por exemplo, são feitas discussões epistemológicas acerca do conceito de Campo, no entanto, os autores enfocam a pesquisa na discussão de aspectos relativos ao modo pelo qual livros textos de teoria eletromagnética abordam o conteúdo.

2.2. Campo Elétrico

⁶ Metodologia de Ensino que visa aproximar os estudantes de uma investigação científica (com formulação de problemas, lançamento e testagem de hipóteses, trabalho em grupo, etc.) orientada por um professor.

A seguir apresentamos a análise realizada para sintetizar o conhecimento levantado na literatura para o conceito de Campo Elétrico. Estabelecemos relações com o referencial teórico utilizado na pesquisa através das ideias de Vergnaud.

Concepções de Professores

O trabalho de Furió e Guisasola (1997) se enquadra nesta categoria. Para os autores, os processos de Ensino e, conseqüentemente, de Aprendizagem do conceito de Campo Elétrico podem ficar comprometidos. Os investigadores apontam como causa disto o desconhecimento de aspectos epistemológicos associado ao conceito de Campo Elétrico no caso de professores universitários e até mesmo ao desconhecimento da teoria de Maxwell no caso de professores da Educação Básica⁷.

Para Vergnaud, o domínio de um Campo Conceitual está associado ao domínio de Situações. Este processo se concretiza com o estabelecimento de referência ao real, equivalente ao reconhecimento de conhecimentos-em-ação úteis e significativos para o domínio de Situações, da representação destes conhecimentos, bem como das situações. Caso os professores não possuam estes conhecimentos-em-ação, não poderão dominar situações envolvendo o conceito de Campo Elétrico.

O viés cognitivo da Redução Funcional do conceito de Campo Elétrico em professores universitários de Física como, por exemplo, a Redução do conceito de Campo Elétrico ao de Força Elétrica, pode estar em livros didáticos escritos sem a preocupação da apresentação de situações frutíferas para a percepção dos deslocamentos ontológicos entre as teorias de Maxwell e de Newton.

Segundo os autores, os professores, em geral, introduzem o conteúdo de Campo Elétrico de forma acrítica, linear e aproblematicadora. Estes professores normalmente justificam esta prática didática pela “lógica da sequência” (esta sequência linear é lógica⁸, para eles). Conseqüência desta abordagem é a não discussão das vantagens do conceito de Campo em relação à ideia de Ação-a-distância.

Críticas curriculares

Os resultados desta categoria foram encontrados, também, nos trabalhos de Furió e Guisasola (1997) descrito acima. Estes resultados podem explicar, ainda, a falta de conhecimento dos professores da educação básica e vieses cognitivos de redução funcional (reduzir o conceito de Campo Elétrico ao de Força Elétrica) nos professores de ensino superior.

Podemos discutir dois problemas básicos nos livros didáticos, ambos de cunho epistemológico, a saber, a desconsideração (ou degradação) do aspecto problemático da Ciência e a falta de apontamento de mudanças ontológicas entre diferentes programas de pesquisa.

⁷ O contexto geográfico da pesquisa é a Espanha.

⁸ Deve-se observar que o termo lógica, refere-se à ideia de plausibilidade e não à lógica formal.

Para Vergnaud a Ciência pode ser abordada como um grande Campo Conceitual. Desta forma, o pesquisador começa levando em conta o aspecto problemático da Ciência para a sua organização. Desconsiderar este aspecto, como fazem os livros didáticos, segundo afirmam Furió e Guisasola, ou distorcê-lo, conforme afirmam Pocovi e Finley (2003) é altamente danoso para a Aprendizagem Significativa do conteúdo de Física. Esta ausência da discussão dos problemas gerais resolvidos pela eletrostática e a introdução do conteúdo de forma não problematizadora, linear e acrítica é uma das fontes de Aprendizagem Mecânica do conceito de Campo Elétrico.

Para Vergnaud, a análise da Aprendizagem passa, necessariamente, pelo estudo do domínio de Situações em um dado Campo Conceitual. Para discutir mudanças ontológicas entre distintos Programas de Pesquisa, é fundamental apresentar Situações nas quais possam ficar claras estas diferenças. Muitos livros didáticos apresentam o conceito de Campo Elétrico, mas não discutem como o conceito pode dar explicações não dadas pelo uso exclusivo do conceito de Força Elétrica.

Concepções de Estudantes

Chegamos à síntese dos resultados das pesquisas relativas às concepções dos estudantes. Todos os trabalhos contribuem de alguma forma para a caracterização destas concepções sem, no entanto, preocuparem-se com o agrupamento destas concepções em conjuntos mais bem definidos. Alguns focam particularmente nesta divisão, enquanto outros as usam como meio de evidenciar importantes processos de Aprendizagem ou mesmo para justificar a construção e validação de um questionário para detecção de concepções.

A tarefa de agrupar conhecimentos-em-ação em eletromagnetismo requer o delineamento de um Campo Conceitual, isto é, uma estrutura conceitual de referência didática para este conteúdo (Vergnaud, 1983). Esta tarefa envolve a descrição epistemológica da evolução do conhecimento e a classificação de Situações, a relação de Operações de Pensamento e de suas Representações (Vergnaud, 1990). Os trabalhos do grupo liderado por Guisasola (Furió e Guisasola, 1997) serviram de referência para trabalharmos elementos do Campo Conceitual do conceito de Campo Elétrico em um viés Maxwelliano.

Podemos dividir, a priori, os dados encontrados na literatura em quatro classes envolvendo as ideias de:

- **Transferência de Carga Elétrica;**
- **Forças Elétricas;**
- **Campos Elétricos;**
- **Erros de raciocínio de estudantes.**

Vale ressaltar que explicitamente refere-se à ênfase dada pelos pesquisadores aos conceitos em questão e não em relação aos problemas apresentados.

A primeira categoria (**Transferência de Carga**) envolve dificuldades de aprendizagem detectadas em vários trabalhos. As pesquisas de Shen e Linn (2011), Furió e Guisasola (1995) e Park et al. (2001) apontam tais dificuldades. Estas dificuldades parecem ser recorrentes e guardam, inclusive, certa semelhança com as concepções históricas apresentadas por Furió e Guisasola.

As dificuldades dos estudantes encontradas na revisão da literatura concernente à ideia de Transferência de Carga Elétrica podem ser agrupadas, de forma resumida, a seguir: **1)** *objetos neutros possuem carga negativa*; **2)** *não é levada em conta a ideia de carga líquida*; **3)** *apenas condutores podem conter cargas*; **4)** *a carga se balanceia entre materiais* (transferência de elétrons e de prótons); **5)** *Se 4 não ocorre, as cargas cessam o transporte quando se igualam nos condutores*; **6)** *Modelos atômicos não se ligam a fenômenos observados* (Shen e Linn, 2011); **7)** *alunos sustentam ideias de fluido elétrico*; **8)** *não conseguem distinguir entre condutores e isolantes* (Park, 2001); **9)** *a função do eletroscópio é determinar se o material é condutor ou isolante*; **10)** *mesmo usando o modelo de fluido elétrico, para muitos alunos a matéria é elétrica*; **11)** *poucos alunos consideram a criação ou destruição de carga elétrica*.

A segunda categoria (**Força Elétrica**) envolve dificuldades de aprendizagem detectadas em outros tantos trabalhos. As pesquisas de Furió e Guisasola (1997a), Furió et al. (1998), Criado e García-Carmona (2010) apontam estas dificuldades. Algumas das dificuldades associam-se à categoria de transferência de cargas, mas são diferentes das daquela categoria, pois envolvem as Operações de Pensamento necessárias para resolver as situações onde as configurações de Carga Elétrica são previamente estabelecidas, enquanto na primeira, as operações de pensamento necessárias envolvem os mecanismos de Transferência de Carga Elétrica entre objetos.

À categoria Força Elétrica, podemos associar as dificuldades dos estudantes considerando que: **1)** *quanto à polarização, muitos alunos pensam conforme a teoria do halo de Gilbert e a teoria de Franklin, isto é, raciocinam com modelos pré-Newtonianos* (Furió e Guisasola, 1998); **2)** *alunos pensam, em situações acadêmicas, usando a ideia de ação à distância*; **3)** *em situações cotidianas, estudantes usam modelos pré-Newtonianos* (Furió e Guisasola, 1997a); **4)** *aprendizes possuem dificuldades em situações de atração entre cargas (a.c-c), de repulsão entre cargas (r.c-c) e atração entre corpo neutro e corpo carregado (a.c-n)*; **5)** *alunos consideram a atração do tipo a.c-n. ocorrendo em corpos neutro-polarizados com sinais diferentes frente a frente*; **6)** *estudantes consideram repulsão r.c-c ocorrendo em corpos neutro polarizados com cargas de sinais iguais frente a frente*; **7)** *alunos consideram o estado neutro como responsável pela repulsão, pois o não neutro é responsável pela atração*; **8)** *estudantes consideram a atração a.c-n ocorrendo em corpos com cargas de sinais contrários*; **9)** *aprendizes a atração a.c-n ocorrendo em corpos neutro polarizados com cargas de sinais iguais frente a frente*; **10)** *há baixo grau de certeza nas concepções*

apresentadas pelos aprendizes; **11)** há pouca variação contextual entre os dois tipos de atração; **12)** confusão entre objetos carregados e neutro-polarizados; **13)** necessidade de simetria (Criado e García-Carmona, 2010).

A terceira categoria (**Representação do Campo Elétrico**) envolve dificuldades de aprendizagem detectadas nos trabalhos de Guisasola et al. (2008), Araújo et al. (2007) e Park et al. (2001). Esta categoria não pode ser confundida com a de Força Elétrica, pois enquanto a primeira foca explicitamente no mecanismo de Interação de Cargas Elétricas previamente dadas, esta objetiva a Representação do Campo Elétrico gerado por distribuições de Carga Elétrica e associa-se a conceitos como os de fluxo, de circulação e realidade do Campo.

A categoria envolve as seguintes dificuldades de aprendizagem de alunos que: **1)** não distinguem entre Força Elétrica e Campo Elétrico; **2)** não concebem o Campo Elétrico como associado a um ponto do espaço; **3)** desconsideram o vetor normal à Superfície Gaussiana (Guisasola et al., 2008); **4)** confundem Campo Elétrico e Fluxo Elétrico (Guisasola et al., 2008, Araujo et al., 2007); **5)** consideram a lei de Gauss meramente operacional; **6)** não conseguem escolher corretamente a Superfície Gaussiana; **7)** não conseguem escolher corretamente a Carga Elétrica na lei de Gauss (Araujo et al., 2007); **8)** Não há Campo Elétrico em isolantes; **9)** Isolantes não geram Campos Elétricos, pois não há correntes neles (Park et al., 2001); **10)** Só há Campo Elétrico se houver mobilidade de Cargas Elétricas (Raison e Viennot, 1999).

A última categoria (**Erros de raciocínio**) classifica os trabalhos nos quais os autores abordam dificuldades oriundas de vieses cognitivos em Eletromagnetismo. Algumas dificuldades envolvendo os conceitos de Campo Elétrico e de Princípio de Superposição são encontradas no trabalho de Raison e Viennot (1999). Outros autores abordam outros erros de raciocínio apresentados pelos estudantes quando na resolução dos problemas envolvendo outros conceitos.

A categoria envolve as dificuldades de alunos que: **1)** apresentam erros de raciocínio de senso comum (Furió e Guisasola, 1997a); **2)** usam raciocínios de senso comum ao trabalhar a lei de Gauss⁹, como, por exemplo, afirmar que cargas fora da Gaussiana não geram Campo Elétrico (Furió e Guisasola, 2008; Raison e Viennot, 1999); **3)** ignoram causas que não possuam efeito visível; **4)** usam causalidade única, isto é, uma causa gera somente um efeito; **5)** esquecem efeitos; **6)** não conseguem enumerar múltiplos efeitos a partir de uma causa ou múltiplas causas a partir de um efeito (Raison e Viennot, 1999).

⁹ É possível perguntar-se a razão pela qual enquadrámos este raciocínio como de senso comum. Há certo consenso na psicologia cognitiva quanto à classificação de vieses cognitivos envolverem raciocínios de senso comum como, por exemplo, a causalidade simples. Considerar que somente as Cargas Elétricas no interior da Gaussiana criam Campo Elétrico pode ser enquadrado de acordo com a classificação causalidade simples, pois existem outras fontes contribuindo para este Campo Elétrico e que são desconsideradas pelos estudantes.

A partir desta síntese, podemos verificar dois pontos fundamentais: **1)** dificuldades recorrentes dos estudantes em Eletrostática, algumas delas oriundas de raciocínio de senso comum e outras dificuldades de entendimento conceitual da própria Eletrostática; **2)** a necessidade da construção de um Campo Conceitual associado à Eletrostática, dentro do Campo Conceitual do Eletromagnetismo. Este Campo Conceitual apresenta ligações com outros Campos Conceituais, porém, pode ser recortado para estudo mais focalizado. As UEPS respectivas à Eletrostática (nomeadas de Campo Elétrico) são construídas levando em conta os dois aspectos acima.

Aprendizagem em Propostas Didáticas inovadoras

As metodologias didáticas inovadoras utilizadas podem ser classificadas, inicialmente, em quatro tipos: **1)** Metodologia de Integração de conhecimento; **2)** Ensino por Investigação orientada; **3)** Método de Instrução convencional com pequenas variações; **4)** Método Keller.

No trabalho de Shen e Linn (2011), os pesquisadores usaram a denominada **Metodologia de Integração de conhecimento**. Tal metodologia enfatiza e reconhece, explicitamente, a importância do conhecimento prévio trazido pelos estudantes à sala de aula, toma como premissa a noção de que a aprendizagem ocorre por adição de novas ideias à estrutura cognitiva e distingue interpretações sobre fenômenos por meio do uso de evidência científica.

A metodologia de integração de conhecimento busca ajudar os estudantes a distinguir e criticar ideias através de discussão colaborativa. Usa, ainda, um ambiente virtual para atividades de pesquisa guiadas, colaboração por pares, discussão em grupos e customização do professor. A metodologia busca, também, integrar três instâncias da eletrostática, as visões baseada em Carga Elétrica, em Energia e em Campos Elétricos.

Shen e Linn (2011) afirmam que: **1)** *os estudantes conseguiram integrar as três interpretações do eletromagnetismo nas atividades;* **2)** *permitiu o melhor entendimento das diferenças das concepções deles em relação às apresentadas nas visualizações;* **3)** *foram ajudados por questões de reflexão a reconciliar as três visões;* **4)** *melhoraram a organização do seu conhecimento;* **5)** *parecem ter ligado o conteúdo de eletromagnetismo a fenômenos cotidianos;* **6)** *muitos estudantes não tiveram dificuldade em integrar as visões embasadas em carga e em partícula, mas tiveram dificuldade com a de energia.*

Furió e Guisasola (2001), Furió et al. (2003), Guisasola et al. (2008) e Criado e García-Carmona (2010), apresentam resultados concernentes a **Investigações orientadas**. Tal metodologia enfatiza o trabalho colaborativo na resolução de situações-problema já resolvidas pelo professor que atua como chefe de pesquisa e mediador de debates entre grupos. Os alunos são tomados como pesquisadores jr. na metáfora.

Todos os autores reportam melhoras significativas no conhecimento em Eletromagnetismo e esta metodologia é bastante compatível com os princípios das

UEPS: despertar da intencionalidade (problematização conceitual), partir do conhecimento prévio (construção de conhecimento a partir do contido na Estrutura Cognitiva do estudante), dar sentido aos conceitos através de Situações, precedência das Situações à formalização (os conceitos não são definidos a priori, mas vão surgindo à medida da necessidade do estudante deles para a conceitualização do real).

Furió e Guisasola (2001) definem, ainda, os critérios de Aprendizagem Significativa para o conceito de Campo Elétrico, quais sejam, os de diferenciar entre Campo Elétrico e Força Elétrica, reconhecer o papel do meio na interação e discriminar as ideias Maxwellianas das Coulombianas em situações complexas.

Raison e Viennot (1999) apresentam um processo de ensino convencional com modificações. Os autores abordam o princípio da superposição através da representação por camadas ou transparências. Para ilustrar a soma vetorial, desenham-se várias transparências, cada uma com uma configuração de carga pertinente ao sistema e, posteriormente, estas são empilhadas e, assim, o Campo Elétrico resultante é estabelecido. Alguns bons resultados foram narrados pelos autores, mas eles apontam possibilidade de melhora em trabalhos posteriores.

Greca e Moreira (1998), através do **método Keller** de ensino, realizam um estudo para a verificação de construção de Modelos Mentais por parte dos estudantes. O método Keller é bastante conhecido na psicologia behaviorista. Alguns autores como, por exemplo, David Ausubel (2000), discutem aspectos importantes do método como a facilitação da consolidação da Aprendizagem. Nós não nos afiliamos ou identificamos, no entanto, ao uso da psicologia behaviorista neste trabalho

A conclusão de Greca e Moreira é dupla: alunos construindo modelos mentais mais complexos apresentam concepções mais elaboradas. Pelos resultados, percebemos ser o método Keller uma metodologia interessante, pois de 25 alunos, nove foram considerados como bons construtores de Modelos Mentais, enquanto somente seis foram considerados maus construtores. Dez alunos ficaram na zona intermediária.

A consolidação, princípio Ausubeliano fortemente presente no método Keller, está em consonância com a recursividade necessária para a construção de Modelos Mentais. A ligação está no fato de a recursividade (refazer uma estrutura a partir da inicial) propiciar maior probabilidade de o estudante realmente consolidar significativamente o conteúdo em sua estrutura cognitiva.

As quatro possibilidades não esgotam as metodologias didáticas possíveis. Estas foram mapeadas nos trabalhos sobre implementação de metodologias inovadoras no ensino de Eletrostática.

2.3. Campo Magnético

Retomando as ideias apresentadas para o Campo Elétrico, dividiremos a síntese nas quatro categorias apresentadas acima.

Concepções de Professores

Nenhum dos trabalhos visou analisar concepções de professores-alunos ou professores em formação continuada. Desta forma não podemos fazer inferências da literatura concernentes a este aspecto.

Críticas curriculares

Um trabalho enfocou em críticas curriculares aos livros didáticos sobre Eletromagnetismo. A crítica foi dirigida à seção de Magnetismo que, como conclusão de Guisasola et al. (2005), *trata as abordagens ortodoxas de forma empirista ingênua e de forma não problematizadora e/ou linear*. Segundo os autores *a discussão de aspectos histórico-epistemológicos pode facilitar a introdução do conceito de Campo Magnético* no processo de ensino-aprendizagem. Conclusão semelhante, dirigida ao conceito de Campo foi tomada por Martin e Solbes (2001).

Vemos novamente nesta seção a dificuldade do ensino fundamentado numa epistemologia não problematizadora/linear. Livros didáticos suscitam este tipo de prática didática. O Eletromagnetismo deve ser abordado de forma problematizadora. A possibilidade de tratá-lo como um Campo Conceitual, ou seja, um conjunto de Problemas (Situações), de Operações de Pensamento e de Representações enquadra este ponto.

Problemas não somente dão origem à Física, mas também a estruturam. Conforme o próprio Vergnaud (1993) afirma, são as situações que dão sentido aos conceitos. O sentido é a relação entre os Esquemas e as Situações (Moreira, 2002), portanto, um ensino não problemático tende a não dar sentido aos conceitos ensinados. A linearidade negligencia as mudanças histórico-ontológicas atribuídas aos conceitos.

A tese da necessidade de construção de um Campo Conceitual do Magnetismo para análise de Esquemas e Modelos Mentais envolvendo o conteúdo de Magnetostática é, portanto, reforçada. Esta construção facilita o enquadre das Operações de Pensamento dos estudantes em certos “escaninhos conceituais”¹⁰. Aspectos ontológicos do Campo Magnético devem ser levados em conta nesta tarefa.

Estudantes

As dificuldades dos alunos circundam alguns eixos. Dentre estes, estão os problemas de referência às Fontes de Campo Magnético, compreensão operacional do Campo Magnético, dificuldade na compreensão de aspectos ontológicos do Campo Magnético, dificuldade em distinguir Campos Magnéticos e Campos Elétricos. Estes

¹⁰ Ao contrário da ideia de escaninho, um lugar fechado no qual encerramos algo, colocamos a expressão cunhada por nós entre aspas para dar a entender que os esquemas não são fechados, mas entidades dinâmicas altamente adaptáveis a novas situações. Como falavam Vergnaud e Piaget, conhecimento é adaptação. Trata-se, portanto, de uma metáfora.

problemas podem ser enquadrados nas Operações de Pensamento desenvolvidas em Situações nas quais ocorre a Representação Simbólica do Campo Magnético.

Os problemas de referência abarcam todas as dificuldades relativas: **1)** à *identificação dos objetos Fonte e dos objetos Teste para o Campo Magnético* (Guisasola et al. 1998, 1998; Guisasola et al., 2004); **2)** à *compreensão operacional do Campo Magnético* (Guisasola et al., 1998; Guisasola et al., 2004); **3)** *ao entendimento da Ontologia do Campo Magnético como, por exemplo, confundir o Campo Magnético com o Campo Gravitacional, atribuir o Magnetismo a uma substância “mágica” intrínseca aos ímãs* (Brandamante e Viennot, 2007); **4)** à *confusão entre Campo e Força* (Guisasola et al., 1998; Guisasola et al., 2004; Martin e Solbes, 2001); **5)** à *Confusão entre Campo Elétrico e Campo Magnético*.

Aprendizagem a partir de propostas didáticas inovadoras

O trabalho de Araujo et al. (2006) enfatiza menos as evoluções específicas de concepções dos estudantes e enfoca mais a influência de uma abordagem didática envolvendo Simulações Computacionais sobre a aprendizagem do conceito de Campo Magnético. Araujo et al. (2006), assim como Guisasola e seus colegas, destacam a importância do trabalho em grupo. Esta discussão fortalece o argumento de se usar, em processos de Ensino-Aprendizagem, atividades colaborativas envolvendo discussão e reflexão mediadas pelo professor. Os autores destacam, ainda, ser positivo o uso das Simulações Computacionais para abordagem da Lei de Ampère em Magnetostática.

2.4. Indução Eletromagnética

Adotando um procedimento semelhante ao já adotado na pesquisa, dividimos os achados sobre o conceito de indução eletromagnética em quatro categorias. Como é possível notar, encontramos uma quantidade bem menor de artigos discutindo o conteúdo de Indução Eletromagnética, pois esta é uma temática recente nas Investigações em Ensino de Física. Nenhum dos artigos discute aspectos associados a ondas eletromagnéticas. Dois artigos, devidos a Karam et al. (2014) e a Pocovi e Hoyos (2011) discutem aspectos sobre o ensino do conceito de Corrente de Deslocamento.

Professores

Nesta categoria somente encontramos um artigo passível de enquadrar. Guisasola et al. (2005) estudam as dificuldades de estudantes de “licenciatura” (no currículo espanhol/basco, o termo licenciatura é designado para outra formação) com respeito ao conceito de Força Eletromotriz (FEM).

Os estudantes apresentam dificuldades no domínio de Indução Eletromagnética, das quais, podemos listar: **1)** não reconhecimento da FEM como característica das “fontes de energia”; **2)** atribuição da FEM a cargas elétricas (estáticas); **3)** indistinção entre FEM e diferença de potencial (DDP); **4)** definição pobre do conceito de FEM. Os autores apresentam, ainda, algumas hipóteses para estas dificuldades como, por

exemplo: **a)** desconhecimento das Cargas Elétricas e dos Campos Elétricos e Magnéticos em Circuitos Elétricos; **b)** dificuldades relativas ao conceito de Diferença de Potencial.

Os autores sugerem cinco indicadores de aprendizagem compreensiva do conceito de FEM, a saber: **a)** entendimento da FEM como característica associada aos geradores; **b)** entendimento da FEM como o Trabalho realizado, por unidade de Carga Elétrica, por Forças não Eletrostáticas para separar Cargas Elétricas; **c)** entendimento da FEM como uma grandeza quantificando a Energia transferida por um Campo Elétrico não conservativo ou por um Campo Magnético estacionário a um Circuito em movimento; **d)** noção da distinção entre a FEM e a DDP; **e)** noção da associação de um Campo Elétrico induzido a um Campo Magnético variável.

Críticas curriculares

Nesta categoria somente achamos o trabalho de Guisasola et al. (2008) no qual descrevem de forma breve a evolução histórica do conceito de Força Eletromotriz. Os autores descrevem sete¹¹ critérios para Aprendizagem Compreensiva deste conceito após apresentar a evolução do mesmo e os múltiplos contextos de teorias dentro do Eletromagnetismo nos quais se enquadram a ideia de FEM.

Os autores destacam cinco períodos de construção do conceito: **a)** entre os séculos XVIII e XIX quando cientistas como Coulomb, Lagrange, Poisson e Laplace haviam estabelecido as bases da ação à distância; **b)** no século XIX quando Volta propõe o fluido galvânico para explicar a eletricidade como associada a uma força exercida no sentido de separar cargas e mantê-las separadas; **c)** no século XIX quando se desenvolve o estudo da eletrodinâmica, com Ohm lançando mão das ideias de Forças Eletrostáticas e Kirchhoff (1847) propondo a introdução do conceito de energia para explicar o funcionamento dos circuitos elétricos; **d)** no século XIX (meados – final) quando Maxwell (1865) trabalha a ideia de Campos e a ideia de Energia; **e)** ao longo dos séculos XVIII e XIX quando o conceito de Força Eletromotriz evolui de uma Força desconhecida para um Trabalho, por unidade de Carga Elétrica, relacionado a um Campo Elétrico não conservativo.

Guisasola et al. (2005), sugerem os seguintes indicadores de Aprendizagem Compreensiva: **a)** entendimento da Corrente Elétrica como gerada por uma Tensão; **b)** entendimento da separação de Cargas Elétricas como causa da DDP; **c)** entendimento da separação de cargas oriunda de processos químicos como associada à FEM; **d)** aquisição de conhecimento do fazer experimental científico. Este trabalho contribui com

¹¹ 1) Reconhecer a relação de causa e efeito entre Tensão Elétrica e Corrente Elétrica respectivamente. 2) Compreender a diferença entre FEM (ações de Forças não Eletrostáticas) e DDP (ações de Forças Eletrostáticas). 3) FEM é quantidade de trabalho, por unidade de Carga Elétrica, realizado por Forças não conservativas para separar Cargas Elétricas. 4) DDP é a quantidade de trabalho, por unidade de Carga Elétrica, realizado por Forças Conservativas para separar Cargas Elétricas. 5) FEM é propriedades dos Geradores (pilhas e outros) e não do circuito analisado. 6) usar estratégias do trabalho científico. 7) Compreender relações CTS.

nossa pesquisa reiterando a distinção amplamente feita por nós na abordagem do conceito de Força Eletromotriz com respeito ao conceito de Diferença de Potencial.

Estudantes

Nesta categoria enquadraremos cinco artigos. Isto pode nos evidenciar o quanto a pesquisa em Ensino de Física envolvendo a ideia de Indução Eletromagnética ainda é bastante escassa como assinalam, em especial, os trabalhos do grupo de Guisasola. Fato corroborando esta hipótese é o de não termos encontrado um trabalho sequer propondo uma estratégia didática enfatizando a facilitação do conceito de Indução Eletromagnética. Uma parcela deste trabalho de tese contribui neste sentido.

Listaremos as dificuldades encontradas sobre o conteúdo de Indução Eletromagnética: **a)** alguns estudantes não compreendem que uma Corrente Elétrica Induzida é criada quando variamos uma corrente (Guisasola et al., 2010; Guisasola et al., 2011); **b)** poucos estudantes entendem que existe um Campo Elétrico não Coulombiano que faz surgir uma FEM em uma espira inserida em região de Campo Magnético variável (Guisasola et al., 2010; Guisasola et al., 2011; Thong e Gunstone, 2008); **c)** a maioria dos estudantes compreende a origem da Corrente Elétrica induzida pela variação do Fluxo Magnético, mas não conseguem entender que nem sempre a corrente induzida se associa a um Campo Elétrico e que pode se associar, pela Força de Lorentz, à ação de um Campo Magnético sobre Cargas Elétricas em movimento (Guisasola et al., 2010; Guisasola et al., 2011); **d)** alunos creem serem as Correntes Elétricas induzidas originadas da ação direta do Campo Magnético sobre o circuito (Guisasola et al., 2010; Guisasola et al., 2011; Thong e Gunstone, 2008); **e)** alguns alunos atribuem a Corrente Elétrica induzida à passagem de Corrente Elétrica próxima ao fio (Guisasola et al., 2010; Guisasola et al., 2011); **f)** muitos alunos pensam que a área na lei de Faraday é a área onde há Campo Magnético e não a área do circuito móvel (Guisasola et al., 2010; Guisasola et al., 2011); **g)** muitos estudantes podem pensar na Corrente Elétrica induzida como variando proporcionalmente com a Corrente Elétrica em um solenoide que a produz, ou seja, pode-se perceber uma dificuldade em distinguir o vetor Campo Magnético do vetor descritivo de sua variação temporal (Thong e Gunstone, 2008).

Um segundo grupo de pesquisadores formados por Salversbergh, de Jong e Fergusson-Hessler (2002) estuda o Conhecimento Situacional, isto é, o conhecimento de longo prazo usado para dominar situações (guarda semelhança com os esquemas de Vergnaud). A pesquisa é feita no sentido de distinguir o Conhecimento Situacional de novatos e de experientes.

Os autores concluem que: **a)** a competência está associada à estrutura das Situações-Problema; **b)** na comparação entre novatos e experientes, as diferenças no uso de múltiplas representações são mais notáveis do que as diferenças no uso de um tipo específico de representação, ou seja, há maior similaridade nas respostas quando experientes manipulam somente um tipo de representação do que quando manipulam vários tipos; **c)** os resultados indicam diferenças, entre experientes e novatos, dispostas

ao longo de dimensões diferentes quando comparados os grupos de novatos proficientes e não proficientes; **d**) o Conhecimento Situacional dos estudantes com respeito aos conteúdos varia (novato-experiente) nos polos: fenomenológico-abstrato, modelo temporal – modelo de vínculos, topológico-geométrico, questões-dados, numérico-quantitativo; **e**) o Conhecimento Situacional dos estudantes com respeito à estrutura varia (novato-experiente): fragmentado-coerente, inferência simples – inferência de múltiplas fontes, difuso-localizado, representações simples – representações múltiplas. Este trabalho serve como referência para estudos posteriores na mesma linha.

Um último trabalho também entra na revisão, porém mais voltado a uma pesquisa em Psicologia Cognitiva. Narjaikew, Emarat e Cowie (2009) estudam a influência do ato de tomar notas em uma aula expositiva. Os autores chegam à conclusão de que os alunos que tomavam nota se concentravam mais e, por isto, tinham melhores resultados em testes conceituais. Este trabalho não está alinhado ao nosso, no entanto, compõe contextualmente o panorama da área de pesquisa em Ensino de Eletromagnetismo.

Aprendizagem frente a propostas didáticas inovadoras

Nesta categoria não conseguimos enquadrar qualquer trabalho. Isto evidencia a falta de investimento em Pesquisa neste tópico tão importante e interessante da Física. É dos temas mais difíceis e abstratos da Física Geral e grande parte dos processos de transformação de Energia depende dele, assim como toda a Teoria Clássica dos Campos.

A seguir apresentamos o referencial teórico do trabalho para discutir a forma pela qual conduzimos a análise de dados. Discutimos o uso da descrição de Greca e Moreira (2002)¹² como teoria adequada para mapear e estudar possíveis Representações Internas dos estudantes, cujo processamento em Situação resulta em possíveis Operações de Pensamento. Assim, foi possível apresentar evidências do êxito alcançado pelas UEPS na facilitação do domínio do conceito de Campo Eletromagnético.

¹² Distinguir de Greca e Moreira (1998), na qual trabalham o Método Keller. Na proposta de 2002, Greca e Moreira trabalham a articulação entre Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação, apresentamos esta discussão no Referencial Teórico.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. O conceito de Aprendizagem Significativa como construção Supra-teórica

A teoria de Ausubel, Novak e Gowin, mais conhecida na área de Ensino de Ciências como teoria da Aprendizagem Significativa, evidenciou, em linhas gerais, vários aspectos importantes como o papel do conhecimento prévio no processo de ensino-aprendizagem, princípios programáticos para o ensino, enumeração de variáveis da Estrutura Cognitiva e exploração do conceito de Aprendizagem Significativa (Ausubel et al., 1980).

Para Ausubel, a assimilação é descrita cognitivamente através da interação deliberada (intencional) não arbitrária e não literal entre o conhecimento prévio do aprendiz e o conhecimento a ser aprendido. Novak e Gowin introduziram na teoria da assimilação Ausubeliana a condição da ocorrência da integração construtiva de Pensamentos, Sentimentos e Ações no processo de Aprendizagem Significativa. Aprender Significativamente é, portanto, um processo complexo.

Contudo, a teoria da Aprendizagem Significativa deixa de enfatizar elementos fundamentais para melhor entendimento da cognição em aprendizagem de sala de aula. Estes elementos são o mecanismo de interação entre conhecimento prévio e conhecimento a ser aprendido e o domínio do conhecimento em Situação.

Moreira (1997) destaca muito bem a contribuição de Ausubel com o conceito de Aprendizagem Significativa e aponta de forma igualmente destra, a ausência de um mecanismo de Aprendizagem Significativa ocorrente na Assimilação. O mesmo autor, juntamente com Greca (Greca e Moreira, 2002), sugere um mecanismo de Aprendizagem Significativa, o mesmo a ser usado nesta pesquisa.

Vergnaud (2007) aponta outra limitação na descrição dos processos de Aprendizagem Significativa devidos a Ausubel. O Psicólogo americano refere-se implicitamente, porém constantemente, à relação de Aprendizagem como uma relação entre Sujeito aprendiz e Objeto a ser aprendido. Ausubel, assim como Piaget, não reconheceu a importância das Situações¹³ para a Aprendizagem Significativa.

Na teoria da Assimilação o significado é definido como um ente cognitivo idiossincrático, consciente, articulado e diferenciado na estrutura cognitiva (Ausubel, 2000). A articulação, a organização e consciência (emergentes no significado), quando operantes no conhecimento, indicam a chamada forma predicativa (declarativa) do conhecimento (Vergnaud, 1996). Este estágio corresponde à ponta visível do iceberg da conceitualização. São ocorrentes nele tanto a formalização, como a verbalização do conhecimento.

Em complemento à forma predicativa do conhecimento, Vergnaud enfatiza o conhecimento implícito do sujeito-em-situação em sua teoria dos Campos Conceituais (Moreira, 2002). Esta forma do conhecimento carrega significados implícitos na ação e

¹³ Ironicamente, Piaget foi orientador de Vergnaud em sua tese de Doutorado, na qual trabalhou com didática da Matemática e pode desenvolver a teoria dos Campos Conceituais.

que, na maioria das vezes, são desarticulados, não tão organizados (em termos de estrutura de inclusão de classe, como Ausubel enfatiza) e, em algumas instâncias, inconscientes, porém necessários para o domínio de um dado conjunto de conceitos.

Ausubel não deu ênfase a este importante aspecto da conceitualização em sala de aula, pois a definição de significado incorpora elementos da etapa predicativa do conhecimento. É comum alunos conseguirem resolver um problema, saberem como conduzir a resolução de forma substancialmente adequada, mas não alcançarem explicitar grande parte do conhecimento possuído. Certos alunos, em algumas ocasiões não têm, inclusive, a consciência do próprio conhecimento. É neste contexto que surge o conceito de Conhecimento-em-ação (op. cit., p.12).

Como a teoria da Assimilação de Ausubel não enfatiza devidamente o conhecimento na forma operatória e nem sugere mecanismos de Assimilação, mas nos provê de ideias gerais importantes para descrever o conceito de Aprendizagem Significativa, propomos seu uso como um construto supra-teórico.

O conceito de Aprendizagem Significativa é enfatizado como subjacente às teorias de Vergnaud e Johnson-Laird como referência para a classificação dos processos de Aprendizagem como Mecânicos ou Significativos. O conceito de subsunção terá sua generalidade elevada, incluindo o Conhecimentos-em-ação dos Esquemas dos estudantes¹⁴. Os processos de Assimilação (interação entre conhecimento prévio e conhecimento a ser aprendido) serão investigados desde a perspectiva integrativa de Greca e Moreira (2002).

Na sequência abordaremos a teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird como teorias explicativas do raciocínio para aquisição de novos conhecimentos. Encerraremos a seção apresentando a proposta de Greca e Moreira (2002) para integração das duas teorias.

3.2. A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud

A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud é um referente teórico construído para o estudo do desenvolvimento cognitivo de um sujeito através do domínio de Problemas específicos relativos a certo conteúdo. Vergnaud amplia o conceito piagetiano de *Esquema* introduzindo o conceito de Invariante Operatório (conhecimento-em-ação), ente componente da base *implícita* ou *explícita* da conceitualização.

A ampliação do conceito de Esquema, afirma Vergnaud, foi feita para integrar teoria Piagetiana do Desenvolvimento e a Aprendizagem de um conteúdo específico. Vergnaud (1996) afirma que Piaget nunca se preocupou com a Aprendizagem, mas com o Desenvolvimento de Estruturas Cognitivas gerais. No fim desta seção, apresentaremos

¹⁴ Na proposta utilizada, a saber, a de Greca e Moreira (2002), o “volume” conceitual dos Modelos Mentais, isto é, o conteúdo deles é obtido a partir de invariantes operatórios de esquemas de assimilação antigos ou de outras fontes de conhecimento. Novos invariantes operatórios são construídos quando o estudante vê sentido em abandonar os antigos.

como o construto de Vergnaud torna-se compatível com o conceito de Aprendizagem Significativa.

Campo Conceitual

Para Vergnaud o Desenvolvimento Cognitivo de um indivíduo ocorre em longos períodos de tempo, através do confronto com diversas Situações, tanto formais como informais (Vergnaud, 1998). Este viés permitiu a Vergnaud perceber a importância do conteúdo específico nos processos de Desenvolvimento e de Aprendizagem e o fez definir uma matriz epistemológica denominada Campo Conceitual.

Vergnaud (op. cit) define um Campo Conceitual como um conjunto de *Situações*, cuja mestria requer o domínio de diversos conceitos de diferentes naturezas (ibid.). Em termos mais específicos, Campo Conceitual é

“Um conjunto **informal e heterogêneo** de **problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos, e operações de pensamento**, conectados uns aos outros e possivelmente imbricados no processo de aquisição” (Vergnaud, 1982).

Definir Campo Conceitual em termos de Conceitos requer a definição do que é um conceito para o autor. Vergnaud (op. cit) considera ser um conceito, um triplo de conjuntos:

$$C = (S, I, R)$$

onde

- *S* é um conjunto de *Situações* dando sentido¹⁵ ao conceito. Este conjunto é denominado *referente* do conceito.
- *I* é um conjunto de *Invariantes* (objetos, propriedades e relações) sobre os quais repousa a operacionalidade do Conceito, ou o conjunto de *Invariantes Operatórios* (ou *Conhecimentos-em-ação*) associados ao conceito, ou o conjunto de Invariantes que podem ser reconhecidos e usados pelos sujeitos para analisar e dominar as situações (ibid.). Este conjunto é denominado *Significado* do conceito.
- *R* é um conjunto de *Representações* (linguagem natural, gráficos e diagramas, sentenças formais, etc.) passíveis de serem usadas para indicar e representar esses Invariantes e, conseqüentemente, representar as Situações e os procedimentos para lidar com elas (ibid.). Este conjunto é denominado *Significante* do conceito.

Segundo Moreira (2002), na abordagem de Vergnaud, o estudo do desenvolvimento e uso de um conceito ao longo da aprendizagem deve considerar estes três pontos simultaneamente. E conforme afirma também Moreira, não podemos resumir um dos conjuntos aos outros dois, pois não existe, em geral, correspondência biunívoca entre eles. Isto é, embora sejam dependentes não são redutíveis.

Situações e Esquemas

¹⁵ A relação do sujeito com as situações e com os significantes (representações) (Moreira, 2002, p.11).

As Situações são para Vergnaud, tarefas percebidas como problemas pelo sujeito (Moreira, 2002). Estas tarefas podem ser analisadas como uma combinação de tarefas mais simples, cuja natureza e dificuldades específicas devem ser bem conhecidas (Vergnaud, 1996). As dificuldades destas situações obviamente dependem da forma do enunciado e o número de elementos nelas presentes, porém Vergnaud atribui papel secundário a estes aspectos, enfatizando a complexidade dos próprios conceitos (ibid.).

Outro elemento fundamental na teoria de Vergnaud é o conceito de Esquema. Vergnaud define o conceito como a organização invariante da ação frente a uma classe de Situações (Moreira, 2002). Para Vergnaud o esquema é uma totalidade dinâmica funcional (Vergnaud, 1996) e não um ente ancilosado, mesmo por que a ação, segundo Vergnaud (op. cit.), depende de parâmetros da situação.

O esquema de Vergnaud inclui elementos do esquema Piagetiano, mas inclui o conhecimento-em-ação do indivíduo que, muitas vezes, revela-se implícito nas situações. O esquema é composto de:

- *Objetivos e antecipações;*
- *Regras de ação, de provisionamento e controle da informação;*
- *Conhecimentos-em-ação;*
- *Inferências.*

Um Esquema é dirigido a uma classe de situações nas quais o sujeito pode descobrir possíveis *Objetivos* de sua atividade e, em alguns casos, submetas. As antecipações permitem igualmente a expectativa por certos efeitos ou fenômenos por parte do sujeito (Vergnaud, 1996).

As *Regras de ação* constituem a parte geradora do Esquema, pois permitem gerar a continuação das ações transformadoras da realidade, de armazenamento de informação e dos controles dos resultados destas ações, o que permite a garantia do êxito da atividade em um contexto de evolução constante (ibid.).

Os *Conhecimentos-em-ação* constituem a base conceitual implícita ou explícita, permitindo a obtenção da informação relevante e as regras de ação mais pertinentes (ibid) a partir da informação e do objetivo a ser alcançado. Estes Invariantes Operatórios envolvem tanto categorias pertinentes a, como proposições tomadas como verdadeiras sobre a realidade. As categorias, pertinentes, são denominadas *Conceitos-em-ação*, já as proposições, verdadeiras ou falsas, são denominadas *Teoremas-em-ação*.

Um *Teorema-em-ação* pode ser falso ou verdadeiro, enquanto um *Conceito-em-ação* pode ser somente pertinente. Como não tem sentido falar em um conceito verdadeiro ou em um conceito falso, tampouco em uma proposição pertinente ou não pertinente, é impossível reduzi-los uns aos outros e, portanto, devemos tratá-los como complementares. Desta forma, um teorema-em-ação é composto de conceitos-em-ação e os conceitos-em-ação constituem teoremas-em-ação (Moreira, 2002).

Um esquema comporta também possibilidades de inferência, dado que toda atividade requer cálculos do tipo “aqui e agora”. Toda atividade implicada nos três outros ingredientes do esquema requer cálculos deste tipo (Moreira, 2002).

Neste ponto é natural visualizarmos a teoria dos Campos Conceituais como enfatizando a interação entre Esquema e Situação, ao invés da interação entre Sujeito e Objeto. Para Vergnaud a referência à realidade pode conduzir a duas ideias: Referência a *Objetos* e *Situações*. Para ele referimo-nos a ambos, no entanto ações e esquemas referem-se necessariamente às Situações, enquanto a forma predicativa do conhecimento expressa em textos, privilegia objetos e suas propriedades, relações e transformações.

O estudo do desenvolvimento na forma operatória requer, portanto, o enfoque na interação entre Esquema e Situação ao invés do enfoque Piagetiano (e também ausubeliano) na interação entre sujeito e objeto (Vergnaud, 1998). Por este motivo, o conceito de Aprendizagem Significativa de Ausubel fica restrito ao conhecimento na forma predicativa e, portanto, precisa ser ampliado para incluir a interação entre Esquema e Situação. A seguir discutiremos como isto pode ser feito desde a teoria de Vergnaud, apoiando-nos no conceito de invariante operatório.

O ensino de Física e a Aprendizagem Significativa na perspectiva de Vergnaud

Embora a teoria de Vergnaud seja amplamente conhecida e aceita no meio da Educação Matemática, suas implicações e previsões são de grande valia na pesquisa em ensino de Física e no próprio Ensino desta matéria. Nesta seção reservamos um espaço para destacar a importância do professor no ensino e a necessidade de se definir um Campo Conceitual do conteúdo a ser ensinado.

Conforme mencionado anteriormente, os Invariantes Operatórios compõem a base implícita (na maioria das vezes) ou explícita (em menor frequência) da conceitualização. No Ensino, um dos problemas gerados pelo conhecimento largamente implícito dos estudantes é o da estabilidade dos Obstáculos Epistemológicos carregados por eles. Proposições implícitas não são discutíveis, não podem ser debatidas, enquanto conhecimentos explícitos podem (Vergnaud et al., 1990). Muitos Obstáculos Epistemológicos são implícitos.

Levando em conta este ponto, o papel do professor no ensino de Ciências é, portanto, prover Situações (potencialmente significativas) para facilitar tanto o domínio progressivo do Campo Conceitual cujo conhecimento se deseja ensinar, como a explicitação dos invariantes operatórios dos estudantes e neste processo de mediação, a linguagem é fundamental (Moreira, 2003).

Outro aspecto associado ao professor na diminuição do hiato entre ação e sua formalização, ou seja, a dificuldade de explicitação das Operações de Pensamento é o do provimento de linguagem representacional adequada para a transformação dos Invariantes Operatórios (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação) inadequados em conceitos e teoremas científicos (ibid.). É um problema de construção de conhecimento,

de Assimilação de Esquemas à Estrutura Cognitiva e adaptação de Esquemas antigos. As UEPS têm como objetivo facilitar esta transformação.

Muito foi falado também acerca do papel das Situações no processo de Ensino-Aprendizagem. A realização de um bom ensino tem como condição necessária o delineamento de um Campo Conceitual, afinal, ele define as situações que dão sentido aos conceitos a serem ensinados (Moreira, 2002). A organização do Campo Conceitual tem vários motivos subjacentes como, por exemplo, a:

- Conscientização, por parte do professor, dos seus próprios invariantes operatórios;
- Escolha das representações mais acessíveis aos alunos;
- Escolha das situações com maior probabilidade de se tornarem significativas aos alunos e de tornarem explícitos seus invariantes operatórios;
- Direção do foco da instrução, facilitando a organização do ensino e do conteúdo na sua forma predicativa.

O enfoque na interação entre Esquema e Situação, natural à análise do conhecimento na forma operatória, nos faz, junto com premissas epistemológicas de Vergnaud (2007), voltar o olhar ao próprio aspecto ontológico do conceito. Nas suas palavras:

“... A ciência não pode ser reduzida à leitura das regularidades do universo; pelo contrário, as construções dos sábios supõem tomadas de consciência excepcionais, diálogos e confrontos com os outros membros da mesma comunidade, elaborações imaginárias, frequentemente pessoais, que não são compartilhadas pela comunidade, inclusive se estas elaborações se apoiam sobre as de outros.” (ibid.)

É possível associar o forte viés epistemológico de Vergnaud sobre sua própria teoria: conceitos científicos não somente são regularidades universais, mas, antes, são definidos e debatidos em termos de Situações que os tornam significativos. O refinamento deste conhecimento deve muito à discussão entre os homens e as mulheres que o constroem. A mudança de foco na investigação para o estudo do sujeito-em-situação está, portanto, fortemente embasada em elementos epistemológicos e cognitivos.

O conceito de Aprendizagem Significativa, definido por Ausubel como sendo a relação não arbitrária e não literal do conhecimento prévio relevante na Estrutura Cognitiva com o conhecimento a ser ensinado, pode ser trabalhado sob a óptica da aquisição de conhecimento na forma operatória. Para isto, os conhecimentos prévios relevantes na Estrutura Cognitiva, (i.e., os subsunçores) devem ser considerados *Conhecimentos-em-ação*, elementos dos esquemas. O material potencialmente significativo deve assumir a forma de uma Situação potencialmente significativa.

A intencionalidade, presente no processo de Aprendizagem Significativa, associa-se à predisposição do indivíduo em envolver-se no domínio da situação-problema de forma a engrandecê-lo afetivamente e cognitivamente (buscando a

explicitação e diálogo para adaptação do seu conhecimento-em-ação). Ao professor cabe, então, buscar as evidências de Aprendizagem Significativa.

A seguir apresentamos a teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, voltando o enfoque para a perspectiva integradora de Greca e Moreira (2002), no intuito de tornar esta integração entre os referenciais, mais natural possível.

3.3. A Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird

A teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird surge na tentativa de explicar como os seres humanos representam o mundo externo, isto é, seus objetos, propriedades e relações (entrelaçados através de situações¹⁶) por meio do raciocínio ordinário, através da construção de estruturas de pensamento para fazer referência a aspectos da realidade.

Neste sentido, Johnson-Laird considera a possibilidade de explicar: 1) as Representações Mentais construídas pelos seres humanos; 2) os Processos Mentais subjacentes ao raciocínio ordinário; e 3) as Representações dos Significados das palavras esboçadas pelos indivíduos (Johnson-Laird, 1980). Estes eventos enquadram-se não somente na perspectiva da Psicologia Cognitiva em aspectos gerais, mas também, em particular, no Ensino de Física. Para explicá-los, Johnson-Laird lança mão do conceito de *Modelo Mental*.

Um primeiro aspecto a discutir é a diferença entre *Representações Externas* e *Representações Internas* (Mentais). Representações são *notações, signos ou conjunto de símbolos que representam (voltam a apresentar) algum aspecto do mundo externo ou de nossa imaginação na ausência dela* (Eysenck e Keane, 1991, apud Greca, 2004).

Neste trabalho, tentamos inferir possíveis Representações Internas adotadas pelos estudantes e como elas são possivelmente adaptadas a Situações (Operações de Pensamento). Para a fazer isto, analisamos como os estudantes usavam Representações Externas e tentamos reconstituir passos plausíveis para a conceitualização pinçando conhecimentos explícitos e sugerindo possíveis conhecimentos implícitos para dar conta do processo Representativo. O referencial norteador de Greca e Moreira (2002) parece facilitar esta análise tanto em curto como em longo prazo.

Representações Externas podem ser Analógicas ou Simbólicas. São Analógicas se sua estrutura guarda alguma relação de semelhança à do mundo. São Simbólicas se a relação entre o signo e a representação é arbitrária. As Representações Externas estão, obviamente, fora da mente do sujeito (Greca, 2004).

Quando construímos uma Representação e as regras subjacentes à construção desta Representação resulta em um elemento com estrutura inerente que governe seu funcionamento e as relações entre objetos de forma não arbitrária, temos uma *Representação Analógica*.

¹⁶ Analisando por este ponto de vista, a teoria pode se tornar explicativa dos processos cognitivos subjacentes ao desenvolvimento das Operações de Pensamento envolvidas tanto na forma predicativa quanto na forma operatória do conhecimento.

Se representamos a temperatura de uma sala através de uma escala contínua em um termômetro, por exemplo, subentende-se que um aumento da altura da escala termométrica corresponde a um aumento de temperatura. Existe, portanto, uma correspondência não arbitrária entre a Representação a que ela visa representar. No caso dos Campos, os gráficos, os Diagramas de Seta e as Linhas de Campo cumprem este papel.

Quando construímos uma Representação e as regras subjacentes à construção desta resulta em um elemento com estrutura inerente que governe seu funcionamento e as relações entre objetos de forma arbitrária, abstrata e convencional, temos uma *Representação Simbólica*

Quanto ao exemplo da temperatura, podemos representar também os valores desta grandeza numa sala através dos valores marcados no termômetro. Nada, além de uma convenção no sistema simbólico, garante ser um número, por exemplo, 23 maior que outro como 22. A correspondência entre Representação e o que ela visa representar é, portanto, arbitrária.

As Representações Internas, no entanto, são as Representações construídas pelos sujeitos no intuito de representar, dentro do seu sistema mental, o mundo exterior. É evidente que perdas ocorrem no mapeamento de uma Representação Externa em uma Interna (e vice-versa) e, ademais, como se trata de um mapeamento (dependente dentre outras coisas da percepção do sujeito), as Representações Mentais são, portanto, singulares, pois existem infinitas formas de mapear um objeto em outro.

Consideramos Esquemas e Modelos Mentais, construtos teóricos aplicáveis à descrição de possíveis formas de Representação Interna do sujeito. O sujeito constrói, adapta, modifica estas entidades, ou seja, elas são Totalidades Dinâmicas funcionais geradas através de Regras de Ação ou de Operações Recursivas. O sujeito percebe um Objetivo para a atividade e elenca um Esquema ou constrói um Modelo Mental para tecer Inferências sobre a Situação.

A diferença entre Representações Internas e Operações de Pensamento constituem na consideração de que adaptação de Representações Internas ao domínio de Situações é dinâmica. A esta adaptação, damos o nome de Operação de Pensamento. Cabe ressaltar que Operações de Pensamento são construtos hipotéticos aplicáveis à descrição do fluxo temporal dos processos cognitivos, mas diferentes deste fluxo temporal¹⁷.

¹⁷ Chamamos a atenção para uma interpretação das teorias científicas distinta da interpretação realista imediata ou direta. Nosso trabalho tenta se apropriar da interpretação realista indireta ou mediata. Este tipo de realismo admite ser possível a construção de teorias apresentando algum tipo de correspondência com a realidade tomada como existente independentemente de nós. Esta correspondência não é uma relação de semelhança especular com o que se visa representar e nem mesmo uma busca por verdades absolutas. Teorias são construtos hipotéticos visando aplicação à realidade. Embora o realismo indireto assuma que a realidade não se comprometa com qualquer teoria, estas devem estabelecer métodos e técnicas para relacionarem-se com o real e, ademais, fornecer relações entre conceitos para uma descrição deste real cada vez mais aprofundada, ampla e coerente. Os Modelos Mentais e Esquemas que descrevemos são hipotéticos e visam descrever com maior profundidade processos cognitivos, mas não são espelhos destes processos.

Johnson-Laird (1980), ao contextualizar sua teoria, menciona um debate entre duas correntes filosóficas do estudo da representação mental: imagistas *versus* proposicionalistas. O psicólogo se enquadra em uma terceira via entre as visões.

Os imagistas afirmavam serem as imagens as formas possíveis de Representações Mentais dos seres humanos. A interpretação destas originaria uma experiência subjetiva. Para Johnson-Laird, a representação imagística na mente de um ser humano dá origem a um problema fundamental, a saber, a necessidade da existência de um homúnculo¹⁸ para interpretá-la. Precisaríamos criar, no entanto, sucessivos homúnculos para interpretar as imagens interpretadas pelos anteriores, até chegar ao que interpreta o conteúdo da mente. Em outras palavras, nunca chegaria, isto é, haveria regresso infinito.

Os proposicionalistas, por outro lado, acusavam a experiência subjetiva originada pelas representações mentais imagísticas de ser epifenomenal. Isto equivale dizer que as imagens não acrescentavam nada à discussão da natureza das Representações e eram, na verdade, sustentadas por Representações Mentais proposicionais.

Johnson-Laird (op. cit.) afirmava existirem autores como Anderson (ibid), que tratam a questão como não solúvel e como tentativa de resolução do problema fundamental da Cognição, Johnson-Laird introduziu seu conceito de Modelo Mental como ente explicativo da Representação Mental dos indivíduos.

Com o conceito de Modelo Mental, Johnson-Laird consegue abarcar: **a)** um possível tipo de Representação Mental construída por seres humanos; **b)** explicações para processos mentais subjacentes ao raciocínio ordinário como, por exemplo, o raciocínio silogístico, incluindo o efeito figural¹⁹ e o fato de em muitos processos de raciocínio as pessoas não conseguirem obter conclusões; e **c)** uma possível explicação para a representação dos significados esboçados pelos indivíduos, já levando em conta a extensão (contexto) de primitivos semânticos (Johnson-Laird, 1980).

É importante ressaltar que por serem análogos estruturais dos estados de coisas do mundo, os modelos mentais não têm uma estrutura sintática. Eles codificam proposições e imagens numa linguagem mental transformando-as em Modelos Mentais. Aqueles construídos a partir de proposições possuem menos estrutura analógica que os construídos a partir de imagens ou *layouts* espaciais (Moreira, 1996).

Outra diferença destacada por Moreira (ibid.) é a relação entre a especificidade dos Modelos Mentais e a clareza da informação advinda do meio externo. Modelos Mentais são mais específicos se são construídos a partir de informação coerente, como por exemplo, uma descrição espacial sem ambiguidades. O discurso é, no entanto, muitas vezes, indeterminado e, portanto, muitas vezes dificulta a construção dos

¹⁸ Um pequeno homem, dentro da mente, responsável por ler as imagens.

¹⁹ Efeito percebido por Johnson-Laird consistente no enviesamento das respostas dos sujeitos causado pela forma em que são apresentadas as premissas (*figures*) em problemas de “raciocínio lógico”. Pode ser considerado um viés cognitivo.

Modelos Mentais coerentes. Nestas situações o indivíduo é forçado a assimilar informações em forma proposicional (Johnson-Laird, 1980).

Os Modelos Mentais podem ter conteúdos muito variados: podem conter nada mais do que elementos que representam indivíduos e identidades entre eles, como nos modelos necessários ao raciocínio silogístico; podem representar relações espaciais entre entidades ou relações temporais ou causais entre eventos (Johnson-Laird, 1983, apud Moreira, 1996). Os Modelos Mentais são estruturas que compartilham, no entanto, uma característica fundamental, a de servir à finalidade para as quais foram construídos, a saber, prever, explicar ou controlar (Moreira, 1996).

Moreira (1996) aponta que o aspecto essencial do raciocínio através de modelos mentais não está só na construção de modelos adequados para representar diferentes estados de coisas, mas também na habilidade de testar estes modelos, ou seja, na capacidade de “criticar” o modelo para eliminar conclusões putativas. É possível que este aspecto seja um dos amplamente ligados à Aprendizagem Significativa.

O autor afirma também existir uma diferença entre um Modelo Mental de um indivíduo e os denominados Modelos Conceituais, Representações Externas precisas, consistentes e completas de eventos ou objetos e que são projetadas como ferramentas para facilitar a compreensão ou o ensino (ibid.). Os Modelos Mentais, embora funcionais, podem ser confusos, instáveis e incompletos. Estes Modelos são limitados pela experiência prévia com aspectos semelhantes das situações com que o sujeito se depara, pelo conhecimento prévio e pela capacidade de processamento humana.

Um dos objetivos do trabalho pode ser entendido como a construção de uma estrutura conceitual na qual existe um conjunto de Modelos Conceituais potencialmente significativos a serem abordados de maneira diferenciada, seguindo os moldes das UEPS, e aprendidos pelos estudantes através de interações entre alunos-professor e alunos-alunos. Trata-se de uma tentativa de facilitação da aproximação entre Modelos Mentais e Esquemas de Modelos Conceituais cientificamente aceitos.

A diferenciação conceitual estaria associada, portanto, à recursividade dos Modelos Mentais. Uma pessoa pode modificar seus modelos mentais até ser atingida a funcionalidade desejada por ela. A interação entre conhecimento prévio na Estrutura Cognitiva e o conhecimento no mundo externo dar-se-ia através da construção de um Modelo Mental (no caso de não haver disponíveis esquemas de assimilação). A diferenciação de conceitos na Estrutura Cognitiva consistiria na revisão e aprimoramento deste Modelo Mental (ibid.).

3.4. A Proposta de Greca e Moreira para a Aprendizagem Significativa

Tendo tratado o conceito de Aprendizagem Significativa (de Ausubel, Novak e Gowin) nas perspectivas de Vergnaud e Johnson-Laird, encerraremos a seção apresentando a proposta de integração que norteará o processo de pesquisa de investigação da aquisição de conhecimento tanto declarativo como procedimental.

Embora as UEPS tenham dentre seus princípios, ideias de diversas teorias de Aprendizagem, enfocamos nas de Vergnaud e Johnson-Laird, pois tomamos estas como referencial para a análise dos dados dos estudos feitos na Investigação. Pode ser apontada como escolha arbitrária, mas julgamos ser uma junção altamente frutífera para elucidar alguns pontos a serem discutidos no trabalho.

Greca e Moreira (2002) propuseram uma integração dos referenciais de Johnson-Laird e de Vergnaud para o estudo das concepções dos estudantes em Física. A proposta consiste basicamente na suposição da construção, pelo aprendiz, de um Modelo Mental de uma Situação, em sua Memória de Trabalho, quando desequilibrado cognitivamente, ou seja, quando posto no confronto com uma Situação relativa a uma Classe de Situações considerada como nova para o sujeito.

Após dominar uma Situação de uma Classe nova, o Modelo Mental construído pelo sujeito seria obliterado²⁰. O confronto com novas situações induziria o estudante a construir novos Modelos que, em situações posteriores, estabilizar-se-iam como Esquemas de Assimilação na memória de longo prazo. Entre a Estabilização em Esquemas de Assimilação e a construção inicial de Modelos Mentais teríamos, entretanto, uma zona cinza de estabilidade na qual não ocorreria a organização invariante da conduta frente a uma classe de Situações.

Qual seria a fonte primordial dos elementos necessários à conceitualização? Os Esquemas! Neles há o conhecimento prévio necessário ao estabelecimento de referência às Situações. Os teoremas-em-ação e conceitos-em-ação cumpririam, portanto, o papel de subsunçores. Construir um Modelo Mental, requer o uso, na ação, de Conhecimentos-em-ação (invariantes operatórios) para a sua construção. Outras fontes como leituras, conversas, aulas podem ser úteis para aquisição de novos invariantes operatórios.

E qual o papel das Situações neste contexto? As Situações dão sentido aos conceitos. Quando o sujeito encara um Problema como tal, ele sente a necessidade da introdução de uma nova ideia para resolver aquele problema. Desta forma, chegamos novamente à ideia de ser o professor um provedor de Situações Potencialmente Significativas. As Situações podem ou não se tornar significativas para os estudantes, dependendo de se eles as entendem ou não como problemas.

Para Greca e Moreira, este modelo de Aprendizagem explicaria a origem de novos Esquemas na Memória de Longo Prazo, os processos de Acomodação decorrentes do Conflito Cognitivo ocorrente no domínio de uma Situação nova que ele seja capaz de resolver, e a rápida obliteração decorrente da Aprendizagem Mecânica.

A Aprendizagem Mecânica, segundo Ausubel (2000), tende a ser rapidamente obliterada, pois não há relação substantiva e não arbitrária entre conhecimento prévio e conhecimento que se visa aprender. Sem um Esquema de Assimilação prévio, uma

²⁰ A obliteração de um Modelo Mental corresponde ao esquecimento de grande parte das relações estabelecidas no domínio da Situação. Esta obliteração deixa, no entanto, um resíduo na estrutura cognitiva do sujeito. O “descarte” do Modelo Mental descrito por Greca e Moreira, a nosso entender, funciona desta forma.

classe de Situações é entendida como nova e o sujeito, ao se deparar com ela, possui algumas opções: abandonar o entendimento, partir para a tentativa e erro, construir um Modelo Mental.

Ao abandonar o entendimento, o estudante tentaria relacionar de forma arbitrária e literal as informações das Situações na sua estrutura cognitiva e ele, naturalmente, o faria através de proposições. Esta rápida obliteração ocorreria, pois não haveria modificação substancial da estrutura de conhecimentos do sujeito. O baixo investimento cognitivo estaria associado a baixas taxas de retenção²¹.

Ao partir para a tentativa e erro, o sujeito ainda poderia lograr, a muito custo, Aprendizagem Significativa. Ao tomar Esquemas e tentar relacionar, arbitrariamente, invariantes operatórios destes e tentar articulá-los, ele ainda conseguiria estabelecer uma relação substantiva entre o que se saberia e o que se visaria aprender. Este processo é, no entanto, arbitrário muitas vezes e dificulta a sistematização. Este processo envolveria um alto investimento cognitivo, mas obteria médias taxas de retenção.

Ao construir um Modelo Mental para dominar uma classe de Situações não conhecida, o estudante necessariamente precisaria representar esta Situação em sua estrutura cognitiva e estabelecer relações entre conhecimentos nela. O Modelo Mental se apropriaria de conhecimentos-em-ação dos Esquemas²² e buscaria criar uma estrutura dependente localmente destes esquemas, mas distinta destes em termos globais. Tal processo teria alto custo cognitivo, mas levaria a uma alta retenção em virtude de se associar a processos substantivos e não arbitrários.

A construção de Modelos Mentais caracterizaria evidências de Aprendizagem Significativa e seria guiada, em parte, pelos Conhecimentos-em-ação para busca e seleção de informação. Desta forma, o papel do Modelo Mental seria análogo ao de um Esquema na Memória de Curto Prazo.

Um Modelo Mental não é entendido como um Esquema de Assimilação de curto prazo. Um Esquema de Assimilação são entes dinâmicos, mas apresentam uma organização invariante da conduta frente a uma Classe de Situações e possui Conhecimentos-em-ação. A dinâmica do esquema se caracteriza pela adaptação deste a distintas Situações dentro de uma Classe de Situações conhecidas.

Modelos Mentais não organizam condutas de forma invariante, eles buscam a resolução eficiente da Situação sem compromisso com esta organização. Ao contrário dos Esquemas, eles não possuem conhecimentos prévios sistematizados, mas se apropriam dos existentes nos Esquemas. Os Modelos Mentais, altamente adaptáveis, modificáveis e recursivos podem, ao contrário dos Esquemas, ser construídos e adaptados a Classes de Situações entendidas como novas para os sujeitos.

²¹ Basta que nos lembremos daquelas provas sobre assuntos dos quais não nos identificamos e não entendemos. É normal que as pessoas adquiram a síndrome do “não me toque” perto das provas. Coisa do tipo: “não me toque, se não esqueço tudo o que decorei”.

²² E oriundos de outras fontes como, por exemplo, leitura, conhecimentos-em-ação do professor, conversas, etc.

Os Modelos Mentais se aproveitam de Conhecimentos-em-ação prévios para resolver Situações e, embora diferentes, guardam algumas semelhanças com os Esquemas. Modelos Mentais apresentam *Objetivos* para a atividade. Eles também são entes cognitivos construídos ou usados para a tomada de Inferências. Aos outros ingredientes dos Modelos Mentais permitindo o caráter dinâmico do “olho de deus”²³ relativo aos Modelos Mentais, nós chamamos Operações Recursivas.

Entendemos que o domínio de uma situação apresenta raciocínios do tipo “se... então... transforme o modelo/mantenha o modelo...”. Estes raciocínios permitem, além da Representação Interna da situação, a continuidade das ações e da recursividade, bem como caracterizam o aspecto provisório do Modelo Mental. Após a tomada de inferência, o Modelo seria descartado. A seguir, apresentamos um mapa conceitual relacionando as duas teorias.

²³ Expressão cunhada pelo próprio Johnson-Laird para abordar o caráter de analogia estrutural e dinamicidade dos Modelos Mentais com respeito à Representação mental do mundo exterior. Nenhuma referência está sendo estabelecida com respeito a qualquer ser espiritual.

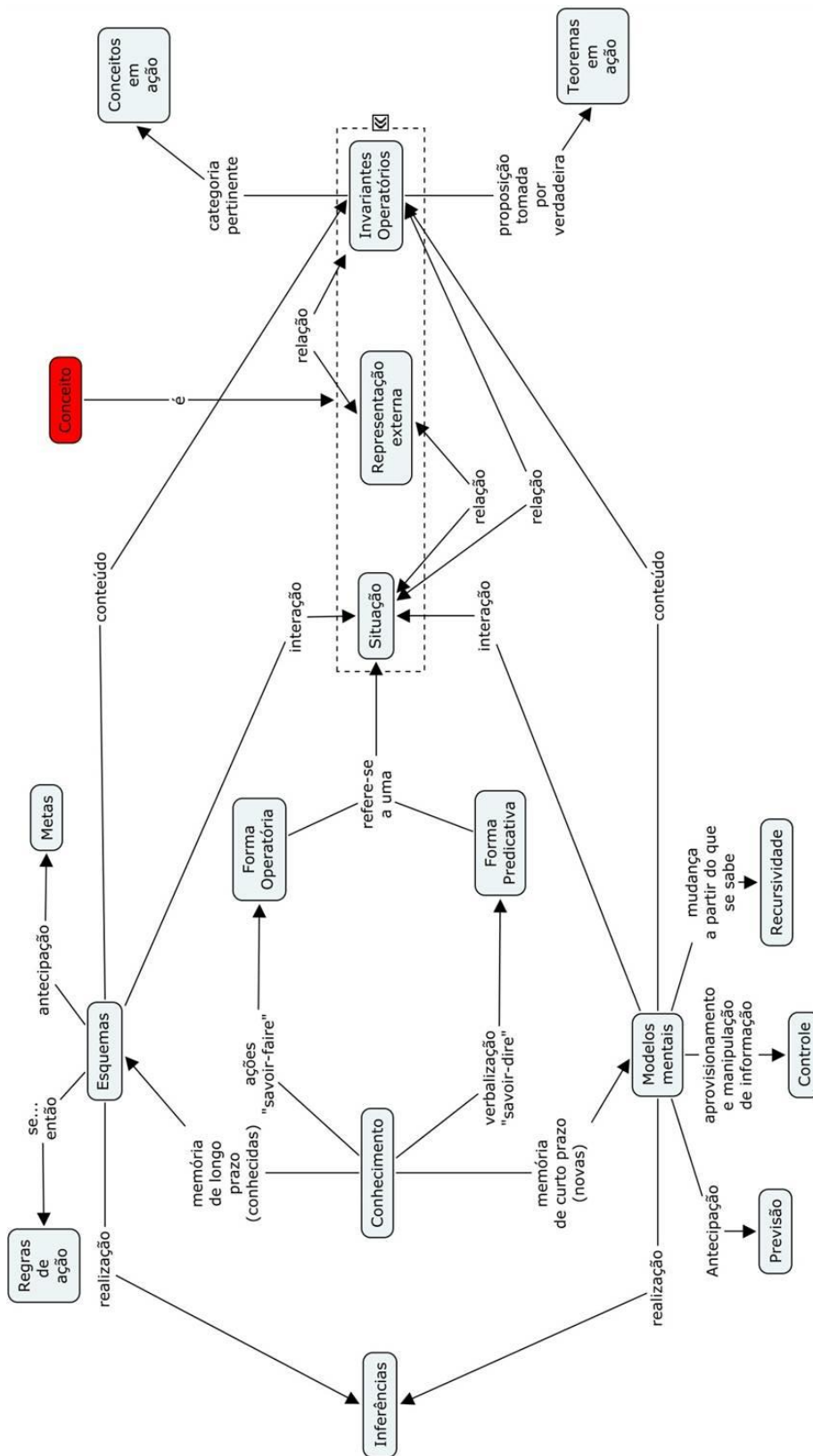


Figura 1: Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação

3.5. Visão epistemológica e ontológica adotada no trabalho

Uma nota sobre o conceito de realidade

É fundamental a discussão da visão epistemológica e ontológica adotada no trabalho para evitar ambiguidades na compreensão dos termos adotados tanto no Referencial teórico como na discussão de aspectos relativos ao conceito de Campo Eletromagnético.

É importante lembrar também da nossa recusa à afiliação sectária a uma única linha de pensamento. Existem posicionamentos complementares e incomensuráveis em Filosofia da Ciência. Apresentamos os posicionamentos complementares e descartamos a comparação entre os incomensuráveis.

Como exemplo desta ideia, podemos mencionar o posicionamento sociológico de Fourez sobre a objetividade e a discussão de Mario Bunge sobre realidade. Elas versam sobre aspectos em diferentes dimensões. Quando Bunge apresenta suas ideias sobre objetividade e estas ideias são comparadas às trabalhadas por Fourez, vemos uma nítida diferença entre eles. Fourez apresenta um viés mais externalista e Bunge mais internalista. As diferenças já começam desde a gênese da discussão.

Em primeiro lugar, gostaríamos de adotar um posicionamento ontológico, ou seja, determinar nosso pensamento acerca da existência do mundo exterior a nós. Popper (1972) apresenta interessante discussão sobre o caráter irrefutável tanto do idealismo como do realismo. Neste conflito ideológico, o autor posiciona-se a favor do realismo, pois considera apelativos os argumentos a favor do idealismo.

Parece-nos que, embora irrefutável, o idealismo sempre recai sobre um regresso infinito de considerar qualquer asserção sobre a realidade do mundo como um delírio ou um sonho. Como consequência, nossa própria existência, questionada²⁴ pelo idealismo, e a existência de tudo a nos cercar, é oriunda de um sonho. Para o idealismo, as coisas somente existem no interior de nossas mentes e inclusive, a mente é produto de um sonho (Popper, 1972).

Popper apresenta uma defesa ao realismo argumentando sobre a consequente irrefutabilidade de ambas as linhas filosóficas, mas traz à tona a discussão da continuidade do mundo exterior a despeito de nós. Para ele, a evolução das espécies, a construção do universo e a origem da vida ocorreram independentemente de nós, mas

²⁴ Referências interessantes acerca do problema da existência são apresentadas de forma bastante didática nos filmes “inception” e “transcendence”. No primeiro deles, o filme apresenta uma ideia de que a realidade na verdade é somente um sonho, pois ao longo do filme, um acontecimento aparentemente real se passa no sonho de uma pessoa que está dormindo, e seu dormir é o sonho de outra pessoa. Ao final da produção cinematográfica, o último acontecimento se revela como um sonho, levando-nos a induzir um regresso infinito (a realidade é meramente um sonho e mais, um sonho de um sonho). No filme transcendence, o cientista Will Caster tenta mostrar que a consciência pode ser reproduzida por um computador supostamente autoconsciente. Ao perguntar ao computador se ele consegue demonstrar sua consciência, o computador o responde “você consegue provar a sua?”, sugerindo que nossa existência pode ser questionada.

afirma que a isto não se pode associar qualquer grau de verdade ou de falsidade. Por não ter como refutar uma ou outra linha de pensamento, o filósofo apresenta seu posicionamento a favor da linha de pensamento realista.

Popper apresenta razões para adotarmos, como ponto de vista inicial o posicionamento realista. Relacionemos abaixo estes argumentos (op. cit.) antes de estendermos a discussão para a parte epistemológica do conceito de realidade.

- *A importância da Ciência para o realismo*: para o cientista, buscamos explicar a realidade através de teorias conjecturais (esperadas verdadeiras, mas nunca verdadeiras ou prováveis, mas somente potencialmente falsas). Não adotamos o posicionamento epistemológico de Popper inteiramente, mas isto será explicado adiante;
- *O papel dos argumentos linguísticos*: os argumentos linguísticos são sempre realistas, pois sempre se referem a alguma coisa ou estado de coisas. Para Popper este argumento não refuta o idealismo e tampouco é mais conclusivo em relação a outro, mas para o cientista, é muito mais racional que dizer serem os argumentos um sonho;
- *A consideração da diferença objetiva entre um conjunto de observadores*: para Popper, o ditado “a beleza está nos olhos de quem vê” não é absurdo, mas implica em considerar os observadores virtualmente iguais quando para ele, não o são. Sabe-se da diferença explicativa de eventos no mundo exterior por distintos juízes. Popper não considera, explicitamente, alguns mais capacitados em relação a outros para observar, em absoluto, todos os aspectos do mundo, mas acredita haver observadores mais adequados para compreender aspectos particulares do mundo externo. Como exemplo, ele acredita haver juízes melhores que ele para analisar uma sinfonia de Bach ou um quadro de Rembrandt. O autor conclui com a proposição “negar o realismo importa em megalomania” (Popper, 1972);
- *Não há razão para se falar em verdade ou falsidade de delírios*: para Popper, nossos conhecimentos subjetivos e perceptivos consistem de disposições para a ação, sendo adaptações experimentais à realidade. Para ele somos investigadores passíveis de erro e, portanto, investigar algo não passível de erro, como um delírio, é algo desprovido de sentido.

Reiteramos nossa concordância em grande parte com as ideias de Popper sobre o aspecto ontológico da realidade, ou seja, sobre a existência do mundo exterior. Afastamo-nos, no entanto, das posições epistemológicas do autor, do positivismo lógico e do realismo ingênuo. O último tende a igualar os conhecimentos científicos à realidade, o positivismo lógico tende a crer numa realidade tangível através do conhecimento positivo (matematizado e científico) e observável (tudo que for redutível a grandezas tomadas como mensuráveis segundo a corrente filosófica), e Popper tende a acreditar que podemos nos aproximar da realidade pelo erro.

Popper (1972, 1973) conduz uma discussão sobre o crescimento científico com a qual concordamos em alguns pontos, quais sejam o do mito da verdade última, da dependência da teoria nos processos de observação e da refutabilidade do conhecimento científico. No último aspecto, discordamos de Popper tanto no seu mecanismo de refutabilidade (conjecturas abandonadas no ato da discordância com a experimentação) como com seu critério de demarcação.

Discutimos em seguida, portanto, o nosso posicionamento ontológico no trabalho. Apresentaremos aqui algumas ideias relevantes para a discussão de alguns conceitos filosóficos. Nosso maior objetivo é discutir a realidade do conceito de Campo tão destacada no nosso trabalho.

É importante, no entanto, delinear este conceito de realidade epistemologicamente, e não somente ontologicamente, para não causar a impressão de estarmos adotando um posicionamento ingênuo quanto ao caráter humano, social e descritivo do conhecimento científico.

Para discutir nestes termos, nos apoiaremos em dois grandes autores, Bunge e Fourez, sem visar uma integração dos referentes teóricos apresentados por eles, mas para melhor explicar a visão epistemológica apresentada em nosso trabalho. São pontos de vistas distintos e algumas vezes antagônicos quando analisados em somente uma dimensão. Estes pontos possuem, porém, algumas similaridades bastante instrutivas sobre a Ciência que nos fazem deslocar a ideia de relação direta (imediate) entre objetos do mundo e objetos físicos para uma relação indireta (mediata) entre estes.

O papel da observação em Ciência

É importante ressaltarmos desde o início a rejeição a uma ideia de observação neutra, independente do observador. Uma visão provavelmente mais voltada ao realismo direto²⁵ e ao positivismo lógico. Um ótimo exemplo para isto advém do experimento de Michelson-Morley. Aliás, vários aspectos do fazer científico podem ser ilustrados por este experimento.

O experimento de Michelson-Morley visava à medição da velocidade do vento de éter, supostamente real. O experimento foi realizado durante mais de um ano em diferentes regiões do planeta para encontrar a velocidade do suposto referencial preferencial, mas nunca foi encontrado. Lorentz, um expoente da Física à época, alegou ter sido Michelson negligente na realização do experimento, pois este não o realizou adequadamente.

Michelson tentou tantas vezes medir a velocidade do éter que certas vezes acusou ter obtido uma velocidade finita para o vento de éter. Fica nítida, então, a dependência da observação com as teorias. Michelson cria num vento de éter. Popper

²⁵ Embora a denominação usual seja realismo ingênuo, nós julgamos pedante tal termo e preferimos usar a expressão realismo direto para associar a ideologia julgando a percepção como fonte última de todo o conhecimento da realidade.

(1972) destaca, ainda, uma situação na qual pede a seus alunos para “observarem”. Os alunos respondiam “observar o que?”.

Tanto Bunge como Fourez atribuem uma dependência da observação com a teoria. Para ambos, a observação constitui a construção de um modelo teórico para interagir com o mundo. A relação entre o sujeito e os objetos é, obviamente, indireta. As definições de modelo são distintas, mas são convergentes no ponto de descrição.

Fourez (1972) afirma ser a observação uma interpretação teórica do mundo não contestada (até o momento). E para o filósofo, um fato é um modelo de interpretação teórica a ser estabelecido. De todas as formas, para o autor, não existem proposições empíricas. Elas são todas teóricas, afinal não se pode observar ou descrever uma experiência sem uma linguagem contendo conhecimentos prévios. Para Fourez, a linguagem tem, então, papel fundamental não só descritivo, mas estruturador do próprio conhecimento.

Para Fourez, a linguagem está imersa em uma cultura e, por isto, ele atribui um papel importante às convenções sociais impostas sobre a linguagem. Desta forma um objeto só pode ser um objeto se duas ou mais pessoas se comunicam fazendo referência a ele através de uma linguagem. Fourez apresenta-nos, então, a ideia de objetividade socialmente instituída. Temos, portanto, a impressão de vermos as coisas como vistas por outros, pois no fundo descrevemos o mundo de forma parecida a estas outras pessoas.

Para exemplificar a proposição acima, basta ler comentários de uma notícia de jornal em uma rede social e “apreciar” os debates inflamados sobre racismo ou homofobia, por exemplo. As pessoas costumam chamar-se rudemente de imbecil, idiota ou louco. Todos são, na verdade, adjetivos dados a pessoas com disfunção cerebral e isto não é feito gratuitamente, mas visa à indicação da falta de noção de realidade. As noções de realidade e de objetividade são, para Fourez, sociais.

Ainda com respeito ao exemplo dado, certos grupos concordam com respeito ao que seja racismo ou homofobia, por exemplo, e discordar deles significa ter uma visão deturpada ou inexistente da realidade tomada por este grupo como objetiva. Esta sensação de realidade objetiva só existe, pois, segundo Fourez, convenciamos interpretar o mundo de uma forma ancorada em uma linguagem usada e compartilhada em nosso meio social²⁶.

Já Bunge (1974) não destaca com toda a ênfase sociológica de Fourez, a construção de modelos. O filósofo enfatiza o fazer científico de uma forma mais voltada à relação entre o cientista como indivíduo e a realidade a ser entendida. Fourez o faz pensando a interação entre mundo-comunidade (científica) e Bunge discute a interação mundo-cientista (indivíduo). Não significa um antagonismo precisamente, porém

²⁶ Do exemplo narrado acima, não fica difícil perceber que vivemos em uma sociedade racista, machista e homofóbica, na qual as “pessoas não são racistas, pois tem até amigos negros”. Ponto para Fourez.

significam dois holofotes apontando em distintas direções. Bunge certamente não aprovaria as ideias de Fourez, mas nós vemos algum significado nela.

Bunge nos traz a ideia da apreensão conceitual da realidade, da aproximação do real pelo pensamento, do estabelecimento indireto entre teoria e realidade. Para Bunge, um cientista enumera um objeto modelo, uma representação esquemática de algo real ou suposto como tal, e faz uma referência conceitual incompleta, como ele mesmo frisa, a um elemento do mundo.

A incompletude sempre ocorrerá devido à falibilidade do nosso raciocínio, no entanto, para Bunge, é sempre possível complicar situações introduzindo novas considerações e tornando mais complexa a relação entre o sujeito cientista e aspectos da realidade. Para Bunge todo objeto modelo é somente um símbolo que ancorado em uma teoria geral (leis de Newton, Equação de Schrödinger, Equações de Maxwell) resulta em um modelo teórico, um sistema hipotético-dedutivo para a interpretação indireta do mundo.

Quando falamos, portanto, que o mundo existe independente de nós, estamos atribuindo a este uma realidade ontológica, mas quando dizemos que os conceitos representando este mundo são reais, realizamos um deslocamento. A realidade é meramente epistemológica e está aprisionada na teoria. Ela não se pronuncia para a existência fora dela. Dizemos várias vezes ser o conceito de Campo real, mas queremos dizer que ele é real dentro da teoria, ou seja, não é meramente um objeto matemático imaginário, mas isto não atribui existência independente do observador a ele.

Adoção e rejeição de modelos e teorias

Bunge e Fourez, a despeito de discordância de alguns aspectos procedimentais, concordam quanto ao abandono e adoção de teorias. Enquanto Fourez ressalta a característica irracional da Ciência e do apego a uma linha de pensamento e consequente perseverança do cientista na manutenção de uma teoria (e consequentemente na adoção de seus modelos), Bunge aborda a Ciência como um empreendimento racional de construção de Modelos.

Bunge acredita ser o cientista um homem construtor de modelos, sendo este guiado fundamentalmente pelo estabelecimento de uma relação de modelagem. Tal relação é ancorada na junção de uma teoria geral com um objeto modelo representando um referente. Bunge indica ser difícil apontar o malogro de uma teoria geral, pois o cientista confia nela como uma referência para abordagem dos problemas.

Na discrepância entre o Modelo e a experimentação, o filósofo aponta os dois mecanismos mais seguidos pelos cientistas: ou eles analisam possíveis erros experimentais (no delineamento do aparato, na constatação de uma falha técnica, na inadequação do experimento medir o que se pretende medir) ou mudam o modelo tornando-o mais complexo.

Fourez atribui um *status* voluntarista à escolha de uma teoria, a decisão é sempre a resultante de um conjunto de pressões sociais de setores científicos. Para ele é difícil

e, quiçá impossível, definir experimentos cruciais para determinar entre uma teoria e outra, estabelecer datas de abandono.

Podemos exemplificar isto usando o próprio exemplo de Maxwell que Chalmers (1975) aponta. O próprio Maxwell ao certo não nos apresenta claramente a razão de abandonar seu modelo de éter. Uma possibilidade é uma resposta de Pierre Duhem ao modelo Maxwelliano com erros em aplicações de teoria da elasticidade para abordar o éter, por exemplo. Talvez “engavetar” o problema do éter tenha sido uma decisão um pouco voluntarista. Sobre isto, Fourez (1972) diz que:

“A decisão de, em determinado momento, conservar ou rejeitar um modelo, não provém diretamente de critérios abstratos e gerais. Na prática, abandona-se um modelo (ou uma lei, ou uma teoria) por razões complexas que não são jamais inteiramente racionalizáveis. Há sempre uma decisão mais ou menos ‘voluntarista’ e não necessária” (Fourez, 1972).

Para Fourez (1972), as teorias científicas tem um objetivo bastante pragmático, são tecnologias intelectuais, entidades não subjetivas (objetivas no sentido de objetividade socialmente instituída) e cumprindo o papel de instituições sociais ligadas a projetos. São invenções humanas organizando nossa percepção do mundo. No aspecto representacional, tão somente, e de forma bastante geral, Bunge e Fourez apresentam uma convergência. Para eles, Modelos e teorias são representações e não cópias fidedignas do mundo real. Talvez a totalidade dos epistemólogos do século XX-XXI concordem com eles, porém a eles deve ser dado o crédito de terem “falado com todas as palavras” isto.

Para Bunge (1974) a Ciência tem a finalidade de explicar aspectos do mundo que nos cerca e para isto, existem teorias gerais e objetos modelos. Para Bunge, um resumo da produção científica pode ser visto no seguinte excerto:

“... faz-se ciência, em quase toda parte, tal como os físicos a têm feito desde Galileu, a saber, formulando questões claras, imaginando modelos conceituais das coisas, às vezes teorias gerais e tentando justificar o que se pensa e o que se faz, seja através da lógica, seja através de outras teorias, seja através de experiências, aclaradas por teorias...” (Bunge, 1974).

Partindo desta ideia, Bunge distingue entre os objetos conceituais usados para fazer referência a objetos reais ou supostos reais (Referentes) através de um modelo teórico consistindo na junção destes objetos conceituais a teorias gerais (nem sempre existentes) como, por exemplo, a Mecânica Clássica, A Mecânica Quântica, o Eletromagnetismo, etc. Quanto à eliminação putativa de modelos e teorias, o filósofo se pronuncia dizendo ser muito mais corriqueira a possibilidade de malogro de um modelo em relação a uma teoria geral, conforme apresentado a seguir:

“... a comprovação de teorias gerais demanda a produção de teorias específicas; por si mesmas. As teorias extremamente gerais como a teoria da informação, a teoria geral das máquinas, a mecânica clássica e a mecânica quântica são improváveis; o que se pode testar é uma teoria geral equipada de um objeto-modelo – em suma, um modelo teórico... ao comprovar uma teoria específica (modelo teórico) em um Campo avançado, nem sempre é claro o que se deve culpar em caso de malogro: a teoria geral, o objeto-

modelo ou ambos – mesmo na hipótese que os próprios dados sejam isentos de culpa. Em qualquer evento, sem modelo, não há prova empírica” (Bunge, 1974).

Bunge nos mostra claramente seu posicionamento, em parte, parecido com o de Fourez acerca da manutenção de teorias e descarte de modelos. Existem grandes diferenças entre as duas concepções, no entanto. Neste ponto ambas contrariam concepções Popperianas de Ciência enquadradas por Lakatos no falsificacionismo dogmático, qual seja, o que atribui papel de juiz imparcial à experiência na hora de falsear uma teoria e de réu a tais teorias. Nosso ponto vai à contramão desta ideia. Cientistas não abandonam tão prontamente as teorias às quais são afetivamente ou racionalmente (o que quer que isso possa significar) associados.

Ponto a ser destacado em ultimo lugar é a desestruturação do argumento da verdade atribuída ao conhecimento científico pelo positivismo lógico. Tanto Popper (1972), como Bunge (1974) e Fourez (1972) se afastam desta realidade tangível. Para estes filósofos a verdade e mesmo a probabilidade de verdade de uma teoria científica é inatingível. A diferença está na atribuição ao conhecimento por Fourez a uma multiplicidade de pontos de vista relativos (o que é mais verdadeiro? Física ou Química? Depende!) e por Bunge à própria limitação humana no mapeamento do mundo através da representação.

Ressaltamos novamente serem os referenciais completamente distintos, mas olhando em pontos de vista diferentes. É improvável uma integração entre os dois e, por isto, não objetivamos esta árdua tarefa. A ideia aqui é apresentar as semelhanças em diferenças extremas, entre um filósofo enxergando a ciência de uma perspectiva mais “dura” e outro de uma perspectiva mais social, porém ambos levando a uma ideia bastante importante para o trabalho: a Ciência, mesmo que vise ou não a descrição e explicação de processos naturais ou artificiais, será sempre um empreendimento representacional e de nenhuma forma, uma cópia fidedigna da realidade.

4. METODOLOGIA

Nesta seção discutiremos a metodologia adotada nos estudos da Investigação. É frutífero dividir este tópico em duas partes, a saber, metodologia didática e metodologia investigativa.

Na seção de metodologia didática, discutiremos como foi ensinado o conteúdo selecionado e isto cobre o detalhamento de como podem ser construídas as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (filosofia e princípio subjacentes à construção e aspectos sequenciais da construção) e de como foram implementadas estas unidades (aspectos transversais de uma UEPS, a estrutura da unidade de ensino, a dinâmica de uma unidade didática e o tipo de instrumento a ser usado na avaliação).

Na metodologia investigativa partimos da descrição da coleta de dados discutindo instrumentos e eventos de pesquisa, descrição da avaliação (diagnóstica, formativa e somativa) e como analisamos estes dados, isto é, a sistemática da análise de conteúdo.

Em último lugar, antes de adentrar os resultados, discutiremos o contexto da pesquisa, isto é, apresentaremos uma caracterização esclarecedora do perfil dos sujeitos de pesquisa que, ao mesmo tempo discuta o necessário para entendimento da abordagem e mantenha os objetos de pesquisa em sigilo.

4.1. Metodologia didática

Construção de uma UEPS

Construir uma UEPS é um processo que exige foco em (e coerência com) uma filosofia e em (com) certos princípios. O objetivo fundamental de uma UEPS é facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos de conhecimento **predicativo** e **operatório** (Moreira, 2011). A filosofia subjacente à sua construção é de só haver Ensino quando há Aprendizagem, sendo o Ensino o meio e a Aprendizagem Significativa o fim (ibid.).

O desenho de uma UEPS segue alguns princípios enumerados por Moreira (2011). O primeiro deles, de origem ausubeliana, eleva ao patamar de maior importância o conhecimento prévio, sendo este a variável isolada que mais influencia na aprendizagem significativa.

O segundo princípio subjacente ao delineamento de uma UEPS, de viés novakiano, envolve a integração entre pensamentos, sentimentos e ações de forma construtiva na aprendizagem significativa (ibid.).

O terceiro princípio, envolvendo a intencionalidade, leva em conta o fato de o aluno ser quem escolhe se quer aprender significativamente ou não. A intencionalidade é um conceito que não pode ser desconectado do conceito de Aprendizagem Significativa, conforme discutido no referencial teórico, pois mesmo o domínio de

conhecimento na forma operatória envolve uma decisão voluntária do estudante em relação à aprendizagem (ibid.).

O quarto princípio importante na construção de uma UEPS, associado a Vergnaud, afirma que o sentido atribuído aos conceitos é oriundo das Situações. Para Moreira (ibid.) elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a Aprendizagem Significativa. Estas situações-problema devem ser apresentadas em nível crescente de complexidade.

O quinto princípio a ser levado em conta na construção de uma UEPS, associado à teoria de Johnson-Laird, destaca que frente a uma situação nova, o sujeito constrói um modelo mental funcional, estruturalmente analógico à situação, na memória de trabalho (ibid.).

O sexto princípio a ser adotado na construção de uma UEPS, associado à teoria ausubeliana, enquadra os conhecidos princípios da diferenciação progressiva, da reconciliação integradora e da consolidação na organização do ensino de conhecimento na forma predicativa (ibid.).

O sétimo princípio subjacente à construção das UEPS leva em conta o caráter progressivo da Aprendizagem Significativa, enfatizando que sua avaliação deve ser feita em termos de evidências (ibid.).

O oitavo princípio detalha o papel do professor na implementação da UEPS. Este deve ser provedor de situações-problema potencialmente significativas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados por parte do aluno (ibid.). O aspecto de captação de significados conduz tacitamente às ideias de interação social e de linguagem como subjacentes ao processo.

O nono princípio imbricado nas UEPS diz respeito aos episódios de ensino de Gowin. Moreira (ibid.) os define como envolvendo uma relação triádica entre aluno, professor e materiais educativos, visando conduzir o aluno à captação e ao compartilhamento de significados aceitos no contexto da matéria de ensino²⁷.

O décimo princípio, elaborado por Moreira, afirma que Aprendizagem Significativa deve ser crítica, sendo esta criticidade estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés de memorização de respostas conhecidas, pelo uso de diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono do uso exclusivo da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (ibid.).

Após a apresentação os princípios fundamentais na construção de uma UEPS (ibid.), devemos detalhar os aspectos sequenciais a serem seguidos na sua construção. Para o pesquisador, estes tópicos evidenciarão o rigor da sua construção.

²⁷ Por “significados aceitos no contexto da matéria de ensino”, entendemos que os conteúdos não são somente cientificamente coerentes, mas também epistemologicamente alinhados à epistemologia moderna, conforme foi enfatizado ao longo do projeto.

Tabela 2: Aspectos sequenciais das UEPS (Moreira, 2011)

Nº	Aspecto sequencial
1	Definir o tópico específico a ser abordado
2	Criar e propor situações-problema (para levar o aluno a explicitar seu conhecimento)
3	Propor situações-problema em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno ²⁸) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar
4	Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora
5	Propor e discutir em grande grupo, novas situações-problema em maior nível de complexidade que as anteriores
6	Concluir a unidade dando seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora
7	Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas situações-problema que impliquem compreensão e que evidenciem captação de significados
8.	Análise do êxito da UEPS
9.	Retomar o ciclo em outra unidade

A seguir, apresentamos o contexto de implementação da pesquisa. Objetivamos apresentar os locais, as pessoas, os conteúdos e outros detalhes envolvidos na aplicação das UEPS.

4.2. O contexto de implementação da pesquisa

Descrição do contexto e da sequência didática adotados na pesquisa

Inicialmente, é importante desmembrar o contexto de investigação em três estudos. Abordaremos os mesmos separadamente para evitar confusões. Os dois primeiros estudos foram desenvolvidos com turmas de Física III-A (para futuros físicos), na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre. O terceiro estudo foi realizado em uma turma de Física III (para futuros engenheiros físicos), na universidade Federal do Oeste do Pará, em Santarém.

O primeiro estudo, de caráter exploratório, envolveu 23 alunos de graduação em Física no terceiro semestre, em média. Tal estudo ocorreu no primeiro semestre de 2012. A faixa etária dos estudantes foi estimada como sendo 21 anos. Dois alunos

²⁸ Pode-se questionar: como levar em conta o conhecimento prévio do aluno? Pudemos nos basear na atividade inicial. Nesta atividade, os alunos podiam externar seu conhecimento prévio ou mesmo usá-lo na ação, o que nos permitiu realizar certas inferências acerca das Representações sustentadas por eles e dos seus conhecimentos-em-ação. Uma base importante para ajudar nesta inferência toma como princípio, também, os dados obtidos na revisão da literatura, com a qual o trabalho estabelece forte relação. Deve-se ressaltar, no entanto, que estas inferências são aproximadas e visam uma interação inicial com este conhecimento prévio.

apresentavam mais de 30 anos, um apresentava 25 e havia pedido mobilidade de outro curso de exatas. Quase a totalidade dos estudantes (por volta de 20) cursava a Física III pela primeira vez. Todos os alunos tiveram mais do que a frequência mínima para aprovação (condicional) por assiduidade.

O primeiro estudo foi de cunho exploratório e nos serviu como um teste inicial para estudar a adequação da unidade didática a uma turma “real” de graduação em Física. Esta etapa da investigação envolveu três UEPS, uma de Campo Elétrico, uma de Campo Magnético e uma de Indução Eletromagnética. No Apêndice B apresentamos a descrição das aulas ministradas neste estágio da pesquisa.

O segundo estudo, de caráter explanatório, envolveu 17 alunos de graduação em Física virtualmente²⁹ no terceiro semestre. O estudo ocorreu no segundo semestre de 2012. A classificação virtual decorre de alguns estudantes já estarem fazendo a disciplina mais de uma ou duas vezes, enquanto outros reprovaram uma ou mais disciplinas no curso. Por esta razão fizeram a disciplina no turno noturno para cursar a disciplina.

O estudo tem cunho explanatório, pois realizadas as adaptações julgadas fundamentais para desenvolvimento das UEPS, poderíamos implementar a pesquisa em uma nova turma de graduação e estudar os esquemas e modelos mentais desenvolvidos por estudantes. Esta etapa da investigação envolveu quatro UEPS, uma de Campo (focando, em particular, o Campo Gravitacional), uma de Campo Elétrico, uma de Campo Magnético e uma de Indução Eletromagnética. No apêndice B apresentamos a descrição das aulas ministradas neste estágio da pesquisa.

O terceiro estudo, de caráter também explanatório, envolveu 11 alunos de graduação em Engenharia Física do quinto semestre. Esta etapa da pesquisa foi desenvolvida no primeiro semestre de 2013. O estudo foi, basicamente, a replicação do segundo em um contexto acadêmico completamente diferente. A Universidade Federal do Oeste do Pará completaria três anos em novembro do mesmo ano. A Universidade Federal do Rio Grande do Sul possuía 79 e uma estrutura muito mais consolidada, uma universidade com ambiente de maior maturidade acadêmica por sediar diversos cursos de Mestrado e Doutorado e por ter uma amplitude internacional inigualável quando comparada à Universidade Federal do Oeste do Pará.

Em todos os cursos, os estudantes já haviam estudado cálculo I e cálculo II. Os alunos, no primeiro e no segundo estudo cursavam equações diferenciais paralelamente à disciplina de Física III.

Entre o término do primeiro estudo e o início do segundo estudo, procuramos melhorar o foco no que tange aos erros de livros didáticos quanto ao uso de epistemologia (Pocovi e Finley, 2003), para que fôssemos coerentes com nossa

²⁹ Quando dizemos estar um aluno virtualmente em determinado semestre, corresponde a localizá-lo, temporalmente naquele semestre, mas fazer referência ao fato de que sua integralização curricular não corresponde àquele semestre. Por exemplo, um aluno muito aplicado adiantando as disciplinas pode estar virtualmente no quarto semestre quando sua integralização corresponde a um aluno regular de quinto semestre. Outro exemplo corresponde aos alunos atrasados no curso.

premissa de ensinar Física de forma coerente com os princípios epistemológicos mais modernos. Enfatizamos e chamamos mais atenção para este ponto no segundo estudo.

Implementação de uma UEPS

Os elementos constituintes das UEPS foram tratados de modo relativamente geral na seção anterior, ou seja, não se falou se as atividades foram colaborativas, qual sua carga horária, se as aulas foram expositivas, se foram de sessões de resolução de problemas, entre outros. Esta seção tornará mais específicos alguns desses aspectos.

Delineamos um texto base satisfazendo os princípios das UEPS como, por exemplo, introduzir conceitos usando Situações-Problema, usar a Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora, e outros. Tal texto não foi, porém, a única fonte usada durante a implementação das unidades. Usamos, também, problemas apresentados tanto em livros, como em periódicos da área de Ensino de Física, artigos científicos, artigos sobre história da Ciência, etc. Buscamos, desta forma, enfatizar o conhecimento produzido em detrimento do conhecimento do professor e a pesquisa em detrimento da narrativa e, desta forma estimular o questionamento e a crítica dos estudantes.

A formulação de perguntas e situações-problema por parte dos estudantes (a serem discutidas com o professor) nos serviu como indicativo de compreensão do conhecimento e de amadurecimento na construção de questionamentos. Em alguns instantes usamos o conhecimento que desenvolvemos dos tipos de questionamento feito pelos alunos para inferir possíveis ações efetuadas por eles. Este aspecto é possível de ser explorado na construção da UEPS.

A avaliação diagnóstica, primeiro passo da UEPS, foi desenvolvida individualmente para estimarmos o conhecimento prévio de cada estudante. A avaliação formativa priorizou atividades em grupo, mas não abandonou as atividades individuais. A avaliação somativa sempre ocorreu de forma individual, para que pudéssemos analisar o desenvolvimento individual do estudante.

Cada UEPS teve aproximadamente 12 a 20 horas-aula de duração. Desta forma, totalizam 6 a 10 encontros de dois períodos³⁰. Um dos períodos foi dedicado a uma aula do tipo expositivo-dialogada ministrada pelo professor e o outro foi dedicado a uma sessão de resolução de problemas. A seguir detalharemos cada um dos dois eventos.

A metodologia de aula expositivo-dialogada teve como objetivos: guiar a Aprendizagem de novos conceitos; estimular o diálogo, a crítica e a discussão de significados; facilitar a organização do conhecimento segundo os princípios ausubelianos da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, levando em conta também o da consolidação.

³⁰ Estes períodos não serão necessariamente iguais em tempo ao longo de cada encontro. A parte expositiva pode ser, por exemplo, de 20 a 30 minutos em um dos encontros ou de uma hora em outro.

As aulas expositivo-dialogadas, ao contrário do que seu nome pode fomentar, não necessariamente foram do tipo quadro-e-giz. O termo é mais inclusivo e pode ser entendido como uma intervenção deliberada do professor para apresentar ao aprendiz, o conteúdo a ser aprendido em sua forma final (Ausubel, 2000), estimulando a crítica e a discussão de significados. Estas aulas podem ser ministradas, portanto, usando-se quadro-e-giz, simulações computacionais, apresentação do conteúdo através de mapas conceituais ou diagramas V, etc.

A metodologia de aula de resolução de problemas tem como objetivos: guiar procedimentos de Resolução de Problemas; estimular o pensamento recursivo e operacional; facilitar a explicitação do conhecimento na forma operatória e a conscientização de invariantes operatórios antes inconscientes. Dos pontos destacados o que talvez mereça maior justificativa seja o da facilitação do estímulo ao pensamento recursivo e operacional. Este tipo de pensamento, segundo Johnson-Laird (1980) é o responsável pela construção de novos Modelos Mentais através da falsificação de conclusões putativas, sendo importantíssimo, pois, na diferenciação de Estruturas Cognitivas.

Aulas de resolução de problemas podem soar como aulas de resolução de exercícios de lápis-e-papel (do tipo fixação) que poderiam estimular a aprendizagem mecânica. Ressaltamos não ser este o ponto, pois o termo é mais inclusivo que tal concepção simplista. Uma aula de resolução de problemas envolve a manipulação de *problemas* clássicos de livros-texto, mas pode envolver também, uma atividade de modelagem por parte dos estudantes, atividades de resolução de problemas abertos individualmente ou em grupo, discussões em grande grupo etc.

Concordamos, portanto, com Vergnaud (1996) quando ele afirma ser o foco do ensino o desenvolvimento simultâneo das formas predicativa e operatória do conhecimento. Acreditamos que as UEPS possam desenvolver simultaneamente as duas etapas do conhecimento, a predicativa e a operatória.

Escolha do conteúdo abordado nas UEPS

Sinteticamente a teoria dos Campos Eletromagnéticos está contida em quatro equações vetoriais³¹ fundamentais, as denominadas equações de Maxwell. Na matéria³² elas incorporam equações constitutivas³³. Um conjunto de sete variáveis vetoriais e uma escalar descreve completamente³⁴ estes Campos classicamente através de equações diferenciais de primeira ordem para os Campos: Magnético ($\nabla \cdot \vec{B} = 0$); Elétrico

³¹ Com cada vetor tendo três componentes.

³² Um dos objetivos de um curso de Eletromagnetismo Clássico é o ensino do comportamento dos Campos Eletromagnéticos tanto no vácuo quanto na matéria e as Equações de Maxwell descrevem classicamente este comportamento.

³³ Uma equação relacionando o Campo Elétrico à Polarização e ao Deslocamento Elétrico e outra conectando o Campo Magnético à Magnetização e à Indução Magnética.

³⁴ Novamente, descrição completa não significa uma correspondência completa com o mundo físico, mas antes completude interna à teoria.

$(\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t})$; de Deslocamento Elétrico $(\nabla \cdot \vec{D} = \rho)$ e de Indução Magnética $(\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t})$.

As equações constitutivas são dadas para a Magnetização, \vec{M} , $(\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M})$ e para a Polarização, \vec{P} , $(\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P})$.

Obviamente as limitações matemáticas operacionais e conceituais dos alunos na Física III nos levam a realizar certa transformação do conteúdo das equações de Maxwell apresentadas, acima, em sua forma diferencial, para a sua forma integral. As dificuldades operacionais somem, mas trazem consigo desafios para o ensino do conteúdo conceitual englobado pelas equações de Maxwell³⁵.

A lei de Gauss para o Campo Elétrico $\oint_S \vec{E}(\vec{r}, t) \cdot \hat{n} dS = \frac{q_g}{\epsilon_0}$, propondo o Campo Elétrico tendo como fonte a Carga Elétrica. Trata-se de uma lei Geral para o Eletromagnetismo, pois é válida tanto para casos estáticos como Dinâmicos. O conceito de Fluxo nos mostra ser não nula a soma das projeções dos vetores Campo Elétrico sobre uma Superfície Gaussiana (fechada e imaginária). Isto evidencia as Cargas Elétricas positivas como fonte do Campo Elétrico resultante no espaço e as Cargas Elétricas negativas como sumidouros.

A lei de Gauss para o Campo Magnético $\oint_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$, propondo um Campo Magnético solenoidal e sem fonte monopolar. Trata-se de uma lei geral do Magnetismo, pois vale tanto para os casos estáticos como dinâmicos. O conceito de Fluxo nos mostra ser nula a soma das projeções dos vetores Campo Magnético sobre uma Superfície Gaussiana (fechada e orientada). Isto evidencia a inexistência de fontes monopolares de Campo Magnético.

A lei de Faraday-Henry-Lenz³⁶ relaciona a variação do Fluxo Magnético através da Superfície envolta por uma Curva fechada e imaginária³⁷ $\oint_C \vec{E} \cdot \hat{t} dl = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dS$, à circulação de Campo Elétrico nesta curva. A lei propõe a criação de um Campo Elétrico a partir de um Campo Magnético variável. É uma lei geral, mas cujos efeitos mais importantes só podem ser estudados na Eletrodinâmica. A projeção do Campo Elétrico sobre uma Curva fechada orientada³⁸ nos mostra um padrão de Campo Elétrico solenoidal³⁹.

³⁵ Foi enfatizado na UEPS o eletromagnetismo no vácuo, como é feito de praxe. A apresentação de aspectos associados ao eletromagnetismo no meio foi introduzida, mas sem preocupação com o formalismo, mas com a aquisição significativa de conteúdos conceituais necessários ao entendimento do assunto.

³⁶ Há registros históricos de que Joseph Henry trabalhou simultaneamente em trabalhos relativos à Indução Eletromagnética.

³⁷ Daremos o nome de Amperiana assim como a da lei de Ampère, mas poderia não ter nome ou até ser chamada "Faradayana", mas o nome não nos soa bem.

³⁸ Decidimos denomina-la amperiana, para estabelecer semelhança com a lei de Ampère.

³⁹ Mas não necessariamente, pois há situações nas quais o Fluxo não é nulo.

Muito cuidado deve ser tomado na abordagem da lei de Faraday, pois ela aparentemente indica uma associação entre a variação de Fluxo Magnético e a geração de um Campo Elétrico. No caso de geradores com a parte fixa criando Campo Magnético e a bobina em movimento, sabemos que o processo não inclui Campo Elétrico algum. A corrente é estabelecida, pois o Campo Magnético estacionário exerce uma Força Magnética que altera o sentido do movimento dos elétrons, solidário ao do condutor em movimento. A esta Força Magnética, criada por um Campo não Coulombiano, podemos associar um trabalho por unidade de Carga Elétrica, ou seja, uma Força Eletromotriz induzida.

A lei de Ampère-Maxwell, $\oint_C \vec{B} \cdot \hat{t} dl = \frac{1}{c^2} \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot \hat{n} dS + \mu_0 i$, relaciona a variação do Fluxo do Campo Elétrico através da Superfície envolta pela Curva Amperiana e a Corrente Elétrica envolta por esta Curva à Circulação do Campo Magnético. É uma lei geral, mas cujos efeitos mais importantes só podem ser estudados na Eletrodinâmica. A projeção do Campo Magnético sobre a Curva Amperiana nos mostra um padrão de Campo Magnético solenoidal, cujas fontes podem ser um Campo Elétrico variável ou uma Corrente Elétrica.

O domínio dos conceitos de Fluxo e de Circulação é tornado evidente quando visualizamos as equações de Maxwell na forma global, isto é, na forma pela qual são introduzidas na Física Geral III. Visamos apresentar situações-problema nas quais estes conceitos pudessem se tornar significativos para os sujeitos.

Outro aspecto fundamental é tratar não só o domínio do aspecto formal do conceito de Campo Eletromagnético, mas associar as equações de Maxwell à própria fenomenologia que a teoria explica. O conceito de Campo torna-se essencial neste sentido, pois provê um mecanismo explicativo diferente do da Interação instantânea à distância para a interação entre Cargas Elétricas. A ideia Coulombiana de interação entre Cargas Elétricas se mostra como um obstáculo epistemológico para o entendimento de fenômenos Eletromagnéticos e que muitos alunos têm dificuldade de superar (Guisasola et al., 1998).

Este mecanismo clássico de interação, frente aos das teorias quânticas de campo apresenta-se, no entanto, como limitado. Desta forma, torna-se oportuna a discussão de noções tais como a de que o vácuo clássico é vazio ou a de que a interação entre campos e Cargas Elétricas não é mediada por partículas na teoria clássica do eletromagnetismo, mas o é na teoria quântica de campos. Não enfatizamos estes aspectos, mas algumas poucas vezes tais discussões foram trazidas, porém não foram os pontos principais da abordagem.

Outro ponto a ser explicitado é o de visarmos o desenvolvimento de Estruturas Cognitivas a partir da interação dos Esquemas possuídos e Modelos Mentais construídos pelo sujeito com as Situações com as quais ele é confrontado. Ao invés de abordar a interação entre Sujeito e Objeto, trocaremos a maneira pela qual estabelecemos a referência.

Pensemos negativamente em primeiro lugar, ou seja, para melhor explicar, imaginemos como seria o ensino se fosse enfatizada a interação entre o Sujeito cognitivo e os Objetos da teoria eletromagnética. Desta maneira poder-se-ia tratar o conteúdo através da abstração direta do conceito de Campo. Em outras palavras aprender-se ia o conceito independentemente do contexto e, posteriormente, “aplicá-lo” a contextos diversos (como em exercícios de livros-texto).

Olhando o aspecto da interação Modelo Mental - Situação Esquema-Situação, o sujeito construiria um Modelo Mental ou usaria um Esquema para o domínio das Situações físicas enquadrando o conceito de Campo como, por exemplo, as Situações envolvendo Campos Gravitacionais, Campos de Velocidade em um Fluido, Campos de Pressão ou Temperatura em um ambiente dado. Posteriormente o professor facilitaria a organização do conhecimento em estruturas hierárquicas menos dependentes de conteúdos específicos.

Objetivou-se o início do curso de Eletromagnetismo abordando, portanto, o conceito de Campo a partir de situações específicas por alguns motivos como a/o:

- Necessidade de domínio deste conceito para a progressão no Campo Conceitual (Vergnaud, 1996) do conceito de Campo Eletromagnético;
- Papel filosófico do conceito de Campo, isto é, o Deslocamento Ontológico em relação ao conceito de Força revelado pelo conceito;
- Papel integrador do conceito de Campo na disciplina;

O conteúdo de uma disciplina tradicional de Física III foi trabalhado na estruturação em UEPS, no entanto, a distribuição do conteúdo seguiu uma forma diferente, pois foi construída a partir da ideia de Campo.

Na proposta, a visão linear explicitada nos livros-textos usuais de Eletromagnetismo foi abandonada em troca de uma visão destacando o Campo como independente⁴⁰ da Força. Com isso, visamos facilitar as comparações entre: fenômenos Estáticos e Dinâmicos; Campo Elétrico e Campo Magnético; Deslocamento elétrico e Campo Magnético; Força Elétrica e Força Magnética; Carga Elétrica e Corrente Elétrica.

Pretendemos apresentar uma visão integrada do Eletromagnetismo, ou seja, priorizando aspectos gerais semelhantes e diferentes em distintos recortes do Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético, pois os conceitos de Campo Eletrostático, de Campo Magnetostático e de Indução Eletromagnética são epistemologicamente e ontologicamente distintos. Visão integrada associa-se, portanto,

⁴⁰ A rigor, o programa de pesquisa Maxwelliano tratava o conceito de Campo como tendo status epistemológico independente do de Força, embora fosse mecanicista e visasse a descrição de fenômenos eletromagnéticos usando modelos mecânicos do éter. O programa de pesquisa Lorentziano já abordava os dois conceitos em mesmo pé de igualdade, mas como epistemologicamente distintos (Chalmers, . Na Física Moderna, já não se fala mais de Força, se fala de Campo, o que confere um status epistemológico de superioridade do conceito de Campo com respeito ao conceito de Força. A discussão é longa mesmo e damos ênfase às Equações de Maxwell, mas enfatizamos a interpretação de Lorentz, mas encaminhando a discussão para um viés mais Einsteiniano, pois Lorentz cria no Éter.

ao estabelecimento de relações entre conteúdos aparentemente distintos, mas com suas diferenças e semelhanças apontadas. Visamos um ensino de Eletromagnetismo que enfatize a reconciliação integrativa.

Entendemos também a introdução de aspectos histórico-epistemológicos como de suma importância para a caracterização do contexto de surgimento destes conceitos. Elas devem ser distanciadas no momento das explicações dos aspectos pedagógicos facilitadores da Aprendizagem Significativa. Trata-se de associar, portanto, cada aspecto em seu “escaninho”. Ambos os aspectos são importantes, mas cada um deve ser tratado distintamente do outro.

Com isso, não objetivamos dizer que a introdução de aspectos histórico-epistemológicos não tenham importância pedagógica. Afirmamos que razões pedagógicas para se introduzir um conceito não podem ser misturadas com razões históricas (Pocovi e Finley, 2003). Usar a lei de Gauss para demonstrar a lei de Coulomb e afirmar que Maxwell fez historicamente isto, é uma distorção histórico-epistemológica e didática grave e sem precedentes⁴¹. É também uma mistura de razões históricas e pedagógicas para se trabalhar um conceito.

É relevante também o provimento de Situações para facilitar o entendimento de questões associadas à Física Moderna como, por exemplo, as transformações relativísticas de Campos Eletromagnéticos ou as questões já apresentadas acima relacionadas às teorias quânticas de campos. Este ponto será abordado em um breve futuro no qual o autor visa integrar os projetos de Mestrado e de Doutorado em um só integrando Óptica/Eletromagnetismo e a Física Moderna em um projeto visando facilitar a aprendizagem destes conteúdos através de uma extensa UEPS.

Nas seções seguintes, buscaremos descrever primeiramente de forma sistemática a sequência das UEPS implementadas com estudantes participantes da pesquisa, em seguida detalhamos alguns eventos importantes de serem discutidos por comporem parte fundamental da estratégia deliberadamente construída para facilitar a Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Eletromagnético.

4.3. Descrição das UEPS

Primeiro estudo

No primeiro estudo, estruturamos o conteúdo do semestre em três UEPS, seguindo a sequência abaixo. Delineamos a tabela desta forma para facilitar o estabelecimento de comparações entre a abordagem tradicional e a abordagem empregada no trabalho. A ênfase no conceito de Campo, o uso dos princípios da Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integradora e o uso de Situações para dar

⁴¹ Há diversos aspectos desta natureza em livros didáticos (Pocovi e Finley, 2003). O mais notável caso em nossa opinião é o de Compton, cujo trabalho sobre o efeito Compton é erroneamente vinculado ao de Einstein através de transposições didáticas do saber sábio ao saber a ensinar (Silva et al., 2010).

sentido aos conceitos são alguns dos aspectos diferenciando as UEPS da abordagem tradicional⁴².

Tabela 3: Cronograma seguido no Estudo I

Aula	Tópico da aula	Tarefa
Campo Elétrico		
1.	Discussão inicial	Tarefa 1 – Análise de conhecimento prévio
2.	O conceito de Campo	Tarefa 2 – Conceito de Campo
3.	Interações da Natureza	Tarefa 3 – Mapa conceitual sobre Interações
4.	Representação de Campos	Tarefa 4 – Representação de Campos
5.	Visão geral sobre a eletrostática	Tarefa 5 – Exercícios usando a lei de Gauss
6.	Lei de Gauss e suas aplicações	Tarefa 6 – Interações Elétricas
7.	Lei de Coulomb para distribuições contínuas de Carga Elétrica	
8.	Fluxo e Lei de Gauss	Tarefa 7 – Interações Elétricas II
9.	Dipolo em um Campo Elétrico	
10.		Tarefa 8 – Tarefa Individual
11.	Circulação e o conceito de Potencial	Tarefa 9 – Circulação e Potencial Elétrico
12.	Superfícies Equipotenciais e o cálculo do Campo Elétrico	
13.	Condutores e Isolantes	Tarefa 10 – Condutores e Isolantes
14.	Avaliação Somativa da UEPS de Campo Elétrico	Avaliação Somativa
Campo Magnético		
15.	Discussão inicial	Tarefa 1 – Análise de conhecimento prévio
16.	Lei de Gauss para o Magnetismo	Tarefa 2 – Fluxo e Lei de Gauss para a Magnetostática
17.	Circulação e a Lei de Ampère	Tarefa 3 – Circulação Magnética e Lei de Ampère para a Magnetostática
18.	Lei de Ampère e suas aplicações	Tarefa 4 – Uso da lei de Ampère para o cálculo de Campos Magnéticos
19.		
20.	Força Magnética sobre Cargas Elétricas em movimento	
21.	Força Magnética sobre um fio de Corrente	Tarefa 5 – Força Magnética
22.	Espira de corrente em um Campo Magnético	Tarefa 6 – Torque sobre uma Espira de Corrente Elétrica
23.	Comparação entre Campos Elétricos e Campos Magnéticos	Tarefa 7 – Atividade individual
24.	Diamagnéticos x Paramagnéticos	
25.	Ferromagnéticos	Tarefa 8 – Materiais Magnéticos
26.	Aplicações de conceito de Campo Magnético	
27.	Um breve estudo sobre o Campo Magnético Terrestre	
28.	Avaliação somativa da UEPS de Campo Magnético	Avaliação Somativa
Campo Eletromagnético		
29.	A lei de Faraday-Lenz: Campos	Tarefa 1 – A lei de Faraday-Lenz: Campos

⁴² Ao discutirmos o aquecimento de comida em um forno micro-ondas, introduzimos os conceitos de Dipolo Elétrico e de Momento de Dipolo Elétrico.

	Elétricos e Magnéticos	Elétricos induzidos por Campos Magnéticos variáveis
30.	A lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas	Tarefa 2 – Lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas por Variações de Fluxo Magnético
31.	Geradores e Motores	Tarefa 3 – Mapa conceitual sobre Indução Eletromagnética
32.	Indutância	Tarefa 4 – Indutância
33.	Interações Eletromagnéticas e Conservação da Carga Elétrica	Tarefa 5 – Interação Eletromagnética e Conservação da Carga Elétrica
34.	Transporte de Energia e de Momentum pelo Campo Eletromagnético	Tarefa 6 – Transporte de Energia e Momentum por uma Onda Eletromagnética
35.	Soluções para a Equação de Maxwell	
36.	Avaliação somativa individual	Avaliação Somativa

As 36 aulas duravam duas horas-aula, o que resulta em 72 horas-aula. As outras 18 horas foram dedicadas ao estudo de Circuitos Elétricos numa abordagem convencional baseada na obra de Halliday et al. (2006).

Campo Elétrico (Aula 1 – Aula 14)

A UEPS discutindo o conceito de Campo Elétrico no primeiro estudo é apresentada em 14 aulas (de dois períodos de 50 minutos cada). Cada aula buscou relação com as anteriores e busca apresentar o conceito de Campo Elétrico como integrado às ideias de Força Elétrica e de Carga Elétrica. Vale ressaltar que buscamos o mais cedo possível apresentar as ideias de Campo Elétrico e de Força Elétrica como epistemologicamente e ontologicamente distintas⁴³, embora relacionadas.

Na primeira delas visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma atividade de construção de um mapa mental sobre a palavra Eletromagnetismo. A atividade serviu como avaliação diagnóstica dos estudantes.

Na segunda aula introduzimos o conceito de Campo em um panorama geral, enfocando a associação de um vetor ou escalar a um ponto do espaço e, posteriormente, à interação gravitacional.

Na terceira aula, visamos estreitar, detalhar e diferenciar a relação entre Campos e Interações apresentando as quatro interações conhecidas na natureza (aumentando a complexidade das ideias sobre Campo concernentes ao esquema sobre interações).

Na quarta aula, introduzimos o aspecto de Representação Analógica dos Campos (linhas de Campo e Diagramas de Seta), bem como às ideias qualitativas associadas às Representações Simbólicas ligadas aos conceitos de Fluxo e de Circulação.

⁴³ Força é uma função da distância entre Cargas Elétricas, e do produto destas Cargas Elétricas. Campo Elétrico é uma função das fontes e da distância entre um ponto no interior da fonte e um ponto no Espaço. Embora ambas as grandezas relacionem-se através de $\vec{F} = q\vec{E}$, ambas são notadamente distintas.

Na quinta aula, apresentamos uma visão geral do Eletromagnetismo relacionando os conceitos de Campo Elétrico, Força Elétrica e Carga Elétrica. Buscamos apresentar a estrutura do conteúdo de Física a ser estudado na UEPS.

Na sexta aula, discutimos cálculos de Campo Elétrico usando a Lei de Gauss usando os exemplos clássicos da placa muito extensa, do fio infinito e da esfera (com distribuição uniforme de carga) para demonstrar o caráter operacional da Lei de Gauss.

Na sétima aula, discutimos os cálculos de Campo Elétrico usando a Lei de Coulomb no intuito de convencer os estudantes de uma equivalência entre as duas leis de forma matemática.

Na oitava aula, portanto, adentrou-se a uma maior amplitude da Lei de Gauss, a ideia de ser uma lei válida para todo o eletromagnetismo e que relaciona o fluxo do Campo Elétrico resultante devido a todas as cargas do universo sobre uma superfície Gaussiana imaginária.

A nona aula discute a dinâmica de um dipolo elétrico em um Campo Elétrico uniforme, usando como exemplo concreto uma aproximação à explicação do aquecimento de alimentos no forno micro-ondas.

A décima aula apresenta uma atividade visando à avaliação individual formativa dos estudantes, ou seja, busca-se analisar o modo pelo qual os estudantes trazem significados aos conceitos aprendidos e como eles os representam em situação.

A décima primeira aula buscou estabelecer uma relação entre Potencial Elétrico, Energia Potencial Elétrica e o conceito de Circulação. Esta relação quase nunca é feita ou é estabelecida de forma bastante superficial e implícita. Desta forma, buscamos estabelecer um esquema de entendimento geral do Campo Elétrica que se baseia na interpretação física de duas equações, em função de tal ideia não ser, em geral, apresentada.

A décima segunda aula buscou aprofundar a ideia do Potencial Elétrico e as conhecidas Superfícies Equipotenciais (trabalhadas no Ensino Médio), relacionando estes conceitos ao Cálculo do Campo Elétrico. Isto é, buscou-se relacionar o conceito de Potencial não mais ao de circulação, mas diretamente ao conceito de Campo.

A décima terceira aula trata sobre condutores e isolantes usando os conceitos de Campo Elétrico e de Força Elétrica de forma a demonstrar a diferença ontológica e epistemológica entre os dois. Ao contrário de iniciar a abordagem do conceito de Campo Elétrico usando condutores e isolantes, deixamos estes tópicos para serem abordados por último, em função de entendermos que a Interação entre Campos Elétricos e condutores ou isolantes pode ser mais bem entendida a partir de uma compreensão mais refinada desta Interação.

A décima quarta aula encerra a unidade com uma avaliação individual somativa sobre o conteúdo associado ao conceito de Campo Elétrico. A atividade consistiu de dez

problemas discursivos nos quais o estudante deveria aplicar os conceitos aprendidos na disciplina. Abaixo apresentamos a estruturação da unidade segundo os passos de Moreira (2011).

A seguir iremos destacar como esta estrutura se enquadra nos oito passos das UEPS, para explicitar mais a contribuição do trabalho ao Ensino do Eletromagnetismo. Deve-se ressaltar que, a todo momento, o conceito de Campo (Elétrico, Magnético e Eletromagnético) e relacionado com os outros conceitos de Força (Elétrica, Magnética), de fonte (Carga Elétrica, Corrente Elétrica, Campos Elétricos e Magnéticos variáveis) e outros. O objetivo é fazer como Ausubel (2000) fala, uma espécie de redundância multi-contextual⁴⁴.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: escolha do conceito de Campo Elétrico

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: Na primeira aula propusemos a produção de um mapa mental (de forma individual) para os estudantes. Com isto, visamos investigar o conhecimento prévio dos estudantes em eletromagnetismo.

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

Procedimento adotado: Na segunda aula, em especial, visamos introduzir a nova ideia de Campo através de situações envolvendo o Campo de Temperaturas em uma sala, o Campo de Pressões em um Fluido e o Campo Gravitacional na Terra. Na quarta aula, para introduzir a ideia de Fluxo e de Circulação, trabalhamos situações envolvendo Campos de Velocidade em um Fluido como, por exemplo, a explicação do efeito Magnus e o Fluxo de água através de uma torneira. Na nona aula, usamos a situação do aquecimento de alimentos em forno micro-ondas para discutir a importância do Dipolo Elétrico. Já na décima aula, foi proposta uma tarefa com cinco questões. As duas primeiras focavam na “viagem ao centro da Terra” de Julio Verne e no modelo de Thomson do átomo. De forma intermitente apresentávamos situações-problema com grau crescente de complexidade para dar sentido aos conceitos a ser estudados.

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

⁴⁴ Esta redundância multi-contextual deve ser entendida como uma das formas de se estabelecer o “vai-e-vem” ou o “sobre-e-desce” nas hierarquias conceituais enfatizados por Novak em seus trabalhos.

Procedimento adotado: Na **segunda aula** apresentamos o conceito de Campo como mediador de uma interação e como uma grandeza física criada no espaço, e já buscamos a diferenciação progressiva, apresentando as quatro interações da natureza na **terceira aula**. Na **quarta aula** procuramos apresentar, como forma de especificar mais ainda este conteúdo, a sua representação em termos geométricos e matemáticos. Isto implica obviamente uma diferenciação progressiva. A **quinta, sexta e sétima aulas** serviram como estímulo à subordinação correlativa do conceito de Campo através da apresentação do conceito de Campo Elétrico. A **quinta** faz um apanhado geral do conceito de Campo Elétrico, a **sexta** e a **sétima** trabalham especificamente com o conceito de Campo Elétrico usando as leis de Coulomb e de Gauss sob uma perspectiva operacional, isto é, como equações úteis para calcular Campos Elétricos. Na **oitava aula** visamos aprofundar em complexidade, mas aumentando em generalidade, a lei de Gauss, tratando-a como lei geral do Eletromagnetismo ao relacionar o Fluxo do Campo Elétrico devido a todas as cargas Elétricas do universo sobre uma superfície Gaussiana arbitrariamente escolhida, discutindo o aspecto da validade da lei de Gauss para a Eletrodinâmica e explorando a relação entre Carga Elétrica e Campo Elétrico.

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: Na **nona aula** buscamos estabelecer a conexão entre um exemplo do cotidiano dos estudantes (como forma de apresentar uma situação-problema de potencial interesse a eles), associando a dinâmica de um dipolo em um Campo Elétrico ao aquecimento de comida no forno de Micro-ondas. Neste caso, foi possível relacionar as ideias de Força Elétrica exercida pelo Campo e de trocas de Energia entre partículas e Campo. Ao mesmo tempo dávamos sentido ao conceito de Energia Potencial Elétrica. Na **décima aula** propusemos uma atividade que visava estimular os alunos a perceber aspectos representacionais dos Campos Elétrico e Gravitacional. Com esta atividade buscou-se retomar os aspectos mais gerais e estruturantes do curso até então, através da reunião de aspectos conceituais como, por exemplo, as leis de Fluxo e de Circulação, o Campo como associado a um ponto do espaço e a atribuição de uma função vetorial aos Campos Físicos.

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na **décima primeira aula** e na **décima segunda aula** discutimos com maior detalhe os conceitos de Potencial Elétrico e a relação com a representação do mesmo e com os conceitos de Força Elétrica, Campo Elétrico e Energia Potencial Elétrica. Na **décima terceira aula**, realizamos mais uma diferenciação progressiva/reconciliação integradora ao apresentar as ideias de condutores e isolantes. É uma diferenciação progressiva, pois refina o conhecimento em duas novas

classes e uma reconciliação integradora, pois estabelece semelhanças e diferenças da influência do Campo Elétrico nas duas instâncias.

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: *avaliação somativa individual na décima quarta aula*

8. Análise do êxito das UEPS.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

Aspectos transversais:

• Estímulo à diversificação dos materiais e as estratégias de ensino devem ser diversificados e privilégio do questionamento em relação às respostas prontas;

Procedimento adotado: *possibilitamos e incentivamos aos alunos a leitura de diversos livros didáticos, algumas vezes trouxemos elementos de artigos científicos e fizemos sugestões de situações-problema diferenciadas.*

• como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;

Procedimento adotado: buscamos estimular o questionamento para que os estudantes fossem tomados pela curiosidade de perguntar. Em várias sessões de resoluções de problema, os estudantes faziam diversas perguntas interessantes como, por exemplo, “em um capacitor, os elétrons pulam das placas?” ou “como o Campo transfere energia para as partículas?”.

• embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.

Procedimento adotado: nas aulas 1, 10 e 14 propusemos atividades de avaliação individuais.

Campo Magnético (Aula 15 – Aula 28)

A UEPS discutindo o conceito de Campo Magnético no primeiro estudo é apresentada em 13 aulas (de dois períodos de 50 minutos cada). Cada aula busca relação com as anteriores e busca apresentar o conceito de Campo Magnético como integrado às ideias de Força Magnética e de Carga Elétrica em movimento. Vale ressaltar que

buscamos o mais cedo possível diferenciar epistemologicamente⁴⁵ as ideias de Campo e de Força Magnéticas. Para este caso, em que vemos um distinto comportamento dos vetores Força Magnética e Campo Magnético, didaticamente foi mais fácil identificar as diferenças, embora alguns poucos estudantes tenham persistido com o teorema-em-ação “Campo é igual a Força”.

Na **primeira aula** da unidade (aula 15), os alunos trabalharam em uma atividade individual de avaliação diagnóstica. Propusemos 5 problemas aos estudantes envolvendo fundamentalmente os conceitos de Carga Elétrica, Corrente Elétrica, ímãs, Campo Magnético e Força Magnética.

Na **segunda aula** da unidade (aula 16) discutimos de forma bastante geral o caráter solenoidal do Campo Magnético através da lei de Gauss do Magnetismo. Enfatizou-se bastante a ideia de não existir uma Carga Magnética gerando Campo Magnético. Desta forma, pudemos, de início, estabelecer a primeira diferença entre os conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético.

Na **terceira aula** da unidade (aula 17) discutimos aplicações da lei de Ampère no cálculo de Campos Magnéticos. Aproveitamos para diferenciar a lei de Ampère (lei de Circulação) da lei de Gauss (lei de Fluxo) e discutir as consequências tanto de a lei de circulação ligar-se à fonte do Campo Magnético, a saber, a Corrente Elétrica, como de o Campo ser solenoidal.

Na **quarta aula** da unidade (aula 18) discutimos de forma ampla o conceito de circulação como uma forma de revisar sua interpretação física sumariamente importante para o entendimento da Lei de Ampère e para o entendimento geral da forma do Campo Magnético no espaço. Estabelecemos, também, o vínculo (semelhança) com a lei de Gauss, destacando a diferença entre fontes e de operadores (Fluxo e Circulação), para discutir o aspecto de o Campo Magnético presente na lei de Ampère ser o Campo Magnético resultante devido a todas as correntes no problema.

Na **quinta aula** da unidade (aula 19) discutimos aplicações da lei de Biot-Savart e a comparamos, guardadas as diferenças, com a lei de Coulomb para a Eletricidade. Restringimo-nos a demonstrar o Campo Magnético de um anel condutor de corrente usando coordenadas cilíndricas e o Campo Magnético de um solenóide conduzindo corrente usando a lei de Biot-Savart. Alguns alunos ficaram bastante impressionados enquanto outros perguntavam se o curso dali pra frente só seria “aquela contalhada”⁴⁶.

Na **sexta aula** da unidade (aula 20) discutimos a ação da Força Magnética exercida por um Campo Magnético sobre uma Carga Elétrica em movimento. Nesta aula foi possível discutir a trajetória helicoidal de uma partícula com carga q lançada em um Campo Magnético com velocidade perpendicular à direção do Campo Magnético. Foi possível aplicar o conhecimento de equações diferenciais dos estudantes

⁴⁵ Assim como fizemos no caso do Campo Elétrico.

⁴⁶ Foi explicado aos alunos que a própria ementa da disciplina previa momentos deste tipo, embora nossa abordagem fosse preferencialmente conceitual. Eles entenderam.

para resolver o problema e discutir o aspecto associado ao fato de Campos Magnetostáticos não realizarem trabalho.

Na **sétima aula** da unidade (aula 21) pudemos estender a ideia de o Campo Magnético exercer Força Magnética sobre uma Carga Elétrica em movimento e, então, tratar do problema da Força Magnética sofrida por um fio conduzindo Corrente Elétrica.

Na **oitava aula** da unidade (aula 22) foi possível discutir não somente a ação das Forças Magnéticas exercidas pelo Campo Magnético, mas também do Torque exercido pelo Campo Magnético em uma espira de corrente, algo fundamental para o entendimento dos Motores Elétricos. Discutimos o significado do Momento de Dipolo Magnético como sendo o análogo magnético do Momento de Dipolo Elétrico.

Na **nona aula** da unidade (aula 23) discutimos materiais magnéticos. Trouxemos os conceitos de paramagnético e diamagnético, comparando estes materiais às moléculas Polares e Apolares estudadas na UEPS de Campo Elétrico. Foi possível trazer à tona a ideia de que toda a matéria é magnética na discussão (simplificada) da associação de um Momento Magnético aos momentos angulares, orbital e intrínseco. Alertou-se aos alunos da abordagem ser somente heurística (só abriria caminhos) e da necessidade do uso da regra de quantização do momentum angular para um entendimento mais profundo do comportamento magnético da matéria.

Na **décima aula** da unidade (aula 24) pudemos discutir os materiais ferromagnéticos e explicar o ciclo de histerese. Foi feita menção às fitas magnéticas de gravação e explicou-se a origem do ferromagnetismo na interação forte entre átomos vizinhos que culmina no alinhamento mútuo do spin de elétrons pertencentes a estes átomos.

Na **décima primeira aula** da unidade (aula 25), apresentamos uma tarefa individual retomando os conteúdos apresentados previamente e nela pudemos fazer uma comparação bastante explícita entre os Campos Elétrico e Magnético (reconciliação integrativa).

Na **décima segunda aula** da unidade (aula 26), discutimos aplicações do conceito de Campo Magnético como, por exemplo, o espectrômetro de Bainbridge, os motores elétricos e o cíclotron. Foi bastante útil para reintegrar o conhecimento tão detalhado associado aos conceitos de Campo Magnético e de Força Magnética.

Na **décima terceira aula** da unidade (aula 27), fizemos uma breve discussão sobre o Campo Magnético da Terra. Nesta aula introduzimos a ideia do efeito dínamo já preparando o terreno para a indução eletromagnética.

Na **décima quarta aula** da unidade (aula 28), foi proposta uma atividade somativa individual. Em todas as outras aulas, com exceção das aulas 25 e 15, foram propostas atividades em grupo. Nas aula 18 não foi implementada qualquer atividade.

A seguir apresentamos como a UEPS foi estruturada.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: escolha do conceito de Campo Magnético.

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: Na primeira aula da unidade (aula 15), propusemos a produção de um mapa conceitual sobre magnetismo e mais três questões sobre Magnetismo retiradas do artigo de Guisasola et al. (1998) que os autores atestam ser passíveis de serem usadas para detecção de concepções alternativas⁴⁷.

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

Procedimento adotado: tomamos como situação-problema principal e que se liga ao conhecimento dos estudantes, o comportamento do Campo Magnético do ímã na maioria das aulas. Na segunda aula da unidade (aula 16), tomamos os Campos Magnéticos criados por ímãs (figuras bastante conhecidas pelos alunos), bem como os Campos Magnéticos gerados por uma espira e por um fio. Foi possível enfatizar o caráter solenoidal do Campo e explicitar a ausência de uma Carga Magnética de fonte.

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na terceira aula da unidade (aula 17) apresentamos a lei de Ampère e desenvolvemos o cálculo de Campos Magnéticos em sala, fator decisivo para os alunos compararem a eficácia operacional com a lei de Gauss e assim ancorar este novo conhecimento a uma ideia prévia assimilada na unidade anterior, enquanto os exemplos configuram-se como uma elaboração derivativa do conceito de Campo Magnético. Na quarta aula da unidade (aula 18), discutimos de forma mais aprofundada o conceito de circulação, introduzindo também a ideia da corrente elétrica como sendo fonte do Campo Magnético, o que se configura em um processo de elaboração correlativa da ideia de Campo Magnético. Na quinta aula da unidade (aula 19) discutimos a lei de Biot-Savart como análoga à Lei de Coulomb e estendemos derivativamente o conceito de Campo Magnético ao caso do Solenóide e da espira de corrente. Na sexta aula da unidade (aula 20), introduzimos uma extensão correlativa do conceito de Campo Magnético, a saber, o conceito de Força Magnética sobre uma carga em movimento.

⁴⁷ Usaremos neste trabalho a noção das concepções alternativas como sendo teoremas-em-ação e que são falsos em relação ao conhecimento cientificamente aceito.

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: Na *sétima aula* da unidade (aula 21) e na *oitava aula* da unidade (aula 22), nós retomamos a interação entre correntes elétricas e Campos Magnéticos ao discutir o efeito de forças e torques devidos a Campos Magnéticos em sistemas de correntes e apresentamos exemplos mais complexos conceitualmente (galvanômetro, por exemplo) e matematicamente aos alunos. Pudemos, portanto, reconciliar integrativamente os conceitos de Força Magnética e de Campo Magnético.

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na *nona aula* da unidade (aula 23) e na *décima aula* da unidade (aula 24), discutimos os materiais magnéticos dando ênfase ao conceito de Campo Magnético e introduzindo o que decidimos chamar de Indução Magnética⁴⁸ (ao contrário do que algumas bibliografias fazem) como uma “versão” adaptada do Campo Magnético à Matéria (que leva em conta a influência da Magnetização no comportamento magnético da matéria) e foram estabelecidas relações com os materiais elétricos. Na *décima primeira* aula da unidade (aula 25) foi apresentada uma comparação entre os Campos Elétrico e Magnético de forma a realizar explicitamente uma reconciliação integradora. Na *décima segunda* aula da unidade (aula 26), apresentou-se novos exemplos, desta vez de origem tecnológica, da aplicação do conceito de Campo Magnético. Na *décima terceira* aula da unidade, abrimos a discussão de forma a apresentar, de uma perspectiva bastante ampla e geral, o Campo Magnético da Terra como um Campo Magnético lentamente variável. Foi, então, introduzida a discussão sobre indução eletromagnética ao mencionarmos o efeito dínamo (aula 27).

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: *avaliação somativa individual na décima quarta aula da unidade (aula 29)*

8. Análise do êxito das UEPS.

⁴⁸ A literatura de Física costuma chamar \vec{H} de Campo Magnético e \vec{B} de Indução Magnética. Para não confundir com a abordagem do Campo Elétrico (\vec{E} - vácuo) e do Deslocamento Elétrico (\vec{D} - matéria) e também para não eliciar confusões com respeito à Indução Eletromagnética, decidimos reverter aquelas denominações (\vec{H} - Indução Magnética. \vec{B} - Campo Magnético) e chamar a atenção dos alunos para esta mudança.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

Aspectos transversais:

- **Estímulo à diversificação dos materiais e das estratégias de ensino/Privilégio do questionamento em relação às respostas prontas;**

Procedimento adotado: *possibilitamos e incentivamos aos alunos a leitura de diversos livros didáticos, algumas vezes trouxemos elementos de artigos científicos (como, por exemplo, um sobre a detecção de monopólos magnéticos) e fizemos sugestões de situações-problema diferenciadas.*

- **como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;**

Procedimento adotado: *buscamos estimular o questionamento para que os estudantes fossem tomados pela curiosidade de perguntar.*

- **embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais;**

Procedimento adotado: A aula 25 contou com uma atividade individual.

Indução Eletromagnética (Aula 29 – Aula 36)

A UEPS discutindo o conceito de Indução Eletromagnética no primeiro estudo é apresentada em 8 aulas (de dois períodos de 50 minutos cada). Cada aula busca relação com as anteriores e busca apresentar o conceito de Indução Eletromagnética como integrado às ideias de Força Eletromagnética, Carga Elétrica e Carga Elétrica em movimento.

Vale ressaltar que buscamos o mais cedo possível desvincular as ideias de Campo Eletromagnético e de Força Eletromagnética. Para este caso, em que vemos um distinto comportamento dos vetores Força Eletromagnética e Campo Eletromagnético, didaticamente foi mais fácil identificar as diferenças, embora pouquíssimos estudantes parecem ter continuado com o teorema-em-ação “Campo é igual a Força”.

Nesta unidade não implementamos uma sondagem de conhecimentos prévios, pois julgamos termos dados o suficiente para saber como os alunos conceitualizam sobre os conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético. Mudamos de ideia no segundo e no terceiro estudo, pois embora os estudantes nos tenham oferecido um grande conjunto de evidências sobre seu conhecimento sobre Campos Eletromagnéticos *Estáticos*, eles não o puderam fazer com respeito ao caso dos Campos Eletromagnéticos *Dinâmicos*.

Na **primeira** aula da unidade (aula 29), abordamos a Lei de Faraday de uma perspectiva bastante geral, relacionando a variação do Fluxo Magnético a uma circulação do Campo Elétrico no caso de um Campo Magnético variável. Antecipamos um tratamento particular dos fenômenos de indução. Mencionamos os casos em que pode haver variação de Fluxo Magnético, a saber, variando o Campo Magnético, a área da Amperiana (como chamamos o caminho de integração) e a orientação da Amperiana. Quisemos na primeira aula somente tratar das variações de Campos Magnéticos “implicando⁴⁹” na criação de um Campo Elétrico no espaço. Com isto, findamos por omitir a descrição da ação do Campo Magnético sobre Cargas Elétricas em movimento nos casos de indução eletromagnética associada a uma Força Magnetostática exercida sobre um circuito. Assim foi ao longo do curso, pois tratávamos da variação do Fluxo Magnético ao discutirmos Correntes Elétricas induzidas. Foi um ponto que esclarecemos melhor no segundo estudo e melhoramos no terceiro.

Na **segunda** aula da unidade (aula 30) abordamos a lei de Faraday para o caso mais particular de correntes induzidas em circuitos elétricos. Distinguimos do caso da existência de um Campo Elétrico induzido no espaço por um Campo Magnético variável. Abordamos o problema clássico da experiência de Faraday e associamos, para o caso de Campo Magnético variável, a corrente elétrica ao efeito do Campo Elétrico induzido no circuito por esse Campo Magnético variável.

Na **terceira** aula da unidade (aula 31) discutimos geradores e motores. Construímos as equações dos geradores e dos motores a partir da lei de Faraday. Discutimos o funcionamento dos geradores e motores e dos torques realizados pelo Campo Magnético externo e o torque necessário para girar a espira de forma que ela tenha velocidade angular constante. Discutimos isto a partir da variação de Fluxo Magnético. Reiteramos ter sido uma abordagem incompleta, pois poderíamos ter discutido isto abordando a ação microscópica do Campo, ou seja, ao girar a espira, fazemos com que as cargas entrem em movimento e a Força Magnética do Campo Magnético criado pelos ímãs em repouso (no caso do gerador com ímãs fixos) exerce um torque restaurador na espira. Não o fizemos, mas julgamos importante tê-lo feito em outros estudos. Discutimos os motores como sendo geradores ao contrário e enfatizamos as trocas energéticas dos dois sistemas.

Na **quarta** aula da unidade (aula 32) discutimos a ideia de indutância como fator dependente de geometria de circuitos e associado à Indução Eletromagnética⁵⁰.

⁴⁹ A rigor estes fenômenos não são causais, ou seja, não é bem um Campo Magnético que cria um Campo Elétrico variante no espaço. Tais fenômenos ocorrem simultaneamente segundo a lei de Faraday, então não poderíamos dizer quem origina quem, mas sabemos que os dois estão correlacionados a uma variação da corrente elétrica.

⁵⁰ Indutância Mútua: grandeza Física relacionando a Força Eletromotriz induzida estabelecida, por um Circuito A, em um Circuito B e a variação da Corrente Elétrica, ao longo do tempo, no Circuito B. Esta grandeza Física relaciona, também, a Força Eletromotriz Induzida estabelecida, por um Circuito B, em um Circuito A e a variação da Corrente Elétrica, ao longo do tempo, no Circuito A.

Auto-indutância: grandeza Física relacionando a Força Eletromotriz induzida estabelecida, por um Circuito A, sobre si mesmo e a variação da Corrente Elétrica, ao longo do tempo, neste mesmo Circuito.

Consideramos pertinente esta discussão, mas julgamos tê-la feita de forma abstrata. Talvez situações envolvendo antenas ou circuitos que se enquadrem como LC (filtros de frequências, por exemplo) ou RLC (circuitos de rádio), podem ser usadas para tratamento mais eficaz deste importante conceito. O mesmo pode ser dito sobre a resistência e sobre a capacitância, conceitos que seriam enquadrados numa UEPS de circuitos elétricos, um ponto ainda não atingido por esta pesquisa, mas que deve servir de base para pesquisas neste ano de 2015 em um projeto de pesquisa já submetido à pró-reitoria de pesquisa da Universidade Federal do Oeste do Pará (instituição onde trabalho) para investigação e reforma curricular de cursos da Universidade baseado na metodologia das UEPS.

Na **quinta** aula da unidade (aula 33) discutimos a conservação da carga elétrica, a corrente de deslocamento e o atraso na interação eletromagnética de forma bastante ampla. Introduzimos a questão de a interação ser entendida como uma troca de momentum e energia mediada por uma onda eletromagnética.

Na **sexta** aula da unidade (aula 34) discutimos o transporte de energia e de momentum e discutimos, ainda, a localização da energia no Campo. Trouxemos dois exemplos iniciais, envolvendo um capacitor e o outro envolvendo um indutor para apresentar aos alunos, argumentos para entenderem a razão de a energia estar no Campo.

Na **sétima** aula da unidade (aula 35) apresentamos as soluções para as equações de Maxwell e introduzimos a ideia do Campo Eletromagnético se propagar como uma onda, com velocidade de propagação c , pelo espaço.

Na **oitava** aula da unidade (aula 36) foi proposta a avaliação somativa final do curso de Física III-A.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: *escolha do conceito de indução eletromagnética.*

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: *dado o avanço do curso em direção a uma abstração maior e em função de estarmos tratando de um estudo exploratório e em função de os estudantes já terem passado por uma gama de situações envolvendo os conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético, esta etapa foi queimada, pois já consideramos ter material suficiente para inferir os esquemas de assimilação e modelos mentais desenvolvidos pelos alunos.*

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

Procedimento adotado: *usamos como situações problemas iniciais, problemas envolvendo espiras e solenoides, sistemas que os alunos apresentaram bastante facilidade no trato, em função da forma mais familiar do Campo dipolar, no caso da espira, e uniforme, no caso do Solenoide.*

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: *Na primeira aula da unidade (aula 29), apresentamos a lei de Faraday de forma bastante geral ao relacionar um Campo Magnético variável a um Campo Elétrico induzido no espaço. Depois introduzimos a construção em termos do Fluxo. Na segunda aula da unidade (aula 30) continuamos a diferenciação progressiva, analisando a lei de Faraday para o caso particular de circuitos. Na terceira aula da unidade (aula 31) especificamos mais ainda o caso para o tratamento de geradores e de motores. Na quarta aula da unidade (aula 32) discutimos o conceito de indutância como o fator geométrico associado a distintos valores de correntes induzidas em outros circuitos ou no próprio circuito. Na quinta aula da unidade (aula 33) discutimos o conceito de corrente de deslocamento.*

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: *Na quinta aula da unidade (aula 33) mostramos as diferenças (e semelhanças) entre Campos Estáticos e Campos Dinâmicos, adentrando a discussão do atraso na interação. Na sexta aula da unidade (aula 34) retomamos a discussão da localização da energia, da mediação, pelo Campo Eletromagnético, do estabelecimento de Forças Eletromagnéticas⁵¹ e da transferência de Energia pelo Campo Eletromagnético. Nesta etapa, volta-se ao caso bastante específico do Campo Eletromagnético para a discussão geral entre Campo e Força.*

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: *Na sétima aula da unidade (aula 35) discutimos o atraso da interação eletromagnética, a velocidade de propagação de uma onda eletromagnética, o transporte de energia e de momentum, as leis de Ampère-Maxwell e de Faraday-Lenz no contexto da apresentação das soluções para as equações de Maxwell como sendo soluções para a equação de onda, mostrando assim que o Campo Eletromagnético se propaga como uma onda. Consideramos este o ponto culminante do curso.*

⁵¹ A Força de Lorentz.

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: *avaliação somativa individual na oitava aula da unidade (aula 36).*

8. Análise do êxito das UEPS.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

Aspectos transversais:

- **Estímulo à diversificação dos materiais e das estratégias de ensino/Privilégio do questionamento em relação às respostas prontas;**

Procedimento adotado: *possibilitamos e incentivamos aos alunos a leitura de diversos livros didáticos.*

- **como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;**

Procedimento adotado: *buscamos estimular o questionamento para que os estudantes fossem tomados pela curiosidade de perguntar.*

- **embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.**

Procedimento adotado: *Nesta unidade não propusemos atividades individuais.*

Segundo e terceiro estudos

No segundo e no terceiro estudo, decidimos introduzir algumas mudanças baseadas nas observações feitas no estudo I. Estas observações fundamentaram-se nas discussões realizadas com os estudantes e tiveram como critério a diminuição da abstração e da formalização em estágios iniciais das UEPS.

Como primeira mudança, tivemos a introdução da UEPS de Campo, na qual visamos introduzir o conceito de forma bastante geral. A relação foi estabelecida com os conceitos de fonte, de Interação, bem como com os aspectos relativos às Representações Analógica e Simbólica destes Campos.

Outras mudanças foram realizadas para estabelecer maior sistematização do conteúdo e maior relação com um potencial conhecimento prévio dos alunos envolvidos nos estudos II e III. Abordar a lei de Gauss em seu aspecto conceitual e depois abordar

seu aspecto formal é um exemplo. Estender as aulas da UEPS de Campo Eletromagnético e destinar duas aulas para a abordagem da lei de Ampère-Maxwell é outro.

No segundo e no terceiro estudos as UEPS seguiram a ordem cronológica abaixo:

Tabela 4: Cronograma seguido nos Estudos II e III

Aula	Tópico da aula	Tarefa
1.	Discussão inicial	Tarefa 1 – Análise de conhecimento prévio
2.	O conceito de Campo	Tarefa 2 – Conceito de Campo
3.	Fontes de Campo	Tarefa 3 – Fontes de Campo
4.	Campos e Interações	Tarefa 4 – Interações da Natureza
5.	Representação Analógica de Campos	Tarefa 5 – Representação Analógica de Campos
6.	Representação Simbólica de Campos	Tarefa 6 – Representação Simbólica de Campos
Campo Elétrico		
7.	Discussão inicial	Tarefa 1 – Análise de conhecimento prévio
8.	Fluxo Elétrico e Lei de Gauss para a Eletrostática	Tarefa 2 – Fluxo Elétrico e Lei de Gauss para a Eletrostática
9.	Lei de Gauss e suas aplicações	Tarefa 3 – Aplicações da Lei de Gauss
10.	Circulação Elétrica e a Lei de Circulação para a Eletrostática	Tarefa 4 – Circulação e Lei de Gauss para a Eletrostática
11.	Potencial Elétrico e Campo Elétrico	Tarefa 5 – Circulação e Lei de Gauss para a Eletrostática
12.	Forças Elétricas: Moléculas de DNA e o Forno de Microondas	Tarefa 6 – Forças Elétricas
13.	Condutores	Tarefa 7 – Condutores
14.	Isolantes	Tarefa 8 – Isolantes
15.	Avaliação Somativa da UEPS de Campo Elétrico	Avaliação Somativa
Campo Magnético		
15.	Discussão inicial	Tarefa 1 – Análise de conhecimento prévio
16.	Fluxo Magnético e lei de Gauss para o Magnetismo	Tarefa 2 – Fluxo e Lei de Gauss para a Magnetostática
17.	Circulação e a Lei de Ampère para o Magnetismo	Tarefa 3 – Circulação Magnética e Lei de Ampère para a Magnetostática
18.	Lei de Ampère e suas aplicações	Tarefa 4 – Uso da lei de Ampère para o cálculo de Campos Magnéticos
19.	Corrente Elétrica	Tarefa 5 – Corrente Elétrica
20.	Força Magnética sobre Cargas Elétricas em movimento	Tarefa 6 – Força Magnética sobre Cargas Elétricas em movimento
21.	Força Magnética sobre um fio de Corrente Elétrica	Tarefa 7 – Força Magnética sobre um fio de Corrente Elétrica
22.	Aplicações da Lei de Biot-Savart	
23.	Comparação entre Campos Elétricos e Campos Magnéticos	Tarefa 8 – Atividade individual
24.	Diamagnéticos x Paramagnéticos	
25.	Ferromagnéticos	Tarefa 9 – Materiais Magnéticos
26.	Avaliação somativa da UEPS de Campo Magnético	Avaliação Somativa
Campo Eletromagnético		
27.	Discussão inicial	

28.	A lei de Faraday-Lenz: Campos Elétricos e Magnéticos	Tarefa 2 – A lei de Faraday-Lenz: Campos Elétricos induzidos por Campos Magnéticos variáveis
29.	A lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas	Tarefa 3 – Lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas por Variações de Fluxo Magnético
30.	Geradores e Motores	Tarefa 4 – Geradores e Motores
31.	Corrente de Deslocamento	Tarefa 5 – Corrente de Deslocamento
32.	Lei de Ampère-Maxwell	Tarefa 6 – Lei de Ampère-Maxwell
33.	Transporte de Energia e de Momentum pelo Campo Eletromagnético	
34.	Soluções para a Equação de Maxwell	
35.	Avaliação somativa individual	Avaliação Somativa

Tal sequência foi adotada nos estudos II e III. No terceiro estudo, ao invés de discutir de forma mais abstrata o transporte de Energia e Momentum no Campo Eletromagnético, discutimos o processo de geração e de propagação de ondas de rádio e, a partir da situação, mencionamos esta importante característica das Ondas Eletromagnéticas.

Apresentamos, a seguir, as UEPS apresentadas no segundo e terceiro estudos. Nelas apresentamos os tópicos principais tratados em aula e enquadrámos o conteúdo nos moldes das UEPS. A primeira UEPS a ser descrita é a de Campo, em seguida a de Campo Elétrico. Após esta discutimos as UEPS de Campo Magnético e por fim, discutimos as UEPS de Campo Eletromagnético/Indução Eletromagnética.

Campo

A unidade potencialmente significativa enfocando o conceito de Campo, de forma geral, é apresentada em seis aulas (de dois períodos de 50 minutos cada). Na primeira delas, visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma pequena atividade com quatro problemas através dos quais inferimos o modo pelo qual os estudantes conceitualizam.

Na segunda aula introduzimos o conceito de Campo em um panorama geral, enfocando sua relação com a ideia de interações (o principal objetivo é facilitar a construção de um esquema de assimilação contendo invariantes operatórios cientificamente aceitos para a ação de explicar a interação entre dois objetos).

Na terceira aula, visamos discutir o conceito de fontes de Campo para tão logo discutir as entidades físicas geradoras do Campo (objetiva-se diferenciar o pretense esquema introduzindo as ideias de fonte de Campo e fortalecendo a ideia de Campo como função de ponto).

Na quarta aula, visamos estreitar, detalhar e diferenciar a relação entre Campos e Interações discutindo as quatro interações conhecidas na natureza até então conhecidas (aumentando a complexidade das ideias sobre Campo concernentes ao esquema sobre interações).

Na quinta aula, introduzimos o aspecto representativo (pictórico) dos Campos, a saber, linhas de Campo, diagramas de setas e gráficos (introduzindo o aspecto representacional formal do conceito).

Na sexta aula, introduzimos o conteúdo representacional (simbólico) matemático associado aos Campos, a saber, as equações de Campo, fundadas nas idéias de Fluxo e de circulação.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: escolha do conceito de Campo em Física.

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: Na primeira aula propomos um conjunto de quatro problemas que os alunos deveriam responder individualmente visando investigar elementos do conhecimento prévio destes.

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

*Procedimento adotado: Toda aula iniciava com uma ou duas perguntas visando problematizar os conceitos/conteúdos a serem ensinados. Algumas vezes, como na segunda e na quarta aula, foi feita uma breve abordagem histórica a alguns problemas conceituais resolvidos pela introdução do conceito a ser ensinado. Na **primeira aula**, em especial, visamos apresentar a distinção conceitual entre as ideias de ação mediada por Campo e ação-à-distância.*

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

*Procedimento adotado: após os problemas serem apresentados, era introduzido o conceito-chave a ser apresentado. Na **segunda aula** foi o conceito de Campo (de uma forma geral), a saber, discutindo a diferença entre interação instantânea à distância e interação mediada por Campos, a realidade do Campo (considerando seu papel na propagação de energia e de momentum) e a interação entre partículas e Campos. Desta forma, introduziu-se e diferenciou-se o conceito de Campo após uma problematização. Na **terceira aula**, seguiu-se o mesmo padrão, no entanto com a ideia mais particular de fontes de Campo (discutiu-se as ideias acerca de partículas que geram Campos que interagem com outras partículas, os conceitos de carga de fonte e de carga de prova e o princípio da superposição para Campos).*

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: *na quarta aula* houve um aprofundamento das ideias apresentadas nas aulas II e III, no qual se discutiu de forma bastante introdutória os mecanismos de interação eletromagnética, gravitacional, forte e fraca. Deve-se lembrar de que todas as aulas iniciam-se com situações problema.

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: *na quinta aula* introduzimos os conceitos de diagrama de setas, linhas de Campo e apresentamos encaminhamentos de como se representar o Campo. Na sexta aula introduzimos as ideias de Fluxo e de Circulação para discutirmos matematicamente a descrição dos Campos. O aprofundamento de complexidade das ideias consiste agora em tanto entender o funcionamento conceitual do Campo como em representá-lo. O ápice da unidade de Campo (que precede uma unidade potencialmente significativa de Campo Elétrico) é o de iniciar a representação matemática dos Campos (sexta aula).

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: *avaliação somativa individual após a sexta aula*

8. Análise do êxito das UEPS.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

Aspectos transversais:

- **Estímulo à diversificação dos materiais e das estratégias de ensino/Privilégio do questionamento em relação às respostas prontas;**

Procedimento adotado: *aulas expositivo-dialogadas de 40 minutos, seguidas de sessões de resolução de problemas em grupo de 60 minutos cada. As aulas sempre iniciavam com um questionamento e visavam a interação do que ensinar com o conhecimento prévio do estudante.*

- **como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;**

Procedimento adotado: *com o encorajamento ao questionamento e à crítica por parte do professor, os alunos tendiam a apresentar uma abertura maior para diversos*

aspectos. Em alguns casos, alunos chegaram a compartilhar angústias e alegrias pessoais com o professor sem que houvesse comprometimento profissional do andamento da disciplina.

• embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.

Procedimento adotado: *sempre são previstos momentos (com menor frequência que as atividades em grupo) nos quais os estudantes são avaliados individualmente, a avaliação somativa é um destes (programamos um curso de um semestre de eletromagnetismo para quatro unidades).*

Campo Elétrico

A unidade potencialmente significativa enfocando o conceito de Campo Elétrico é apresentada em dez aulas (de dois períodos de 50 minutos cada). Na primeira delas (sétima aula), visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma pequena atividade com dez problemas (de múltipla escolha) através dos quais inferimos o modo pelo qual os estudantes conceitualizavam.

Na segunda aula da unidade (oitava aula), cujo tema principal incluía a discussão de aspectos gerais da lei de Gauss, nos limitamos a discutir o papel desta lei na eletrostática, seu significado físico e sua relação com o princípio da superposição.

Na terceira aula da unidade (nona aula), exploramos o aspecto operacional da lei de Gauss, ou seja, o seu uso para o cálculo de Campos. Discutimos o papel da simetria na lei de Gauss, o papel da distribuição de carga na lei e calculamos o Campo Elétrico (para pontos no seu exterior⁵²) devido a um cilindro com carga uniformemente distribuída ao longo do seu volume, o Campo Elétrico devido a uma placa muito extensa carregada com carga também uniformemente distribuída ao longo da sua área. Por fim, trabalhou-se o problema do Campo Elétrico criado por uma esfera maciça (para pontos no seu exterior e no seu interior) com densidade de carga constante.

Na quarta aula da unidade (décima aula), introduzimos a equação de Circulação na Eletrostática. Fizemos uma breve revisão das equações de Maxwell e, então, discutimos dois tópicos, a saber, o conceito de Energia Potencial Elétrica e sua relação com o Movimento de Cargas Elétricas, bem como a introdução do conceito de Potencial a partir da equação de Circulação na Eletrostática.

Na quinta aula da unidade (décima primeira aula), estabelecemos a relação entre Potencial e Campo Elétrico. Discutimos o significado das Superfícies Equipotenciais, introduzimos o cálculo do Potencial a partir de uma distribuição dada (problematizando a partir da situação-problema do desfibrilador) e motivamos, também, o cálculo do Campo a partir do Potencial Elétrico.

⁵² Uma das questões apresentadas na tarefa requeria argumentação, usando o princípio da Superposição, sobre a nulidade do Campo Elétrico no interior da casca cilíndrica maciça.

Na sexta aula da unidade (décima segunda aula), estabelecemos a relação entre Campo e Força e entre Campo e Energia através das situações-problema da reprodução do DNA e do aquecimento de comida no forno de micro-ondas. Discutimos o fato de a matéria ser composta por átomos, antes constituídos de nêutrons, elétrons e prótons (os dois últimos, portadores de carga elétrica líquida), trabalhou-se o conceito de Força Elétrica, distinguindo-o do de Campo e trabalhamos aspectos energéticos da interação eletrostática.

Na sétima aula da unidade (décima terceira aula), propusemos a lei de Coulomb como mecanismo geral de cálculo de Campo Elétrico para situações em que se tem conhecida a distribuição de carga que cria o Campo Elétrico⁵³. Calculamos o Campo Elétrico criado por um anel com carga uniformemente distribuída e o Campo Elétrico criado por um disco com carga uniformemente distribuída.

Na oitava aula da unidade (décima quarta aula), introduzimos o conceito de condução elétrica. Problematizamos o conteúdo apresentando um vídeo de blindagem eletrostática. Neste, um homem está no interior de uma gaiola que recebe uma descarga elétrica. Discutimos, em primeiro lugar, a estrutura microscópica de condutores, mencionando o aspecto mais geral dos elétrons de condução em sólidos (elétrons com baixa energia de interação com a rede cristalina). Relacionamos os Campos Elétricos, as Diferenças de Potencial e o movimento de Cargas Elétricas em um condutor. Por fim, discutimos a lei de Gauss e o efeito da inserção de uma carga em um condutor e, também, da inserção de um condutor neutro em um Campo Elétrico uniforme. Ao final, apresentamos um mapa conceitual, preparado pelo professor, sobre a aula.

Na nona aula da unidade (décima quinta aula), introduzimos o conceito de materiais dielétricos. Problematizamos a situação a partir da ideia de indução eletrostática. Demonstramos um vídeo sobre o “encurvamento da água”. Neste, o experimentador liga uma torneira de modo a termos um fluxo de água pouco intenso (“filete”) e próximo a este é posto um pedaço de material previamente eletrizado. Após isto, e em primeiro lugar, discutimos a estrutura microscópica de isolantes e retomamos a ideia de momentos de dipolo apresentada na sexta aula da unidade (sobre forças elétricas). Discutimos, em seguida, os efeitos das Diferenças de Potencial e de Campos Elétricos estabelecidos no interior de dielétricos. Por fim, apresentamos a lei de Gauss para o vetor deslocamento elétrico.

Na décima aula da unidade (décima sexta aula), apresentamos a avaliação somativa. Consistente de seis questões possuía a primeira questão como uma questão de complexidade relativamente alta, na qual se pedia para calcular o Campo Elétrico resultante no modelo de Thomson (cálculo de Rutherford para o modelo). A segunda questão requeria que o estudante descrevesse os vetores Campo Elétrico, Polarização e

⁵³ Apresentamos uma breve discussão conceitual para mostrar a lei de Gauss como mais geral que a de Coulomb, pois a última só possui serventia em casos estáticos ou caso conheçamos, a priori, a densidade de carga. A lei de Gauss na sua forma diferencial oferece-nos a possibilidade de determinar a densidade de carga em problemas nos quais é possível calcular o Potencial Elétrico (e posteriormente o Campo Elétrico) usando a Equação de Laplace ($\rho = 0$ nos pontos exteriores às fontes).

Deslocamento para um sistema formado por uma caixa isolante, dentro da qual há uma caixa condutora cujo teto possui um pêndulo carregado. A terceira questão visou investigar o conhecimento dos estudantes sobre a relação entre condutores, mobilidade de cargas e diferença de potencial. A quarta questão requereu o cálculo do Campo Elétrico devido a um cilindro vazado carregado. A quinta questão requereu o estabelecimento de relações entre os conceitos mais fundamentais da unidade (Campo Elétrico, Lei de Gauss, Lei de Circulação, Carga Elétrica e Lei de Coulomb). A sexta questão era um mapa conceitual cujo conceito chave era o de Campo Elétrico.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: *Escolha do conceito de Campo Elétrico.*

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: *Na primeira aula da unidade (sétima aula) apresentamos uma tarefa com doze questões de múltipla escolha para fazer os estudantes externarem seu conhecimento prévio sobre os conceitos de Campo Elétrico, Força Elétrica e Potencial Elétrico.*

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

Procedimento adotado: *Na primeira aula da unidade (sétima aula), apresentamos uma visão histórica da eletricidade e instigamos os estudantes a pensar em alguns problemas envolvendo eletricidade como, por exemplo, o aquecimento de comida no micro-ondas, a desfibrilação cardíaca, o funcionamento da cadeira elétrica⁵⁴, a reprodução do DNA, etc. Estas perguntas foram apresentadas como problematizadoras do conhecimento a ser apresentado nas aulas posteriores.*

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: *Na segunda aula da unidade (oitava aula) e na terceira aula da unidade (nona aula), discutimos aspectos gerais da lei de Gauss como, por exemplo,*

⁵⁴ O leitor desavisado poderá se assustar aqui. Mas, o pensamento maniqueísta de classificar entre as coisas entre boas e más, em geral, é usado para a classificação da Ciência. Em geral, as pessoas tendem a ser benevolentes demais ou duras demais com respeito a esta classificação. A Ciência é um empreendimento humano, por isto, não neutro e satisfaz a interesses externos a si própria, embora também satisfaça a interesses internos dos cientistas. Assim como ocorreu a produção de vacinas, a construção de trens mais rápidos, houve a criação da cadeira elétrica e da bomba atômica. Às vezes estamos tão dessensibilizados ou mesmo tão irracionalmente ligados a uma defesa da Ciência que esquecemos das próprias atrocidades cometidas por ela. O contrário também ocorre. A solução enxergada por nós para este julgamento é o afastamento do pensamento maniqueísta.

seu significado físico e sua relação com o princípio da superposição (segunda aula) e calculamos Campos Elétricos para sistemas simples de cargas elétricas (terceira aula). Buscamos relacionar sempre a Carga Elétrica ao Campo Elétrico criado no espaço e a Força que este Campo Elétrico exerce sobre estas cargas. Na **quarta** aula da unidade (décima aula) discutimos o movimento de cargas elétricas e introduzimos o conceito de diferença de potencial, bem como relacionamos o mesmo ao Campo Elétrico.

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: Na **quinta** aula da unidade (décima primeira aula), relacionamos o problema da desfibrilação (problema que busca abarcar o real através do pensamento) tanto ao Campo Elétrico como ao Potencial Elétrico, trabalhando as superfícies equipotenciais. Buscamos retomar as relações entre o Campo Elétrico e o Potencial Elétrico através da menção de que ambos se ligam às equações de Campo e que Campo Elétrico está ligado à Força e que o Potencial Elétrico está ligado ao Trabalho. Na **sexta** aula da unidade (décima segunda aula) aproveitamos para formalizar a introdução do conceito de Força Elétrica, problematizando a introdução através da discussão da reprodução de moléculas de DNA. Desta forma, retomamos um dos conceitos gerais, o de Força Elétrica, e relacionamos a ele tanto o trabalho realizado pelo Campo Elétrico (e a conseqüente variação de energia cinética) como a própria ação do Campo Elétrico (através da Força sobre outras cargas).

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na **sétima** aula da unidade (décima terceira aula), trabalhamos a lei de Coulomb, diferenciando o cálculo do Campo Elétrico para o caso particular em que a distribuição de cargas é dada. Na **oitava** aula da unidade (décima quarta aula), trabalhamos as respostas de condutores quando sob a ação de uma Força Elétrica ou de Trabalho realizado pelo Campo Elétrico (depois de discutirmos a estrutura microscópica deles), relacionando estes aspectos à lei de Gauss. Na **nona** aula da unidade (décima quinta aula), fizemos um processo análogo ao desenvolvido na aula anterior, com a diferença de estarem os dielétricos como a temática principal. Desta forma e, em especial, na oitava e na nona aula, diferenciamos o conteúdo progressivamente na medida em que o reconciliávamos integrativamente.

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: avaliação somativa individual na **décima** aula da unidade.

8. Análise do êxito das UEPS.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

Aspectos transversais:

- **Estímulo à diversificação dos materiais e das estratégias de ensino/Privilégio do questionamento em relação às respostas prontas;**

Procedimento adotado: *Semelhante aos anteriores*

- **Como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações-problema relativas ao tópico em questão;**

Procedimento adotado: *Procedimento tomado naturalmente pelos estudantes. O estímulo à pergunta era bem aceito pelos alunos do segundo estudo, em especial.*

- **Embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.**

Procedimento adotado: *No segundo e no terceiro estudos, visamos analisar como os estudantes trabalham em grupos. No segundo, a cada tarefa, os estudantes redigiam um texto individual, ao fazê-las em grupo. No terceiro estudo, a cada tarefa, os estudantes redigiam um texto do grupo ao fazer a tarefa coletivamente.*

Campo Magnético

A UEPS de Campo Magnético no segundo e no terceiro estudos teve uma quantidade menor de aulas e uma organização que nos pareceu maior do que no primeiro estudo. Conseguimos fazer um paralelo com o tratamento do Campo Elétrico, conforme discutiremos a seguir. A UEPS teve 12 aulas nas quais pudemos diferenciar mais ainda as relações entre Campo e Força. Cada aula busca relação com as anteriores e visa apresentar o conceito de Campo Magnético como integrado às ideias de Força Magnética e Corrente Elétrica, assim como no primeiro estudo.

Na **primeira aula** da unidade (aula 17), os alunos trabalharam em uma atividade individual de avaliação diagnóstica. Propusemos 8 problemas aos estudantes envolvendo fundamentalmente os conceitos de Carga Elétrica, Corrente Elétrica, ímãs, Campo Magnético e Força Magnética. Quatro dos problemas eram de múltipla escolha e quatro dissertativos. Após isto apresentamos uma visão histórica do Magnetismo e apresentamos algumas perguntas aos estudantes para problematizar o conhecimento.

Na **segunda aula** da unidade (aula 18) discutimos de forma bastante geral o caráter solenoidal do Campo Magnético através da lei de Gauss do Magnetismo. Enfatizou-se bastante a ideia de não existir uma Carga Magnética gerando Campo

Magnético. Desta forma foi possível, de início, estabelecer a primeira diferença entre os conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético.

Na **terceira aula** da unidade (aula 19) discutimos de forma ampla o conceito de circulação como uma forma de revisar sua interpretação física, sumariamente importante para o entendimento da Lei de Ampère e para o entendimento geral da forma do Campo Magnético no espaço. Estabelecemos, também, o vínculo (semelhança) com a lei de Gauss, destacando a diferença entre fontes e operadores (Fluxo e Circulação), para discutir o aspecto de o Campo Magnético presente na lei de Ampère ser o Campo Magnético resultante devido a todas as correntes no problema.

Na **quarta aula** da unidade (aula 20) discutimos aplicações da lei de Ampère no cálculo de Campos Magnéticos. Aproveitamos para diferenciar a lei de Ampère (lei de Circulação) da lei de Gauss (lei de Fluxo) e discutir as consequências tanto de a lei de circulação ligar-se à fonte do Campo Magnético, a saber, a Corrente Elétrica como de o Campo ser solenoidal.

Na **quinta aula** da unidade (aula 21) discutimos o conceito de Corrente Elétrica como estando associado ao movimento ordenado de cargas. Inserimos o papel do Campo Elétrico (Diferença de Potencial) no ordenamento destes elétrons. Distinguimos o movimento ordenado do caótico e interpretamos o aquecimento de fios devido ao efeito microscópico de colisão entre elétrons e íons da rede cristalina (aumento da energia cinética média da rede e, pois, do sistema). Desta forma, pudemos esclarecer quem possui o papel de fonte do Campo Magnético.

Na **sexta aula** da unidade (aula 21) discutimos a ação da Força Magnética exercida por um Campo Magnético sobre uma Carga Elétrica em movimento. Nesta aula foi possível discutir a trajetória helicoidal de uma partícula com carga q lançada em um Campo Magnético com velocidade perpendicular à direção do Campo Magnético. Neste estudo, não resolvemos a equação diferencial como no primeiro estudo, mas nos focamos em analisar geometricamente o movimento da carga evocando princípios do MCU e relacionando-os à ação da Força Magnética. Apresentamos aos alunos uma simulação do movimento circular da carga.

Na **sétima aula** da unidade (aula 22) pudemos estender a ideia de o Campo Magnético exercer Força Magnética sobre uma Carga Elétrica em movimento e, então, tratar do problema da Força Magnética sofrida por um fio conduzindo Corrente Elétrica.

Na **oitava aula** da unidade (aula 23) discutimos aplicações da lei de Biot-Savart e a comparamos, guardadas as diferenças, com a lei de Coulomb para a Eletricidade. Restringimo-nos a demonstrar o Campo Magnético gerado por um Fio de corrente. Nesta aula, não propusemos tarefas aos alunos.

Na **nona aula** da unidade (aula 24), fizemos uma comparação bastante explícita entre os Campos Elétrico e Magnético (reconciliação integradora).

Na **décima aula** da unidade (aula 25) discutimos materiais magnéticos. Trouxemos os conceitos de paramagnético e diamagnético, comparando estes materiais às moléculas Polares e Apolares estudadas na UEPS de Campo Elétrico. Foi possível trazer à tona a ideia de que toda a matéria é magnética na discussão (simplificada) da associação de um Momento Magnético aos momentos angulares, orbital e intrínseco. Alertou-se aos alunos de a abordagem ser somente heurística (só abriria caminhos) e da necessidade do uso da regra de quantização do momentum angular (intrínseco e orbital) para um entendimento mais profundo do comportamento magnético da matéria.

Na **décima primeira aula** da unidade (aula 26), foi possível discutir os materiais ferromagnéticos e explicar o ciclo de histerese. Foi feita menção às fitas magnéticas de gravação e explicou-se a origem do ferromagnetismo na interação forte entre átomos vizinhos que culmina no alinhamento mútuo do spin de elétrons pertencentes a estes átomos.

Na **décima segunda aula** da unidade (aula 27), foi apresentada uma atividade somativa individual com seis questões.

A seguir apresentamos como a UEPS foi estruturada.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: Escolha do conceito de Campo Magnético.

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: Na primeira aula da unidade (aula 17) apresentamos um conjunto de oito problemas em que os estudantes deveriam discursar sobre o conceito de Campo Magnético ou escolher uma alternativa dentre quatro apresentadas.

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

Procedimento adotado: Na primeira aula da unidade (aula 17) apresentamos uma visão histórica sobre o Magnetismo e também apresentamos problemas envolvendo ressonância magnética, alto-falantes, motores, galvanômetros, etc. Estes problemas visaram preparar o terreno para a introdução do conteúdo. Apresentamos nas aulas posteriores, situações envolvendo o Campo Magnético de um ímã em forma de barra.

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na **segunda** aula da unidade (aula 18), apresentamos a lei de Gauss do Magnetismo e relacionamos o Comportamento do ímã e de sistemas simples condutores de Corrente Elétrica como, por exemplo, espiras e solenoides, ao caráter solenoidal do Campo Magnético. Na **terceira** aula da unidade (aula 19) reforçamos o caráter solenoidal dos Campos Magnéticos e introduzimos a fonte do Campo Magnético através da Lei de Ampère, aproveitando a situação para comparar as equações de Circulação da Eletricidade e do Magnetismo, ressaltando o caráter solenoidal do Campo e a Corrente Elétrica como fonte do Campo Magnético na segunda. Na **quarta** aula da unidade (aula 20), aproveitamos para calcular Campos Magnéticos devido a sistemas simples de Corrente Elétrica como o toróide, o solenoide e o fio. Na **quinta** aula, diferenciamos o conceito de Corrente Elétrica, discutindo com maior detalhe sua natureza, sua relação com o Campo Magnético (movimento ordenado de cargas) e sua diferença com respeito ao movimento caótico associado ao “movimento térmico”.

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: Na **sexta** aula da unidade (aula 21), retomamos a ideia da Força Magnética exercida pelo Campo Magnético sobre uma carga em movimento, voltando ao aspecto da interação Magnética entre Partícula e Campo. Estudamos a ação desta Força e relacionamos a Força Magnética à forma do Campo Magnético pela Lei de Lorentz. Na **sétima** aula da unidade (aula 22), apresentamos a Força Magnética sobre um fio conduzindo corrente a partir da lei geral de Lorentz, assim pudemos relacionar dois problemas aparentemente distintos sob o mesmo olhar da lei geral de Lorentz. Na **oitava** aula da unidade (aula 23) aproveitamos para retomar o conceito de Campo Magnético e relacioná-lo diretamente à corrente e trabalhar casos em que é conhecida a distribuição das correntes apresentando a lei de Biot-Savart. Na **nona** aula da unidade (aula 24), atingimos o ápice da reconciliação integradora ao comparar explicitamente as características gerais associadas ao Campo Elétrico e ao Campo Magnético em uma só aula. Comparamos as equações de Fluxo e de Circulação, bem como as equações de Força Elétrica e Magnética, e as fontes de Campo.

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na **décima** aula da unidade (aula 25), discutimos materiais diamagnéticos e paramagnéticos, Na **décima primeira** aula da unidade (aula 26) discutimos materiais ferromagnéticos. Nestas duas aulas, pudemos retomar a ideia de Campo Magnético criado por Carga em Movimento, Força Magnética exercida sobre Carga em Movimento, Fluxo do Campo Magnético e Circulação do Campo Magnético para explicar o que decidimos denominar Indução Magnética e de Magnetização, bem

como a relação destes com um Campo Magnético interagindo com um material magnético. Distinguimos e apresentamos as semelhanças nos três casos e foi possível relacionar o Campo Magnético criado por materiais com momento magnético permanente com o momentum angular das Cargas Elétricas em movimento, o que para nós apresenta-se, ao mesmo tempo, como diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: *avaliação somativa individual na décima segunda aula da unidade (aula 27).*

8. Análise do êxito das UEPS.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

Indução Eletromagnética

A UEPS de Indução Eletromagnética foi abordada em nove aulas no segundo estudo (dez no terceiro, pois incluímos uma aula sobre o funcionamento do rádio). Cada aula busca relação com as anteriores e busca apresentar o conceito de Indução Eletromagnética como integrado às ideias de Força Eletromagnética, Carga Elétrica e Carga Elétrica em movimento. Buscamos o mais cedo possível tratar as ideias de Campo Eletromagnético e de Força Eletromagnética como epistemologicamente distintas. Para este caso, em que vemos um distinto comportamento dos vetores Força Eletromagnética e Campo Eletromagnético, didaticamente foi mais fácil identificar as diferenças, embora pouquíssimos estudantes pareçam ter continuado com o teorema-em-ação “Campo é igual a Força”.

Na primeira aula desta unidade (aula 28), propusemos uma atividade individual de sondagem do conhecimento prévio dos estudantes. A atividade possuía seis questões, dentre as quais tínhamos duas de múltipla escolha e quatro dissertativas. Das seis questões, uma envolvia diretamente a Lei de Ampère-Maxwell e as restantes, a lei de Faraday.

Na segunda aula da unidade (aula 29), abordamos a Lei de Faraday de uma perspectiva bastante geral, relacionando a variação do Fluxo Magnético a uma circulação do Campo Elétrico no caso de um Campo Magnético variável. Antecipamos um tratamento particular dos fenômenos de indução. Mencionamos os casos em que pode haver variação de Fluxo Magnético, a saber, variando o Campo Magnético, a área da Amperiana (como chamamos o caminho de integração) e a orientação da Amperiana.

Quisemos na primeira aula somente tratar das variações de Campos Magnéticos “implicando”⁵⁵ a criação de um Campo Elétrico no espaço. Com isto, findamos por omitir a descrição da ação do Campo Magnético sobre cargas em movimento nos casos de indução eletromagnética associada a uma Força Magnetostática exercida sobre um circuito. Assim foi ao longo do curso, pois tratávamos da variação do Fluxo Magnético ao discutirmos correntes induzidas. Foi um ponto que esclarecemos melhor neste estudo e decidimos separar em duas classes de situações, no terceiro.

Na terceira aula da unidade (aula 30) abordamos a lei de Faraday para o caso mais particular de correntes induzidas em circuitos elétricos. Distinguimos do caso da existência de um Campo Elétrico induzido no espaço por um Campo Magnético variável. Abordamos o problema clássico da experiência de Faraday e associamos, para o caso de Campo Magnético variável, a corrente elétrica ao efeito do Campo Elétrico induzido no circuito por esse Campo Magnético variável.

Na quarta aula da unidade (aula 31), discutimos geradores e motores. Construímos as equações dos geradores e dos motores a partir da lei de Faraday. Discutimos o funcionamento dos Geradores e Motores e dos torques realizados pelo Campo Magnético externo e o torque necessário para girar a espira de forma que ela tenha velocidade angular constante.

Discutimos este tópico a partir da variação de Fluxo Magnético. Reiteramos ter sido uma abordagem incompleta, pois poderíamos ter discutido isto abordando a ação microscópica do Campo. Desta forma, ao girar a espira, fazemos com que as cargas entrem em movimento e que a Força Magnética do Campo Magnético, criado pelos ímãs em repouso (no caso do gerador com ímãs fixos) estabeleça uma Corrente Elétrica no Circuito. O Campo Magnético do ímã fixo do gerador exerceria um Torque restaurador na espira.

Percebemos após o segundo estudo que a omissão do movimento do circuito não ajudava, mas prejudicava a compreensão dos alunos⁵⁶. Discutimos os motores como sendo geradores ao contrário e enfatizamos as trocas energéticas dos dois sistemas.

Na quinta aula da unidade (aula 32) discutimos a construção do conceito de Corrente de Deslocamento. Foi uma das poucas aulas em que a tarefa foi apresentada antes da aula. Nesta aula discutimos o artigo de Chalmers (1975) no qual ele apresenta o modelo de vórtices de éter usado por Maxwell para chegar à velocidade da luz, as

⁵⁵ A rigor estes fenômenos não são causais, ou seja, não é bem um Campo Magnético que cria um Campo Elétrico variante no espaço. Tais fenômenos ocorrem simultaneamente segundo a lei de Faraday, então não poderíamos dizer quem origina quem, mas sabemos que os dois estão correlacionados a uma variação da corrente elétrica.

⁵⁶ Discutimos o problema superficialmente enfocando a relatividade especial: estando o ímã em repouso, o circuito se move e cria-se uma corrente em função da ação do Campo Magnético que altera a trajetória das partículas em movimento. Estando o ímã em movimento, cria-se uma corrente em função do Campo Elétrico induzido gerado a partir do movimento do ímã. Embora a relatividade do movimento nos leve a resultados diferentes no que tange ao Campo, em ambos os casos há formação de corrente elétrica. Talvez esta diferenciação que se tencionou fazer uma semelhança devesse ser mais explorada e o fizemos no estudo III.

implicações deste modelo, como Maxwell o abandonou e continuou com uma teoria eletromagnética inconsistente e que problemas teóricos eram estes.

Na sexta aula da unidade (aula 33) foi trabalhada a Lei de Ampère-Maxwell como sendo a lei análoga à lei de Faraday-Lenz para o Campo Magnético, ou seja, Campo Elétrico variável cria Campo Magnético variável. Trabalhamos o caso de um circuito LC conduzindo corrente e estreitamos as correntes de condução e de deslocamento, afirmando sua semelhança sob o atributo de ambas serem fontes de Campo Magnético, ampliando assim, o conceito de Corrente Elétrica.

Na sétima aula da unidade (aula 35) discutimos o transporte de energia e de momentum e discutimos, ainda, a localização da energia no Campo. Trouxemos dois exemplos iniciais, envolvendo um capacitor e o outro envolvendo um indutor para apresentar aos alunos, argumentos para entenderem a razão de a energia estar no Campo.

Na oitava aula da unidade (aula 36) apresentamos as soluções para as equações de Maxwell e introduzimos a ideia do Campo Eletromagnético se propagar como uma onda, com velocidade de propagação c , pelo espaço.

Na nona aula da unidade (aula 36) foi proposta a avaliação somativa final do estudo.

Após a sexta aula, no terceiro estudo, ministrou-se uma aula sobre o funcionamento da comunicação por rádio com os estudantes. Objetivou-se com isto estabelecer uma relação entre aspectos tecnológicos da comunicação à longa distância, a produção de ondas eletromagnéticas e sua propagação no espaço. Discutiu-se, de uma perspectiva baseada no Campo, a codificação de sons em correntes elétricas, o funcionamento do circuito LC, os processos de modulação por frequência e amplitude, a emissão de ondas pela antena da estação emissora, a propagação de ondas eletromagnéticas no espaço, a relação destas ondas com Campos Eletromagnéticos, a troca de Energia e Momentum com a antena receptora, a codificação da informação em ondas sonoras. O tema pareceu de bastante interesse aos acadêmicos de Engenharia Física.

Aspectos sequenciais das UEPS

1. Definir o tópico específico a ser abordado.

Procedimento adotado: Escolha do conceito de Indução Eletromagnética.

2. Criar e propor Situações para levar o aluno a explicitar seu conhecimento.

Procedimento adotado: Na primeira aula da unidade (aula 28), apresentamos uma tarefa visando à externalização de conhecimento prévio dos estudantes acerca do conceito de Indução Eletromagnética.

3. Propor Situações em nível introdutório (levando em conta o conhecimento prévio do aluno) para facilitar a introdução do conhecimento que se quer ensinar.

Procedimento adotado: Na **primeira** aula da unidade (aula 28) apresentamos uma visão geral sobre a eletrodinâmica e uma visão histórica. Motivamos a unidade com algumas perguntas do tipo: como funcionam motores, como ocorre a propagação de ondas de rádio? Etc.

4. Retomar aspectos mais gerais do conteúdo a ser ensinado/aprendido em um maior nível de complexidade, dar novos exemplos e seguir a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na **segunda** aula da unidade (aula 29), apresentamos a lei de Faraday de forma bastante geral ao relacionar um Campo Magnético variável a um Campo Elétrico induzido no espaço. Depois introduzimos a construção em termos do Fluxo. Na **terceira** aula da unidade (aula 30) continuamos a diferenciação progressiva, analisando a lei de Faraday para o caso particular de circuitos. Na **quarta** aula da unidade (aula 31) especificamos mais ainda o caso para o tratamento de geradores e de motores. Na **quinta** aula da unidade (aula 32) discutimos o conceito de corrente de deslocamento e sua construção histórica.

5. Propor e discutir novas Situações em maior nível de complexidade que as anteriores.

Procedimento adotado: Na **sexta** aula da unidade (aula 33) discutimos o conceito de corrente de deslocamento sob a perspectiva da lei de Ampère-Maxwell, ou seja, apresentamos o Campo Magnético como possivelmente criado por um Campo Elétrico variável. Desta forma, reconciliamos de forma integrativa as leis de Ampère-Maxwell e de Faraday-Lenz num todo coerente. Na **sétima** aula da unidade (aula 34), discutimos a interação Eletromagnética de uma perspectiva geral, tratando agora a ação conjunto dos Campos Elétrico e Magnético e levando em consideração não somente Carga Elétrica e Corrente Elétrica como fontes diretas de Campo, mas também como fontes indiretas, pois Corrente Elétrica variável cria Campo Magnético variável e, portanto, Campo Elétrico variável no espaço (a aula sobre a produção de ondas de rádio substituiu esta aula no terceiro estudo).

6. Concluir a unidade dando seguimento ao processo de Diferenciação Progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo, buscando ao mesmo tempo a reconciliação integradora.

Procedimento adotado: Na **oitava** aula (aula 35) desenvolvemos a última diferenciação progressiva seguida de uma reconciliação integradora. Trabalhamos as equações de Maxwell e delas derivamos a equação de Ondas. Desta forma, apresentamos o Campo Eletromagnético como uma Onda Eletromagnética e pudemos retomar toda a ideia básica apresentada ao longo do curso inteiro de que o Campo Eletromagnético medeia

interações, pois transporta Energia e Momentum, uma vez que se comporta como onda Eletromagnética. Ficou também evidente o caráter de atraso da interação eletromagnética ao discutirmos a velocidade finita de propagação destas ondas associadas à interação Eletromagnética.

7. Realizar a avaliação individual somativa. Nesta avaliação devem ser propostas Situações implicando compreensão e evidenciando captação de Significados por parte dos alunos.

Procedimento adotado: *avaliação somativa individual na nona aula da unidade (aula 36).*

8. Análise do êxito das UEPS.

Procedimento adotado: *análise das concepções dos estudantes em termos de esquemas de assimilação e modelos mentais.*

4.4. Metodologia investigativa

A finalidade do trabalho proposto não é somente o desenho de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, mas enquadra, também, a testagem das mesmas, isto é, a investigação de evidências de Aprendizagem Significativa. A metodologia investigativa ou metodologia de pesquisa a ser adotada para tal objetivo será discutida a seguir, iniciando-se pelo detalhamento da coleta de dados e encerrando-se na discussão acerca da análise dos mesmos.

Coleta de dados

O primeiro elemento a ser discutido diz respeito aos instrumentos que usamos para coletar os dados. Para avaliar a aprendizagem dos estudantes usamos vários registros como, por exemplo, mapas conceituais produzidos, resoluções de problemas de lápis-e-papel, registros de discussões com os alunos, notas de campo, etc. Estes instrumentos foram úteis para encontrar evidências dos processos de Aprendizagem Significativa.

O segundo elemento a ser discutido diz respeito ao contexto em que foram coletados os dados. As aulas compuseram este contexto. Obviamente a maior parte dos registros escritos pelos alunos foi derivada de sessões de resoluções de problema, enquanto a maior parte dos registros escritos pelo professor foi derivada de aulas expositivo-dialogadas, uma vez que não é tarefa do aluno preocupar-se em deixar registros de sua aprendizagem sem que lhe seja pedido – sua preocupação deve ser a de compreender o conteúdo na forma predicativa e aprimorar suas capacidades associadas ao conhecimento operatório.

Ponto importante é, também, a atribuição de igual relevância ao processo e ao produto, ou seja, a avaliação formativa (ao longo do processo) foi enfatizada tanto quanto a evolução da avaliação diagnóstica para a somativa. Geralmente o rendimento

do aluno é “medido” somente na avaliação somativa e, portanto, a atribuição de pesos no entorno de 50% da nota para ambas, revela equiparação entre processo e produto.

Na próxima seção detalharemos a sistemática da Análise de Conteúdo a ser usada na análise dos dados no processo de investigação.

Análise dos dados

Adotamos, na análise dos dados, a sistemática de Análise de conteúdo proposta por Bardin (2008). Para a autora, a Análise de Conteúdo facilita o enriquecimento da leitura de dados e diminui a incerteza da interpretação, pois possui uma função heurística no processo de extração de informações de mensagens emitidas na comunicação, através do contorno do caminho da interpretação espontânea ou intuitiva (Pantoja, 2011, p.70).

Para Bardin, a Análise de Conteúdo se enquadra como um conjunto de técnicas buscando inferir informações acerca da produção de um dado conhecimento. Esta busca requer indicadores que assegurem certeza a estas *inferências* que seguem um procedimento de dedução lógica que permite ir da descrição à interpretação. São considerados no processo de dedução lógica, fatores associados ao questionamento das causas dos enunciados, bem como as consequências possíveis de serem produzidas (Bardin, 2008).

A Análise de Conteúdo visa o estudo de *variáveis inferidas*, que podem ser sociológicas, culturais ou psicológicas (no caso da pesquisa), relativas à comunicação ou ao contexto de produção da mensagem. Estas variáveis são deduzidas logicamente a partir de *indicadores* (ibid.). As variáveis inferidas na pesquisa estão associadas à conceitualização (modelos mentais e esquemas de assimilação).

Um adendo é importante aqui. A Análise de Conteúdo pressupõe a ideia de que existe um enunciado verdadeiro imerso nos dados e que cabe ao pesquisador desvelar este enunciado verdadeiro. Ela considera haver uma verdade objetiva observável nos enunciados observáveis. Para nosso caso seria como se os Modelos Mentais e Esquemas dos estudantes fossem cópias especulares dos raciocínios dos estudantes. Como se essas regularidades fossem tangíveis e não uma representação aplicável para tentar estabelecer correspondência com o real.

Como se pode ver, os pressupostos da Análise de Conteúdo são positivistas. Supor haver uma verdade objetiva tangível, alcançada através da observação cuidadosa e, sobretudo, observável, demonstra esta característica. Neste trabalho, nos afastamos desta concepção e ressaltamos ser nossa interpretação uma tentativa de compreender o raciocínio dos estudantes formulando Modelos Mentais e Esquemas possivelmente correlacionados aos pensamentos desenvolvidos por eles na resolução das tarefas.

Estes Modelos Mentais e Esquemas não possuem compromisso direto com o processamento cerebral dos estudantes, são construtos hipotéticos que guardam certo tipo de aplicabilidade na descrição e explicação de processos cognitivos conduzidos pelos estudantes no domínio de Situações. Não objetivamos qualquer estabelecimento

de cópia especular daquilo ocorrente no pensar dos estudantes e nossa Representação destes processos.

De forma resumida, apropriamo-nos das etapas da análise de conteúdo para introduzir critérios aplicáveis à descrição destes processos mentais de acordo com teorias coerentes, mas hipotéticas e nunca absolutamente verdadeiras, do funcionamento cognitivo. As variáveis inferidas não são, portanto, elementos passando realmente pela cabeça dos estudantes, mas sim descrições, na forma de construtos teóricos, de possíveis processos empregados por eles no domínio de Situações. Nossa interpretação da natureza das variáveis inferidas é, pois, diferente.

Esta Análise é composta de três etapas: a *pré-análise*, a *exploração do material e o tratamento dos resultados* (na qual se fazem inferências e interpretações). Cada uma destas etapas é composta por outras, compondo assim um ciclo de pesquisa. O objetivo de apresentar esta breve discussão é enfatizar a recursividade na comparação e classificação de dados. A análise de conteúdo foi o procedimento-chave para estudo do conhecimento dos estudantes.

Em nosso ciclo de pesquisa, a *pré-análise* consistiu da leitura flutuante e rápida, desenvolvida concomitantemente à realização do curso, paralela às discussões com os alunos. Pudemos criar primeiras impressões dos estudantes e das suas formas de pensamento.

Em uma fase posterior, pudemos analisar as respostas dos estudantes em uma busca inicial por *conhecimentos-em-ação* possivelmente apresentados pelos estudantes. Para isto, estabelecemos critérios e, também, elencamos conceitos para compor uma estrutura conceitual de referência. Escolheu-se, portanto, a abordagem a ser usada para analisar os dados.

Na etapa da *exploração do material*, fizemos um estudo visando identificar elementos de possíveis Esquemas e Modelos Mentais usados pelos estudantes. Nesta parte foi fundamental o uso das teorias dos Campos Conceituais e dos Modelos Mentais. Partimos, então, do pressuposto de que no confronto inicial com uma Situação de uma Classe de Situações conhecida, o estudante usaria seus Esquemas, nos quais estariam seus conhecimentos-em-ação prévios. No caso de tentativa de domínio de uma Situação de uma Classe de Situações conhecida, o estudante construiria um Modelo Mental a partir dos conhecimentos-em-ação contidos nos Esquemas.

Trabalhamos as respostas dos estudantes às tarefas e relacionamos os Objetivos encontrados pelos estudantes no confronto com a situação (ponto importante e constituinte tanto de Esquemas como de Modelos Mentais, associado à intencionalidade do domínio da situação) às Inferências (tomadas como os significados das respostas dadas pelos estudantes, visto serem os saltos entre o entendimento dos objetivos da situação e sua resolução).

A ligação entre Objetivos e Inferências é, como o próprio Verngaud assinala, completamente não linear e depende fortemente dos *Conhecimentos-em-ação* possuídos implicitamente ou explicitamente pelos estudantes presentes necessariamente nos

Esquemas de assimilação, bem como das *Regras de ação* (ou no caso dos modelos mentais *operações recursivas* de curto prazo). Nossa tarefa consistiu, portanto, de encontrar evidências da construção de Modelos Mentais e do uso de Esquemas no domínio de situações.

Iniciamos a elaboração de Índices (e de Indicadores para estes índices) relativos às *Regras de Ação* construídas, aos *Conhecimentos-em-ação* usados, aos *Objetivos* estabelecidos e às *Inferências* realizadas pelos estudantes. Foi possível verificar se os alunos estavam indo de acordo com o apresentado em sala ou se se distanciavam da temática abordada. Percebeu-se que os estudantes apresentavam construção de raciocínios coerentes com a proposta abordada, mas frutos de pensamentos próprios e não de memorização de respostas prontas.

Para o tratamento dos resultados, buscamos identificar que Esquemas e Modelos Mentais estariam em desenvolvimento no domínio de situações. Os Esquemas, como já discutido no Referencial Teórico, são entidades cognitivas associadas à organização da ação frente a uma classe de Situações. Eles também possuem os conhecimentos prévios dos estudantes, majoritariamente implícito na ação. Vergnaud (1982) salienta bem isto a distinguir entre as formas predicativa e operatória do conhecimento.

Os Modelos Mentais são entidades cognitivas também em desenvolvimento no domínio de Situações. Os Modelos Mentais buscam organizar a ação, mas não de uma maneira invariante e são recursivos, ou seja, são parcialmente obliterados e posteriormente reconstruídos de uma maneira a melhor satisfazer o domínio da situação. Eles são usados pelos estudantes para dominar classes de Situações novas e reconstruir conhecimentos associados a Situações antigas interpretadas de outra maneira⁵⁷.

Na análise de conhecimento prévio, entendemos que os estudantes apresentariam condutas de longo prazo e organizada de forma invariante frente a uma determinada classe de Situações apresentada, ou seja, Esquemas. Eles não pareciam apresentar Esquemas cientificamente aceitos para o conceito de Campo Eletromagnético. Duas razões aventadas para tal passam pelo fato de serem alunos mais novos (cursando a primeira vez a disciplina) ou por apresentar muitos problemas de compreensão com respeito ao conceito.

Partimos do pressuposto de que o conhecimento prévio dos Estudantes estaria organizado em possíveis Esquemas de Assimilação. Na atividade inicial, destacamos não estarmos preocupados com respostas certas ou erradas, que queríamos, na verdade, analisar o conhecimento prévio deles para melhor intervir didaticamente e para realizar

⁵⁷ É o caso do abandono de uma ideia de ação à distância para tentativa de apreensão de uma ideia de ação mediada por Campos. Ocorre uma ruptura e não podemos associar isto a uma modificação de Esquema somente, é outra forma de pensar e requer uma reestruturação radical da forma de entender interações. Como a maioria dos conceitos usados pelos estudantes ainda possui algum grau de correlação com as ideias de aceleração, força, etc., a construção de Modelos Mentais ocorre mais facilmente do que no caso da construção de Modelos Mentais completamente novos.

esta pesquisa. Algumas respostas dos estudantes continham elementos como “sor⁵⁸, não sei essa” ou uma resposta bastante despreocupada com acertos e erros.

Consideramos, portanto na análise de conhecimento prévio, as respostas dadas por eles como evidências de *Inferências* feitas. As Operações de Pensamento ocultas nas lacunas entre uma verbalização e outra foram tomadas como as *Regras de Ação*⁵⁹. Os Significados imersos e emergentes na Situação foram considerados os *Conhecimentos-em-ação*⁶⁰. As metas dirigidas a partir da leitura dos enunciados e o estabelecimento da finalidade da situação entendidas como os *Objetivos*. Apresentamos abaixo um Diagrama para facilitar o entendimento sobre como concebemos o processo de conceitualização.

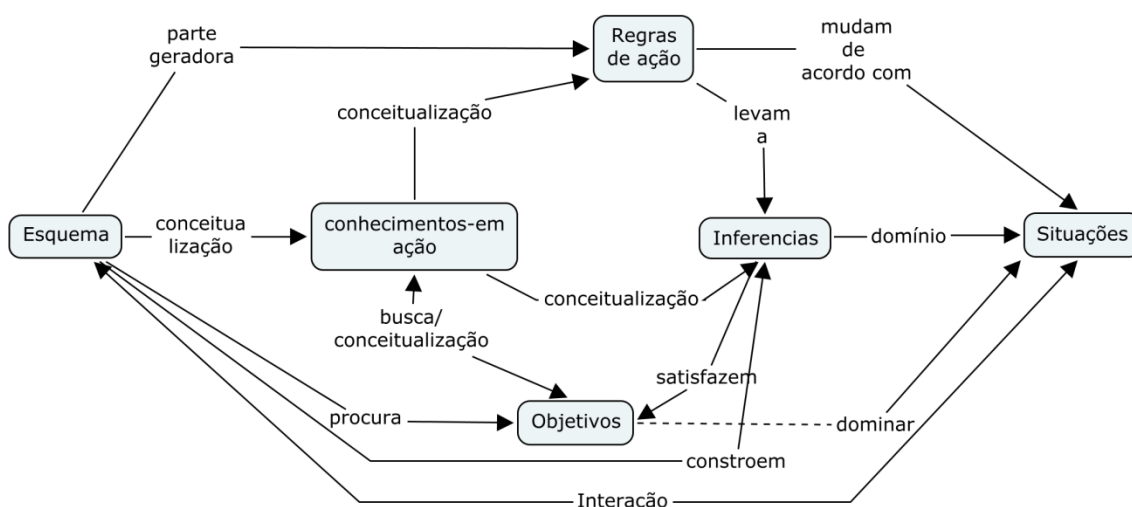


Figura 2: Descrição do processo de conceitualização usando Esquemas

Ao ser posto em Situação e dirigir um Esquema a ela, o sujeito estabelece um objetivo a partir da leitura do Problema. Ao estabelecer este objetivo, as Regras de ação iniciam o processo de busca e armazenamento de informação para construir Inferências, as respostas ao problema. Em todo o processo, os Conhecimentos-em-ação cumprem um papel fundamental, o de conduzir o Significado presente no processo de conceitualização.

O sujeito constrói um Modelo Mental quando os estudantes não apresentam conhecimento prévio acerca da situação apresentada. Quando apresentávamos os problemas novos aos estudantes e eles davam respostas organizadas de forma substancialmente diferente daquelas dadas na análise de conhecimento prévio, e quando as respostas dadas diferiam radicalmente no seu conteúdo com respeito ao conteúdo do possível conhecimento prévio do estudante, podíamos apresentar evidências de um possível Modelo Mental.

⁵⁸ No Rio Grande do Sul é comum que os alunos se refiram ao professor como “sor”.

⁵⁹ Escrevemos as Regras-de-ação e as Operações recursivas em uma linguagem equivalente ao significado expresso pelos estudantes.

⁶⁰ Lembre-se de que trabalhamos numa tentativa de entender possíveis processos de Aprendizagem ocorrentes na etapa operatória do conhecimento. Muitos dos conhecimentos explícitos apontavam evidências para afirmar que possivelmente haveria conhecimentos implícitos na ação influenciando as respostas dos alunos.

Desta forma, todas as proposições contendo afirmações sobre a situação foram consideradas *Conhecimentos-em-ação* pertinentes a aspectos apresentados em sala ou a Esquemas antigos aproveitados para a criação dos Modelos Mentais. Consideramos as *Operações Recursivas*⁶¹ como a parte verdadeiramente generativa do Modelo Mental. Às respostas dos estudantes às questões, associamos as *Inferências* e à relação entre as respostas e os enunciados, pudemos traçar os *Objetivos*. Apresentamos abaixo um Diagrama para discutir o processo de conceitualização.

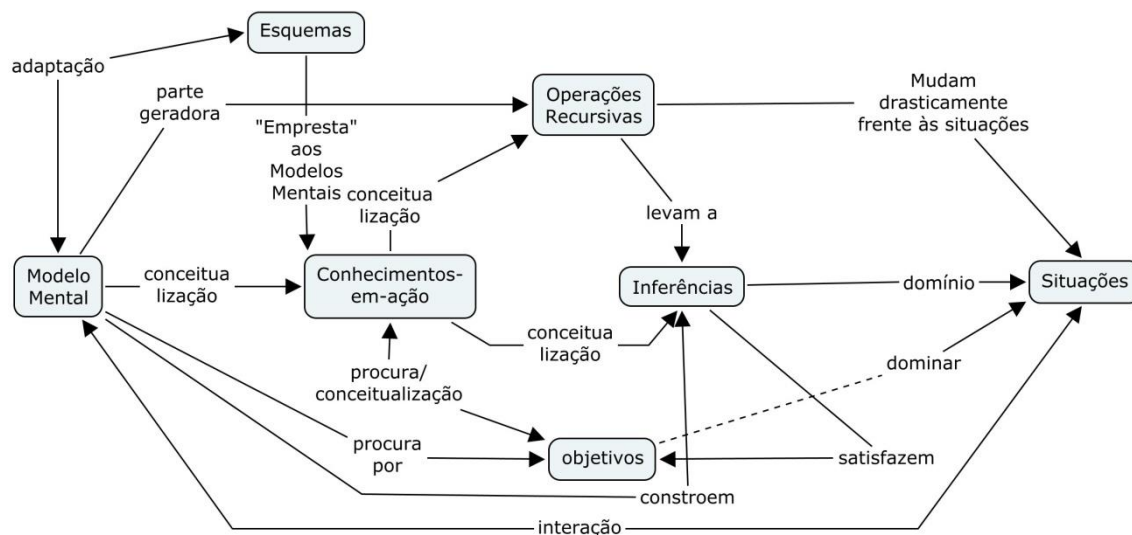


Figura 3: Descrição do processo de conceitualização usando Modelos Mentais

Ao ser posto em Situação, ao dirigir um Modelo Mental a ela, o sujeito estabelece um objetivo a partir da leitura do Problema. Ao estabelecer este objetivo, as Operações recursivas iniciam o processo de busca e armazenamento de informação para construir Inferências, as respostas ao problema. Em todo o processo, os Conhecimentos-em-ação cumprem um papel fundamental, o de conduzir o Significado presente no processo de conceitualização.

Onde estão estes Conhecimentos-em-ação? E qual a diferença das Operações Recursivas para as Regras de Ação? Os Conhecimentos-em-ação estão nos Esquemas. Alguns são pinçados das aulas dadas e relacionados entre si e com as Situações através de Operações provisórias que podem ser reconstruídas em novo problema. O Modelo Mental não organiza condutas cognitivas de forma invariante.

Enquanto Regras de ação tendem a levar a uma organização invariante da conduta e seguir passos invariantes para esta organização, embora a ação possa ser variável, as Operações Recursivas vão sendo construídas passo a passo em Situação e vão se apropriando de conhecimentos prévios dos Esquemas e de conhecimentos novos tomados pelo sujeito como necessários para o domínio de uma Situação. Elas não possuem compromisso com uma organização invariante da conduta, elas organizam esta conduta de uma forma que, no "aqui e agora", pareça mais conveniente.

⁶¹ As Operações recursivas carregam consigo um caráter misto: analógico e proposicional. Assim consideramos as Regras de Ação.

Não se constrói uma análise de dados independente de um contexto e, logo, de um conteúdo específico, portanto, é necessário apresentar um marco de referência para a análise de dados. O objetivo de nossa pesquisa é investigar a aprendizagem das nuances do conceito de Campo Eletromagnético, portanto, o primeiro passo tanto para a construção das Unidades de Ensino como para a análise do domínio do conhecimento subjacente a elas é o delineamento de um Campo Conceitual para este conceito. Isto é uma tarefa árdua e requer a união de especialistas em Física, Epistemologia e Teorias de Aprendizagem.

Percebe-se, portanto, a necessidade da realização de recortes e o primeiro deles é abordar o conceito clássico de Campo Eletromagnético. Este Campo Conceitual ainda é grande e, desta forma, o processo de definição do Campo Conceitual a ser trabalhado em sala de aula é, desta forma, uma das tarefas recorrentes na investigação proposta.

Este trabalho apresenta uma proposta inicial para o Campo Conceitual do Eletromagnetismo. Objetivamos, ainda, defender a tese de que as UEPS facilitam a Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Eletromagnético a partir das Equações de Maxwell para turmas cursando Física Geral e, possivelmente, para turmas de Ensino Médio ou de Pós-Graduação, realizando-se as adaptações de Física e de Matemática necessárias. Buscamos, também, descrever o potencial explanatório da proposta de Greca e Moreira (2002) e descrever a aquisição de conteúdos de Eletromagnetismo segundo esta proposta, algo inédito na literatura. A seguir, discutimos os resultados do trabalho.

5. RESULTADOS

Apresentamos, a seguir, os resultados de pesquisa. Os padrões de Aprendizagem têm apontando evidências da facilitação da Aprendizagem Significativa, tanto pela influência das atividades colaborativas presenciais como pela reestruturação do conteúdo segundo os princípios das UEPS.

Percebe-se, ainda, grande influência da interação entre alunos na conceitualização. Outra importante interação ocorre entre os alunos e o professor, mas esta é mais frequente quando os estudantes apresentam opiniões divergentes dentro do grupo. Algumas vezes, os alunos não conseguem explicitar tanto suas Operações de Pensamento e isto é natural de acordo com Vergnaud e é neste ponto em que entra o Professor. Ele pode servir como ajudante neste processo.

As UEPS foram implementadas, nos três estudos realizados, em contextos reais de sala de aula, isto é, o pesquisador era o próprio professor da disciplina. Este processo envolveu atribuição de notas aos estudantes das disciplinas e, naturalmente, as atividades de avaliação formativa tiveram peso na nota final dos estudantes.

Os alunos foram aprovados, em média, com nota 8. Nossa hipótese é a da menor evolução dos alunos já tomados como acima da média, melhora dos alunos considerados medianos e um grande salto com respeito aos alunos que são considerados como abaixo da média. Deve-se ressaltar, ainda, que não houve evasão da disciplina e houve bastante envolvimento dos alunos com o curso, inclusive daqueles com menor média. Isto aponta como bom indicador para implementação das UEPS.

Apresentaremos em seguida os resultados das análises das Operações de Pensamento realizadas pelos estudantes nos três estudos seguindo as perguntas de pesquisa. Discutiremos, ainda, os motivos de adotar a seguinte ordem.

- 1) Como ocorre a construção de possíveis Representações Internas e uso de possíveis Operações de Pensamento dos estudantes relativas ao Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?
- 2) É possível evidenciar a facilitação do domínio do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?
- 3) Qual o potencial explanatório da proposta de Greca e Moreira (2002) que integra Modelos Mentais e esquemas de assimilação?
- 4) Que possíveis Classes de Situações, quais Operações de Pensamento e quais Representações Externas podem ser enquadradas no Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético para orientação do Ensino em nível de Física Geral (graduação)?

A **primeira questão** foca no entendimento da construção de possíveis Representações Internas para aquisição do conceito de Campo Eletromagnético e nos conduz ao mecanismo de pesquisa aplicado. Nós trabalhamos a análise de dados

baseada nas teorias de Vergnaud e de Johnson-Laird. Ambos os autores definem formas distintas, mas complementares de Representação Interna do mundo externo. Enquanto Vergnaud enfatiza Representações associadas a ações na Memória de Longo Prazo, Johnson-Laird discute o problema da Representação associada a ações na Memória de Trabalho.

É possível considerar nosso estudo como uma investigação em Representação Interna de conceitos, pois nós levamos em conta a imersão da Representação em conteúdo de Física, correto ou não. Estes componentes primários são fundamentais à conceitualização e são conhecidos como Conhecimentos-em-ação. A Representação e o uso destes atributos requerem, fundamentalmente, a referência a aspectos problemáticos da realidade, a saber, situações.

Nossa tarefa fundamental é, então, estudar possíveis padrões de conduta cognitivos apresentados por estudantes quando enfrentam situações problemas a serem dominadas. Torna-se clara, portanto, a necessidade de se trabalhar com um Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético (Pantoja e Moreira, 2015).

$$C = (S, I, R),$$

onde S é o conjunto de *situações* tornando o conceito de Campo Eletromagnético útil e significativo, em outras palavras, as situações que fazem o sentido de Campo Eletromagnético útil e significativo. I são os *Invariantes Operatórios* (ou Conhecimentos-em-ação) associados ao conceito de Campo. R é a *Representação Externa* do conceito de Campo.

Quando dizemos *Representação Interna*, nos referimos a Representações privadas construídas internamente por sujeitos passíveis de serem, eventualmente, externadas⁶². Estas Representações são, em sua maioria, implícitas na ação, mas podemos expressá-las através de Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação construídos pelos sujeitos quando buscam o domínio de uma situação.

Um ponto a ser observado é a distinção entre *Representações Internas* das *Representações Externas*, que são vistas daquelas. Falando de outra forma, é um processo de mapeamento de uma Representação Interna em linguagem (simbólica ou analógica) e, sendo um mapeamento, há perdas no seu emprego. As Representações Externas, quando aceitas cientificamente, cumprem papel de modelos conceituais (Moreira, 1996).

⁶² É a partir destas que buscamos inferir possíveis Representações Internas. Não possuímos um “microscópio cognitivo” para olhar a cognição do estudante, portanto, o trabalho envolve inferências de possíveis padrões acerca de como ocorre o processamento de informação na mente do estudante. Mesmo que tivéssemos um microscópio cognitivo, ainda precisaríamos de uma teoria aproximativa para entender nossas observações. É bom que se destaque, novamente, nossa interpretação realista indireta. Construímos Modelos com certa correspondência com o real, mas que não objetivam copiar o real. Neste trabalho construímos modelos teóricos para tentar explicar o processamento cognitivo: estes modelos envolvem a descrição através de Esquemas e Modelos Mentais.

As pessoas representam internamente tanto Invariantes Operatórios como Situações e, por causa disto, nós delineamos a discussão entre Esquema - Situação. Os Esquemas são entendidos como Representações Internas carregadas de conceitualização. Esquemas também se adaptam a Situações de acordo com os conhecimentos-em-ação. O Esquema é uma totalidade dinâmica funcional (Vergnaud, 1996), então, ele pode ser adaptado a Situações, organiza a ação do sujeito e usa Regras de ação para representar Situações e os Invariantes Operatórios.

Fizemos um tratamento análogo para o trabalho com Modelos Mentais. Para representar uma Situação em uma Classe de Situações nova, o sujeito constrói Modelos Mentais e se apropria dos Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação e usa Operações Recursivas para representar a Situação e os Invariantes Operatórios dos Esquemas. Modelos Mentais se adaptam a Situações e são, também, totalidades dinâmicas funcionais, mas eles não organizam a conduta de forma invariante e estão sempre em constante mudança em função de serem construídos na memória de trabalho.

Um ponto negligenciado, em geral, pelas pesquisas, mas destacado por Vergnaud (1982) é o da influência das Situações na construção das Operações de Pensamento. Sendo os processos de Aprendizagem associados ao domínio de Situações, notadamente, abordamos diferentemente distintas classes de Problemas. Neste trabalho, levantamos quatro possíveis classes de Situações para a Eletrostática, quatro para a Magnetostática e quatro para a eletrodinâmica.

Dominar uma Situação equivale a fazer referência ao real e, a partir disso, construir inferências. Tais inferências são influenciadas por objetos da Situação. Estes objetos podem ser elementos, parâmetros, variáveis, etc. Estes objetos podem modificar as formas pelas quais os Objetivos são percebidos pelo sujeito, os Conhecimentos-em-ação selecionados e, portanto, as Regras de Ação (no caso dos Esquemas) ou as Operações Recursivas (no caso dos Modelos Mentais) são construídas. Como consequência, as inferências podem ser modificadas.

Analisando isto de maneira descuidada, poderíamos entender não haver regularidade alguma no domínio de Situações, no entanto, este caráter de modificação que dá o caráter adaptativo das Operações de Pensamento realizadas sobre as Representações Internas do sujeito. Mas como descrever estes objetos?

A princípio, toda Situação envolve elementos aos quais é necessário estabelecer referência. Estes elementos estão relacionados e, em geral, possuem certo nível de correspondência com o mundo externo, mas não necessariamente. Determinar os níveis de Energia de um Sistema em uma barreira de Potencial é, por exemplo, um problema que, em nenhum momento, fez referência a algum aspecto do mundo externo⁶³, por exemplo, mas é um problema Potencialmente Significativo a um Físico teórico.

⁶³ Embora possa ser usado para tal. Vide trabalho com filmes finos em Mecânica Quântica.

Em Eletromagnetismo estes elementos podem envolver bastões carregados, ímãs, motores elétricos, usinas hidrelétricas, pelos erçados por um canudo carregado, uma descarga elétrica em um carro, etc. Ao mudar estes elementos, em geral, as inferências mudam, mas quando se trata de um Esquema, o estudante ainda organiza a conduta de forma invariante frente a uma classe de Situações ou estabelece critérios para organizar a conduta de forma semelhante quando se depara com problemas que ele entende como parecidos.

Existem, ainda, parâmetros e variáveis relacionando estes elementos nas Situações. Variáveis são aspectos descritivos dos elementos e das relações entre os elementos. Pode ser a Carga Elétrica, a Força Elétrica decorrente da ação do Campo Elétrico, o Campo Magnético criado por um ímã, a Corrente Elétrica induzida em um Circuito de Corrente, etc.

Os parâmetros são dados da Situação. Podem ser os valores dessas variáveis como, por exemplo, os valores dado para Carga Elétrica, Campo Elétrico, Força Elétrica. Estes parâmetros podem ser, também, literais como, por exemplo, uma densidade de carga elétrica do tipo $\rho = \frac{\rho_0 r}{a}$ onde r pode ser uma distância de um ponto em uma esfera à sua origem, ρ_0 a densidade de carga elétrica na posição $r = a$ e a , o raio da esfera.

No caso de um Modelo Mental, a mudança de elementos impõe uma mudança radical na construção. Os trabalhos de Guisasaola et al. (1998) costumeiramente afirmam que os estudantes resolvem “problemas cotidianos” de uma forma e “problemas escolares” de outro. Olhando sob o prisma epistemológico da influência das Situações na conceitualização, elas deixam de ser virtualmente iguais em complexidade e a mudança de elementos leva os alunos a demonstrarem certos vieses cognitivos, por exemplo.

Delineamos, portanto, uma discussão entre Modelo Mental – Situação. O Modelo Mental é considerado uma Representação Interna cujos conteúdos são aproveitados de Esquemas prévios. Modelos Mentais permitem a tomada de Inferência e a produção de Objetivos, mas se adaptam a Situações de forma mais flexível que os Esquemas. A diferença principal nos Modelos Mentais e nos Esquemas são *Operações Recursivas* que reconstroem o Modelo Mental quando o sujeito detecta inconsistência⁶⁴ neste ou quando o sujeito se frustra tentando aplicar um Esquema para uma determinada Situação.

O maior problema dessas Operações Recursivas é o de elas serem implícitas, assim como as Regras de Ação, no entanto, as últimas são flexíveis somente quando mudamos os parâmetros ou elementos de Situações ou quando modificamos levemente as Situações. As Regras de Ação não podem adaptar um Esquema a uma Situação na qual não há Conhecimento-em-ação para resolvê-la.

⁶⁴ A rigor, os Modelos Mentais não possuem conhecimentos-em-ação também, mas os emprestam dos Esquemas de Assimilação, possibilitando, assim, a conceitualização.

Para entender a Aprendizagem dos estudantes, foi necessária, portanto, a reconstrução dos possíveis passos dados por eles quando dominavam Situações. Tentamos identificar lacunas fundamentais nas ações cognitivas dos estudantes para entender como eles construíram ou trabalharam com Modelos Mentais ou Esquemas de Assimilação (ibid).

Durante as aulas o professor usa diversas Operações de Pensamento e verbaliza algumas destas. Nestas, estão muitos Conhecimentos-em-ação. Quando o aluno não consegue assimilar e acomodar estas ideias diretamente ao seu Esquema, ele constrói um Modelo Mental com conhecimento disponível em algum dos Esquemas ou com conhecimento recém-aprendido em sala através da verbalização do professor, relacionado de alguma forma à sua Estrutura Cognitiva e que serão usados em Situação.

Trata-se, portanto, de entidades bastante distintas. Para discutir metaforicamente, vamos considerar um estudante de Física dividindo seus livros em conteúdos de Mecânica Clássica, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Mecânica Quântica. Estas estantes estão nesta ordem (vertical ascendente) na parede de seu quarto. Suponhamos que a organização dos seus estudos seja feita com base na ordem das estantes.

Obviamente os livros a serem coletados pelo estudante seguirão tal ordenamento, mas considerando ter ele três ou quatro em cada estante, em determinado dia ele pode tomar um livro diferente de cada estante na mesma ordem. Ou seja, no dia 1, ele coleta o livro *a* de Mecânica Clássica, o livro *b* de Termodinâmica, o livro *d* de Eletromagnetismo e o livro *c* de Mecânica Quântica. No dia 2, ele coleta o livro *b* de Mecânica Clássica, o livro *c* de Termodinâmica, o livro *a* de Eletromagnetismo e o livro *d* de Mecânica Quântica.

Ele sempre tomará os livros na mesma sequência de disciplinas (metáfora para organização da conduta), porém os livros coletados de cada uma delas podem ser diferentes (metáfora para a flexibilidade das Regras de ação). Um determinado livro tomado por ele depende da ocasião para a qual ele estuda (metáfora para a Situação). Esta sequência pode funcionar bem para uma prova sobre transformações gasosas, mas não funcionará bem para uma prova sobre a teoria de David Ausubel (metáfora para a classe de Situações).

O Esquema é, então, uma organização invariante da conduta para uma classe de Situações, mas isto não implica ser a conduta invariante. Esta depende fortemente das Situações, de uma determinada classe, interagentes com o Esquema. Contar dinheiro e contar pessoas enquadra-se na mesma classe de situações, mas pessoas não são iguais a dinheiro, os elementos mudam.

A metáfora para o Modelo Mental se trata de um estudante que não divida seus livros por estante. Ele toma um livro cá, outro lá, de uma ou de outra disciplina. Hoje seu estudo pode ser de Mecânica Clássica com o livro *b*, Termodinâmica com o livro *c*, Mecânica Quântica com o livro *d* e Eletromagnetismo com o livro *a*. Amanhã ele estuda Termodinâmica com o livro *d* e Mecânica Clássica com o livro *a*, toma emprestado de

um amigo o livro *b* de Eletromagnetismo e ainda pode coletar o livro ω de espiritismo, mesmo não sendo conhecida, até hoje, qualquer conexão deste com a Física.

A recursividade nos estudos pode ajudar o estudante de Física a se sair bem na prova de transformações gasosas, mas dependendo de sua intencionalidade, ele pode parar num centro espírita por influência de estabelecer relações entre o livro ω e os de Física⁶⁵ (metáfora para a interação entre classes de situações e modelos mentais). Sua conduta não é tão organizada como a do Esquema, mas o permite se adaptar a uma classe de Situações, mas não necessariamente de uma forma coerente com o conhecimento científico.

Modelos Mentais não representam condutas organizadas de forma invariante, mas eles podem vir a representá-las. Fica mais nítida, ainda, a variabilidade da conduta dependente fortemente, dentre diversos fatores, da percepção do aluno dos objetivos da Situação. Como são altamente flexíveis, podem dar origem a distintas Representações Internas capazes de estabelecer diferentes Operações de Pensamento.

A **segunda questão** é a organização da primeira. Respondê-la possibilita analisar o desenvolvimento de parte da Estrutura Cognitiva dos estudantes associada ao conceito de Campo Eletromagnético quando eles participaram de um curso de Eletromagnetismo construído como um conjunto de UEPS. Analisar as UEPS respondendo à segunda pergunta é importante, pois nos permite evidenciar se uma UEPS facilita a Aprendizagem Significativa ou não.

Para responder a esta pergunta, buscamos entender como os estudantes desenvolvem Estruturas Cognitivas através de aperfeiçoamento de Esquemas para lidar com classes de situações conhecidas e da construção de Modelos Mentais para lidar com novas classes de situações. Nós também estamos interessados na construção de Modelos Mentais para Situações conhecidas que necessitem da introdução de um novo conceito, como por exemplo, a explicação do *deslocamento ontológico* entre ação-à-distância e ação mediada por Campos (ibid).

Nós focamos, portanto, nosso estudo na: dinâmica do Esquema; construção de Modelos Mentais; adaptação do Esquema a partir da Assimilação e Acomodação de um Modelo Mental associado a ações ligadas a um conceito a ser aprendido por um estudante (Pantoja e Moreira, 2015).

Devemos ilustrar que os tipos de conduta descritos envolvem o conceito de Aprendizagem Significativa. A suave variação dos Esquemas está associada a Situações previamente dominadas pelos estudantes e a construção radical de Modelos Mentais evidencia alta capacidade de adaptação a novas Situações.

Um Esquema ou Modelo Mental é sempre endereçado a uma situação, então nós apelidamos os Esquemas e Modelos Mentais dos estudantes com um índice geral e

⁶⁵ Estas relações são privadas. Ressaltamos, novamente, não haver qualquer relação conhecida entre Física e Espiritismo.

distinguimos entre entes. Existem Esquemas muito parecidos e Esquemas muito distintos. Alguns dos esquemas abordam as Situações usando um conjunto de Conhecimentos-em-ação e Regras de ação, enquanto outros usam outros, mas ambos são possivelmente coerentes com o conhecimento cientificamente aceito⁶⁶.

Alguns alunos usam conhecimentos alternativos (concepções alternativas – entendidas como conhecimentos-em-ação) construídos a partir de Aprendizagem Significativa, mas incorretos a partir do ponto de vista da Ciência (ibid.). Certos conhecimentos-em-ação, alternativos ou não, são fundamentais para a caracterização de um Esquema ou de um Modelo Mental, pois compõem seu núcleo (Greca e Moreira, 2002).

A **terceira questão** traz elementos da primeira e da segunda questão nas suas respostas. Se nós queremos analisar o poder da proposta de Greca e de Moreira (2002), nós devemos estudar se ela apresenta claramente as representações construídas pelos estudantes e se ela se enquadra na descrição das suas memórias de trabalho e de longo prazo.

Para responder à primeira questão, nós delineamos a descrição de Esquemas e Modelos Mentais achados na pesquisa. Descrevemos os Esquemas como uma *organização invariante da ação para uma dada classe de situações* e etiquetamos os passos tomados pelos estudantes na conceitualização. Nós também distinguimos entre eles, uma vez que há partes nas quais eles distinguem radicalmente tanto epistemologicamente como ontologicamente. Isto é suficiente para descrever como estudantes representam internamente o conhecimento (ibid.)

Para responder à segunda questão nós traçamos a evolução com o tempo do número de estudantes que aderiram a um Esquema ou construíram um Modelo Mental para dominar uma situação. Nós mostramos como a frequência de estudantes adotando um Esquema ou Modelo Mental varia ao longo das UEPS. Isto torna possível identificar se as UEPS facilitam a aprendizagem de conhecimento cientificamente aceito.

Para responder à terceira questão, nós analisamos o uso contínuo de Modelos Mentais em para uma determinada classe de Situações. É uma resposta complicada de se dar, uma vez que não há na literatura um número definido garantindo a estabilização de um Modelo Mental em um Esquema. Adotamos como parâmetros para a descrição desta mudança a consideração do conhecimento prévio como organizado em Esquemas e o uso contínuo de uma Representação Interna como evidência de um Modelo Mental estável⁶⁷.

⁶⁶ No caso de estudantes usarem invariantes operatórios associados aos conceitos de Campo Elétrico e de Potencial Elétrico.

⁶⁷ Existe uma lacuna entre a construção de um Modelo Mental estável e um Esquema. O Modelo Mental estável se apropria de Conhecimentos-em-ação e os “mobiliza” para dominar uma Situação sem a preocupação de organizar esta ação de forma invariante, já um Esquema possui este compromisso.

Para responder à **quarta questão**, foi preciso conhecer as respostas das três perguntas anteriores, onde nos preocupamos em discutir operações de Pensamento empregadas pelos estudantes.

Apresentamos neste trabalho as Classes de Situações às quais os Esquemas e Modelos Mentais são endereçados e as possíveis Representações Internas adotadas pelos estudantes. Alguns exemplos de Operações de Pensamento são trazidos para ilustrar como fizemos as inferências dos Esquemas e Modelos Mentais.

Pareceu mais lógico na pesquisa, ir da análise das Operações de Pensamento dos estudantes à inferência de padrões para estas em certas classes de Situações e, finalmente, apresentar estes resultados no sentido reverso. Em outras palavras, apresentamos as Representações Internas usadas pelos alunos e, em seguida, destacamos como eles as usam em situação, isto é, colocamos em jogo as Operações de Pensamento.

Em seguida discutiremos os Esquemas e Modelos Mentais apresentados pelos estudantes apresentando um exemplo demonstrando o emprego destas representações internas (que dão origem às Operações de Pensamento para dominar Situações) nas classes de situações do Eletromagnetismo.

Apresentamos, ainda, uma convenção a ser seguida daqui em diante: *os Teoremas-em-ação* serão apresentados em itálico, *os Conceitos em ação* em itálico e negrito. Colocamos em negrito os dizeres **SE** e **ENTÃO** associados a Regras de Ação e Operações Recursivas. É uma forma de destacar os elementos das Representações Internas e das Operações de Pensamento.

5.1. Possíveis Esquemas e Modelos Mentais apresentados pelos alunos relativos às classes de Situações trabalhadas e suas Representações

A seguir, apresentamos as possíveis Representações Internas usadas pelos alunos no domínio de Situações Problema apresentadas ao longo das UEPS (das quais surgem as Operações de Pensamento). É importante frisar ser este o passo inicial para a constituição de um Campo Conceitual mais completo do Campo Eletromagnético. A classificação de Situações também o é. Neste trabalho relacionamos quatro grandes classes de Situações: *Descrição de interações entre objetos*, *Representação Analógica de Campos*, *Representação Simbólica de Campos* e *Cálculos de Campos*.

Os Modelos Mentais não possuem a relação de organização invariante da conduta, obviamente pelo seu *status* de Representação Interna de Curto Prazo. Eles são mais irregulares, mas ainda se baseiam em um conjunto de Conhecimentos-em-ação. Quando se estabilizam em Esquemas, se tornam menos dinâmicos⁶⁸ e já fazem referência a classes mais gerais de Situações e tendem a sofrer menos interferência de elementos das Situações, pois já estabelecem uma organização invariante da conduta.

⁶⁸ Reiteramos novamente não serem os Esquemas entidades ancilosas. Nos referimos ao uso de distintos Modelos Mentais para o domínio de Situações dentro da mesma classe.

Os Esquemas possuem uma relação de organização invariante da conduta, obviamente pelo seu *status* de Representação Interna de Longo Prazo. Eles são mais regulares e se baseiam em um conjunto de Conhecimentos-em-ação. Quando se adaptam, o fazem com respeito a parâmetros da Situação, mas a percepção da mesma é em termos da percepção da Classe. É uma conceitualização mais ampla não necessariamente aceita cientificamente.

Dividimos a discussão de acordo com as Classes de Situações apresentadas. Uma breve discussão sobre a caracterização das Situações é feita em cada uma das seções e para não tornarmos o trabalho mais extenso do que já está, adotaremos os seguintes critérios na apresentação dos exemplos:

- Se apresentarmos um exemplo de determinado tipo de possível Representação Interna é porque pelo menos uma ocorrência da Representação Interna foi encontrada ao longo dos três estudos. Os Modelos Mentais e Esquemas são conjecturais e construídos com base em um raciocínio que não necessariamente é retomado ao longo das respostas em distintas UEPS;
- Se não apresentarmos possíveis Modelos Mentais ou possíveis Esquemas exemplificando uma dada Representação Mental, é porque nossa classificação é meramente propositiva. Esta relação de possíveis Representações Internas (dando origem às possíveis Operações de Pensamento) tenciona ser uma proposta introdutória ao Campo Conceitual do Campo Eletromagnético e, portanto, não se compromete em esgotar as Representações Internas possíveis;
- Preocupamo-nos, em especial, nos estudos II e III em apresentar duas a três Situações diferentes somente em parâmetros. Esta decisão foi tomada para corroborar o caráter do conhecimento prévio contido em Esquemas. Quando assinalamos como Esquemas as Representações Internas nas atividades de sondagem de Conhecimento Prévio, baseamo-nos em duas evidências: a de o conhecimento prévio estar alocado na Estrutura Cognitiva na forma de conhecimentos de longo prazo e de as Operações de Pensamento serem organizadas de forma mais ou menos invariante.

Conceito de Campo de Interações (de maneira geral)

Na UEPS de Campo, foi possível mapear três grandes classes de Situações, a saber, *Descrição de Interações Físicas (I)*, *Representação Analógica do Campo (A)* e *Representação Simbólica do Campo (S)*. As Situações apresentadas podem se enquadrar dentro de uma ou de mais de uma classe, no entanto, podemos entender o domínio do conceito de Campo como associado ao domínio destas três classes de Situações.

Descrição de interações Físicas (I)

As Situações desta Classe requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à Interação ocorrente entre Objetos Físicos gerando Campos que medeiam a Interação. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever a forma pela qual interagem, via Campo, Objetos

diferentes e como será a dinâmica dos objetos de prova. Apresentaremos dois exemplos distintos e aplicaremos o critério estabelecido aqui para a descrição.

“Considere que, por alguma razão, todos os planetas e estrelas sumissem e permanecesse somente a Terra no universo. a) O que você afirmaria sobre a Força Gravitacional? b) E sobre o Campo Gravitacional? Justifique”

O primeiro ponto nesta questão é a necessidade do estabelecimento de referência à Interação ocorrente entre Objetos. Ao invés de perguntar sobre a Dinâmica dos objetos, pergunta-se sobre a descrição da grandeza descritiva da Interação, bem como sobre o mecanismo pelo qual interagiria. A maneira pela qual foi apresentada enfatiza a Interação entre Objetos e visa entender se os alunos distinguem entre Campo Gravitacional e Força Gravitacional. Outro bom exemplo pode ser apresentado abaixo.

“Nesta atividade, você irá modelar a Interação de um objeto de massa m (um apagador de quadro negro, por exemplo) e a Terra de massa M . Suponha que ele caia de uma altura $h = 1,70m$, partindo do repouso. Suponha que você queira computar a influência do Campo Gravitacional da Lua, além da influência do Campo Gravitacional da Terra sobre o apagador. Que alterações você adotaria no Modelo?”.

Os elementos mudam nesta Situação, porém ainda é preciso descrever como o Campo Gravitacional exerce influência sobre objetos. Aqui temos, no entanto, a presença de três objetos, com dois deles criando Campos Gravitacionais que exercem Força Gravitacional sobre o objeto de massa m , a saber, a Terra e a Lua. Ainda é necessário estabelecer referência aos Objetos interagentes (Massa m , Terra de massa M e Lua de massa M_L). É preciso reiterar ser a Interação Gravitacional, aplicar o princípio de Superposição dos Campos Gravitacionais para conhecer o Campo Gravitacional resultante no espaço e, a partir disto, tomar inferências sobre a Dinâmica do objeto.

Para descrever as Interações ocorrendo entre Objetos físicos, ou seja, para fazer referência à Interação entre Objetos, é preciso:

- a. Identificar Objetos interagentes;
- b. Identificar a interação ocorrendo entre objetos;
- c. Aplicar a lei de interação;
- d. Descrever a dinâmica dos objetos interagentes.

Certas vezes, foi possível observar condutas organizadas de forma invariante e certa estabilidade na descrição. Identificamos um Esquema para descrever a Interação entre Objetos quando, nesta ordem, os estudantes *identificam Objetos relevantes* para o estudo e então *identificam a Interação entre eles*. Em seguida *aplicam a lei de interação para estudar a dinâmica dos Objetos* e, finalmente, *descrevem como a evolução temporal do sistema ocorre*.

O passo c é epistemologicamente e ontologicamente mais importante, porque é este ponto que distingue entre as Representações Internas inferidas. Seguindo esta ideia nós os descrevemos em termos da conceitualização dos estudantes sobre o conceito de

Campo. Apresentamos cinco possíveis Representações Internas encontrados neste estudo para descrever as interações entre Objetos.

I.1. – Descrever interações sem incluir o conceito de Campo na conceitualização

O Esquema apresenta nos seus ingredientes os conceitos-em-ação de **Força**, **Energia**, **Interação** e **Objetos**. Ele permite ao estudante o confronto com Situações incluindo **Campos Estacionários** (os Campos Gravitacional, Eletrostático e Magnetostático clássicos), porque nestas situações nós não temos atraso na interação, então tudo pode ser descrito com as leis de Newton, Coulomb ou de Biot Savart.

O Esquema organiza a conduta de descrição de Interações através da sequência: **1)** Identificar Objetos interagentes; **2)** Identificar a interação ocorrendo entre objetos; **3)** Aplicar a lei de interação (*ausência de Campo, trocas de energia são instantâneas, Campo é matemático*); **4)** Descrever a dinâmica dos objetos interagentes. As Regras de ação levam de uma etapa a outra de forma organizada de forma invariante.

O Modelo Mental se apropria dos conhecimentos-em-ação do Esquema para o domínio de uma Situação, mas não tem compromisso com esta organização. O Modelo Mental é tratado como eficiente para a resolução da Situação. O estudante dirige a sua conduta de maneira desorganizada, mas não arbitrária à descrição de Interações.

Incluimos nesta possível forma de Representação Interna todas as explicações que não usavam o conceito de Campo para explicar interações. Estudantes usam o conceito de Força, uma vez que para eles o conceito de Campo é supérfluo. Martin e Solbes (2001) acharam resultados semelhantes para os estudantes pesquisados por eles, mas cremos ir um passo além à luz da proposta de Greca e Moreira (2002).

Os teoremas-em-ação mais fundamentais e descritivos ao Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- **Força e Campo são ontologicamente idênticos;**
- **Forças são exercidas instantaneamente à distância;**
- **Trocas de Energia entre objetos são instantâneas;**
- **Objetos possuem Energia.**

Nós devemos destacar que o uso de um Esquema ou de um Modelo Mental deste tipo é um Obstáculo Epistemológico como destacado por Bachelard (1996) para o domínio de situações envolvendo Indução Eletromagnética ou Propagação de Ondas Eletromagnéticas. Este Esquema, portanto, pode ser entendido como um Obstáculo Epistemológico para o domínio do conceito de Campo em Física. Para superar esta dificuldade é necessária a construção de um Modelo Mental para descrever Interações Físicas usando o conceito de Campo.

Exemplo de Esquema:

Estudante F (Estudo II – Tarefa I – Campo – Questão II)

Situação: Se a Força da Gravidade age sobre todos os corpos em proporção às suas massas, por que um corpo pesado não cai mais rapidamente que o corpo leve?

Objetivos: descrever interações físicas;

Conhecimentos-em-ação: *Campos e Forças são as mesmas coisas* $\Rightarrow F = \frac{GmM}{r^2}$ é a força gravitacional exercida sobre uma massa m pela massa M \Rightarrow A **Força resultante** é o produto da massa de um objeto pela sua **aceleração**.

Regras de Ação: SE os objetos interagentes são a Terra de massa M e um objeto com massa m , ENTÃO eles exercem Forças Gravitacionais uns sobre os outros. SE Campo e Força são as mesmas coisas, ENTÃO o Campo é supérfluo e não precisa ser considerado. Se $F = ma$ e $F = \frac{GmM}{r^2}$, então $a = \frac{GM}{r^2}$ (onde F é a Força exercida pela Terra em um objeto e a é a aceleração do objeto).

Inferências: $a = \frac{GM}{r^2}$.

Resposta do Estudante: “Ao observarmos um objeto suspenso na Terra, temos uma Força de Atração entre eles. Pela segunda lei de Newton, tal Força é a resultante do sistema, logo $F_g = ma \rightarrow \frac{GMm}{r^2} = ma \rightarrow a = \frac{GM}{r^2}$ ”

É possível apresentar indícios, neste exemplo, da organização da conduta tomada pelo estudante. Primeiro ele parece se atentar a um objeto suspenso na Terra e, portanto, interagindo com ela. Posteriormente, ele indica possível referência à Interação Gravitacional. Em terceiro lugar ele referencia a Lei de Interação e por último lugar, ele apresenta a aceleração para o objeto. Em nenhum momento ele parece usar o Campo Gravitacional.

I.2. – Descrever interações incluindo o conceito de Campo como uma entidade geral (I.2.)

Este Esquema apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de **Força**, **Energia Potencial**, **Interação**, **Objetos** e **Campo**. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo **Campos Estáticos** assim como o Esquema S.I.1 ou o Modelo M.I.1.

O Esquema organiza a conduta de descrição de Interações através da sequência: **1)** Identificar Objetos interagentes; **2)** Identificar a interação ocorrendo entre objetos; **3)** Aplicar a lei de interação (*Campo é Matemático, trocas de energia são não instantâneas, Campo é distinto da Força*); **4)** Descrever a dinâmica dos objetos interagentes. As Regras de ação levam de uma etapa a outra de forma organizada de forma invariante.

O Modelo Mental se apropria dos conhecimentos-em-ação do Esquema para o domínio de uma Situação, mas não tem compromisso com esta organização. O Modelo Mental é tratado como eficiente para a resolução da Situação. O estudante dirige a sua conduta de maneira desorganizada, mas não arbitrária à descrição de Interações.

Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- **Força e Campo** são categorias epistemologicamente distintas;
- **Força** está associada a uma **Interação** entre dois ou mais **Objetos**;
- **Campo** é uma representação matemática associada à ação de **Forças** sobre objetos localizados em pontos no **Espaço**, mas depende somente da **massa de fonte**;
- **Objetos** exercem **Forças** uns sobre os outros e o **Campo** descreve esta **Interação**;
- **Trocas de Energia** entre **objetos** não são instantâneas;
- **Objetos** possuem **Energia**;
- **Campos** transportam **Energia**;
- **Campos** se superpõem.

Incluimos no Esquema (Modelo Mental) todas as explicações dadas usando o conceito de Campo de forma ampla ou caracterizando-o como matemático (Pantoja e Moreira, 2015). Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo (configurando conhecimento prévio) e um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova.

Exemplo de Esquema:

Estudante B (Estudo II – Tarefa I – Campo – Questão III).

Situação: É comum dizer que quando se eleva um objeto a uma altura h acima da superfície da Terra ele adquire uma energia potencial gravitacional relativa à sua posição inicial. a) Mas será que o objeto realmente possui esta energia? b) Ou será que a Terra compartilha essa energia? c) Pensando em termos de Campo Gravitacional, dá para resolver esta dúvida? Como? d) Esta energia é modificada instantaneamente?

Objetivo: descrever Interações Físicas.

Conhecimentos-em-ação: **Força** está associada a uma **Interação** entre dois ou mais **Objetos** \neq **Campo** é uma representação matemática associada à ação de **Forças** sobre **objetos** localizados em pontos no **Espaço**, mas depende somente da **massa de fonte** \neq **Campos** transportam **Energia** \neq **Trocas de Energia** entre **Objetos** não ocorrem instantaneamente.

Regras de ação: **SE** há a Terra e outro Objeto interagindo e **SE** a Terra e o Objeto possuem Massa **ENTÃO** a Terra e o Objeto interagem através da Interação Gravitacional. **SE** eles interagem via Interação Gravitacional, **ENTÃO** há um Campo Gravitacional que matematicamente medeia a troca de Energia Potencial Gravitacional não compartilhada pelos corpos. **SE** os Objetos trocam Energia, **SE** a Energia está localizada no Campo Gravitacional, **ENTÃO** este Campo Gravitacional é responsável pela variação da Energia dos Objetos. **SE** esta Energia está no Espaço, **ENTÃO** ela não é modificada instantaneamente.

Inferências: Campo medeia uma interação não instantânea ocorrente entre dois corpos

Resposta do estudante: “Nem o objeto e nem a Terra possuem a Energia Potencial Gravitacional, pois o objeto largado na Terra interage por causa da Gravidade da Terra. Como essa interação existe fora da Terra o Objeto também é atraído. Acho que a Energia é modificada gradualmente”.

As evidências sugerem possivelmente a organização da conduta de forma invariante. O estudante identifica os Objetos (Objeto dado e Terra), em seguida identifica a Interação Gravitacional (Gravidade da Terra), aplica a lei de Interação (considerando a Interação como existente no Espaço) e depois descreve a dinâmica dos objetos (como possuindo Energia sendo variada gradualmente). A seguir apresentamos um exemplo de Modelo Mental.

Exemplo de Modelo Mental

Estudante A (Estudo II – Tarefa II – Campo – Questão III).

Situação: Considere que, por alguma razão, todos os planetas e estrelas sumissem e permanecesse somente a Terra, no universo. a) O que você afirmaria sobre a força gravitacional? b) E sobre o Campo Gravitacional? Justifique.

Objetivo: descrever Interações Físicas

Conhecimentos-em-ação: *Força está associada a uma Interação entre dois ou mais Objetos \neq Campo é uma representação matemática associada à ação de Forças em pontos no Espaço, mas dependente somente da massa de fonte.*

Operações Recursivas: **SE** existem Objetos massivos interagindo com a Terra e eles deixam de existir e **SE** a Força é uma Interação entre dois Corpos, **ENTÃO** a Força Gravitacional não existe. **SE** existem Objetos massivos interagindo com a Terra e eles deixam de existir e **SE** o Campo Gravitacional é uma representação associada à ação de Forças em pontos do espaço, mas dependente somente da massa de fonte, **ENTÃO** ele continua a existir.

Inferências: Em caso de não haver massa de prova, há Campo Gravitacional, mas não há Força Gravitacional.

Resposta do Estudante: “Ela [A Força Gravitacional] deixaria de existir, pois a Força em si não existe e sim, um corpo exerce Força em outro. O Campo Gravitacional continua existindo, pois podemos dizer que ele pertence à Terra, porém ele continua parado”.

De forma distinta ao exemplo dado ao Esquema, o aluno apresenta uma solução ao problema, substancialmente correta como resposta à pergunta, mas não organiza a ação de forma invariante. Ele identifica Objetos e aplica a lei de Interação. Em seguida continua abordando a lei de Interações.

I.3. – Descrever interações incluindo o conceito de Campo como um Fluido que medeia interações através do choque com outros Campos

Este Esquema apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força, Energia Potencial, Interação, Objetos e Campo*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Estáticos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais apresentados.

O Esquema organiza a conduta de descrição de Interações através da sequência: **1)** Identificar Objetos interagentes; **2)** Identificar a interação ocorrendo entre objetos; **3)** Aplicar a lei de interação (*Campo é um Fluido que troca energia com outros Campos, trocas de energia são não instantâneas, Campo é distinto da Força*); **4)** Descrever a

dinâmica dos objetos interagentes. As Regras de ação levam de uma etapa a outra de forma organizada de forma invariante.

O Modelo Mental se apropria dos conhecimentos-em-ação do Esquema para o domínio de uma Situação, mas não tem compromisso com esta organização. O Modelo Mental é tratado como eficiente para a resolução da Situação. O estudante dirige a sua conduta de maneira desorganizada, mas não arbitrária à descrição de Interações.

Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- **Força e Campo** são categorias ontologicamente distintas;
- **Força** está associada a uma **Interação** entre dois ou mais **Objetos**;
- **Campo** é um fluido associada à ação de **Forças** em outros Campos em pontos no Espaço, mas depende somente da **massa de fonte**;
- **Forças** são exercidas entre **Campos** que devolvem o efeito da **Interação** de volta para o corpo após a colisão;
- **Trocas de Energia** entre **objetos** ocorrem por transmissão contígua no Espaço;
- **Objetos** possuem **Energia**;
- **Campos** possuem e transportam **Energia**;

Incluímos nos possíveis Esquemas e nos possíveis Modelo Mental todas as explicações dadas usando o conceito de Campo seguindo um pensamento choquista-substancialista⁶⁹ (Pantoja e Moreira, 2015). Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo. Com o Modelo Mental o estudante pode enquadrar o conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova. Esta forma pode, no entanto, se estabilizar em um Esquema cientificamente alternativo, porém fruto de Aprendizagem Significativa.

Não percebemos evidência de Esquemas deste tipo. Conjecturou-se uma possível estabilização de Modelos Mentais deste tipo para alguns estudantes. Isto não garante, no entanto, a existência dos Esquemas. A possibilidade de encontrarmos um Esquema, em função de a UEPS de Campo ser muito pequena, seria identificando-os na primeira tarefa, na qual houve sondagem do conhecimento prévio.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante O (Estudo II – Tarefa III – Campo – Questão II)

Situação: Nesta atividade, você irá modelar um objeto de massa m (um apagador, por exemplo) sendo atraído pela Terra de massa M . Suponha que ela caia de uma altura $h = 1,70m$, partindo do repouso. Dados $G = 6,67 \times 10^{-11} Nm^2/kg^2$, $R_T = 6400km$, $M_T = 5,98 \times 10^{24}$. Sobre o Sistema Terra-apagador, modelado na atividade, responda:

⁶⁹ O pensamento choquista-substancialista (Bachelard, 1996), é aquele compreendendo os objetos do mundo (inclusive o espaço) como compostos de substâncias que se chocam. Os Campos seriam, portanto, substâncias que se chocam no Espaço e, como consequência, aceleram objetos.

Qual a massa enumerada como fonte do Campo Gravitacional? Qual a massa de prova enumerada para a interação? Como você explicaria a transferência de momentum e energia pelo Campo Gravitacional neste caso?

Objetivos: descrever Interações Físicas.

Conhecimentos-em-ação: m_p é a *massa de prova*, uma *massa muito pequena* \neq *Campos* possuem e carregam *Energia* \neq m_f é a *massa de fonte*, uma *massa muito maior que a massa de prova* \neq *Campo* é um fluido associado à ação de *Forças* em outros Campos em pontos no *Espaço*, mas depende somente da *massa de fonte* \neq *Forças* são exercidas entre *Campos* que devolvem o efeito da *Interação* de volta para o corpo após a colisão.

Operações recursivas: **SE** há uma interação entre dois objetos de massa m_f e de massa m_p , **SE** um ou dois objetos tem a massa muito pequena, então, esta deve ser a massa de prova. **SE** um ou dois objetos tem uma massa muito grande, **então** esta deve ser a massa de fonte. **SE** os dois objetos interagem, **ENTÃO** eles fazem através do Campo Gravitacional. **SE** ele o faz através do Campo Gravitacional que é um fluido, **SE** as Forças exercidas pelos Campos Gravitacionais, g_T que depende de M_T e g_L que depende de M_L , que colidem. **SE** $M_T \gg M_M$, **ENTÃO** $g_T \gg g_L$. **SE** seus Campos colidem, **ENTÃO** esta colisão altera o momentum do giz.

Inferências: O Campo Gravitacional da Terra exerce uma Força Gravitacional sobre o Campo Gravitacional do giz alterando seu momentum.

Resposta do Estudante: “Como fonte usamos a massa da Terra. Como massa de prova, a massa do giz. O Campo gerado pela Terra afeta o Campo do giz (muito menor) alterando o momentum do giz, fazendo ele cair”

Nesta tarefa, o estudante identifica objetos, identifica a interação, depois aplica a lei de interação, volta à identificação dos objetos e, por fim, retorna à descrição da dinâmica dos objetos (alteração do momentum do giz), o que pode indicar uma . Há, também, indícios do caráter choquista-substancialista do Campo no possível Modelo Mental.

I.4. – Descrever interações incluindo o conceito de Campo como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos

Este Esquema apresenta o Campo como uma entidade que existe e transporta a Energia de um corpo a outro. Entende o Campo existindo na região fora das fontes e é apenas um suporte para a transferência de Energia (Pantoja e Moreira, 2015).

O Esquema apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força*, *Energia Potencial*, *Interação*, *Objetos* e *Campo*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Estáticos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores.

O Esquema organiza a conduta de descrição de Interações através da sequência: **1)** Identificar Objetos interagentes; **2)** Identificar a interação ocorrendo entre objetos; **3)** Aplicar a lei de interação (*Campo é uma grandeza suporte para trocas de Energia, trocas de energia são não instantâneas, Campo é distinto da Força*); **4)** Descrever a

dinâmica dos objetos interagentes. As Regras de ação levam de uma etapa a outra de forma organizada de forma invariante.

O Modelo Mental se apropria dos conhecimentos-em-ação do Esquema para o domínio de uma Situação, mas não tem compromisso com esta organização. O Modelo Mental é tratado como eficiente para a resolução da Situação. O estudante dirige a sua conduta de maneira desorganizada, mas não arbitrária à descrição de Interações.

Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- *Força e Campo são distintas categorias;*
- *Força está associada a uma Interação entre dois ou mais Objetos;*
- *Campo é uma grandeza Física associada à ação de Forças sobre cargas de prova em pontos no Espaço, mas depende somente da carga de fonte;*
- *Forças são exercidas por Campos sobre Objetos;*
- *Campos realizam Trabalho sobre objetos;*
- *Trocas de Energia entre objetos não são instantâneas;*
- *Objetos possuem Energia;*
- *Campos transportam Energia, mas não a possuem;*
- *Campos se superpõem.*

Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo como um suporte para a transferência direta de Energia entre objetos (configurando conhecimento prévio). Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, mas parcialmente coerente com o conhecimento científico. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo como um transportador de Energia.

Assim como para a forma de conceitualização I.3, não percebemos evidência de Esquemas S.I.4. De forma análoga, a possibilidade de encontrarmos um Esquema, em função de a UEPS de Campo ser muito pequena, seria identificando-os na primeira tarefa, na qual houve sondagem do conhecimento prévio. Não conseguimos encontrar padrões de organização invariante de conduta no domínio de Situações em função das razões apresentadas.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante G (Estudo III – tarefa III – Campo – Questão II)

Situação: Nesta atividade, você irá modelar um objeto de massa m (um apagador, por exemplo) sendo atraído pela Terra de massa M . Suponha que ela caia de uma altura $h = 1,70\text{m}$, partindo do repouso. Dados $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$, $R_T = 6400\text{km}$, $M_T = 5,98 \times 10^{24}$. Sobre o Sistema Terra-apagador, modelado na atividade, responda:

Qual a massa enumerada como fonte do Campo Gravitacional? Qual a massa de prova enumerada para a interação? Como você explicaria a transferência de momentum e energia pelo Campo Gravitacional neste caso?

Objetivos: descrever Interações Físicas.

Conhecimento-em-ação: *Campos transportam Energia, mas não a possuem* |=| *Campo é uma grandeza Física associada à ação de Forças sobre cargas de prova em pontos no Espaço, mas depende somente da carga de fonte* |=| *Forças são exercidas por Campos sobre Objetos* |=| *Objetos possuem Energia.*

Operações recursivas: **SE** a Terra interage com o apagador, **ENTÃO** a maior massa será a massa de fonte e a menor massa será a massa de prova. **SE** considerarmos a Interação da Terra com o Objeto como descrita por uma Força Gravitacional e **SE** Campo Gravitacional é uma grandeza Física associada à ação de Forças sobre Cargas de prova em ponto do Espaço, mas depende somente da carga de fonte, **ENTÃO** existe a ação de uma Força Gravitacional sobre um objeto. **SE** Objetos possuem Energia, **SE** Campos transportam Energia, mas não a possuem e **SE** uma Força Gravitacional é exercida pela Terra sobre o apagador através do Campo Gravitacional, **ENTÃO** a Energia é transportada pelo Campo entre a Terra e o Apagador.

Inferências: A energia está localizada nos corpos, mas é transportada pelos Campos.

Resposta do Estudante: “A massa enumerada como fonte do Campo Gravitacional é a Terra e a massa de prova enumerada para a Interação é a massa do objeto (apagador). Como a massa do apagador está sendo colocada em prova, desconsiderando seu campo em função da interação do Campo com ele mesmo [o próprio objeto] (auto interação), então a Terra, através do Campo Gravitacional, transfere energia para o objeto fazendo-o entrar em movimento.”

Percebe-se que o estudante G enumera objetos e em seguida os caracteriza. Após isto, descreve a Interação Gravitacional, volta à caracterização dos objetos e, por fim, volta à Interação Gravitacional e descreve a Dinâmica. Vemos o caráter menos organizado da ação neste caso, o que ressalta o caráter tentativo dos Modelos Mentais.

I.5 – Descrever interações incluindo o conceito de Campo de acordo com o Modelo aceito de interação entre Partículas e Campos

Este Esquema apresenta o Campo como uma entidade que existe, possui Energia e a transporta pelo Espaço. Entende o Campo existindo também na região exterior às fontes, sendo o agente das trocas de momentum (Pantoja e Moreira, 2015).

O Esquema apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força*, *Energia Potencial*, *Interação*, *Objetos* e *Campo*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Estáticos* e *Campos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores.

A diferença entre Esquemas e Modelos Mentais tem sido exaustivamente discutida ao longo do trabalho. Apontamos estar no ponto *c* a diferença crucial entre o Esquema S.I.5 e os outros Esquemas. Quanto ao Modelo Mental, temos algo semelhante. Alguns conhecimentos-em-ação como, por exemplo, a associação do Campo à ação de Forças em pontos do espaço, caracterizam bem os Esquemas S.I.5 e M.I.5.

Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- **Força e Campo** são distintas categorias;
- **Força** está associada a uma **Interação** entre **Campos e Objetos**;
- **Campo** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças** sobre **cargas de prova em pontos no Espaço**, mas depende somente da **carga de fonte**;
- **Forças** são exercidas por **Campos** sobre **Objetos**;
- **Campos** realizam **Trabalho** sobre objetos;
- **Trocas de Energia** entre **objetos** não são instantâneas;
- **Objetos** possuem **Energia**;
- **Campos** possuem **Energia e Momentum** e os transportam pelo **Espaço**;
- **Campos** se superpõem.

Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo como um suporte para a transferência direta de Energia entre objetos (configurando conhecimento prévio). Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, coerente com o conhecimento científico. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo como um transportador de Energia.

Assim como para as formas de conceitualização anteriores, não percebemos evidência de Esquemas S.I.5. De forma análoga, a possibilidade de encontrarmos um Esquema, em função de a UEPS de Campo ser muito pequena, seria identificando-os na primeira tarefa, na qual houve sondagem do conhecimento prévio.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante C (Estudo II – Tarefa III – Campo – Questão II)

Situação: Nesta atividade, você irá modelar um objeto de massa m (um apagador, por exemplo) sendo atraído pela Terra de massa M . Suponha que ela caia de uma altura $h = 1,70\text{m}$, partindo do repouso. Dados $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$, $R_T = 6400\text{km}$, $M_T = 5,98 \times 10^{24}$. Sobre o Sistema Terra-apagador, modelado na atividade, responda:

Qual a massa enumerada como fonte do Campo Gravitacional? Qual a massa de prova enumerada para a interação? Como você explicaria a transferência de momentum e energia pelo Campo Gravitacional neste caso?

Objetivos: descrever Interações Físicas

Conhecimentos-em-ação: **Força e Campo** são distintas categorias; **Força** está associada a uma **Interação** entre dois ou mais **Objetos**; **Campo** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças** sobre **cargas de prova em pontos no Espaço**, mas depende somente da **carga de fonte**; **Forças** são exercidas por **Campos** sobre **Objetos**; **Campos** realizam **Trabalho** sobre objetos; **Objetos** possuem **Energia**; **Campos** possuem **Energia e Momentum** e os transportam pelo **Espaço**.

Operações recursivas: **SE** a Terra interage com o apagador, **ENTÃO** a maior massa será a massa de fonte e a menor massa será a massa de prova. **SE** considerarmos a Interação da Terra com o Objeto como descrita por uma Força Gravitacional e **SE** Campo Gravitacional é uma grandeza Física associada à ação de Forças sobre Cargas de prova em ponto do Espaço, mas depende somente da carga de fonte, **ENTÃO** existe a ação de uma Força Gravitacional sobre um objeto exercida pelo Campo Gravitacional. **SE** Objetos possuem Energia, **SE** Campos transportam Energia, e a possuem e **SE** uma Força Gravitacional é exercida pela Terra sobre o apagador através do Campo Gravitacional, **ENTÃO** o Campo Gravitacional troca Energia com o Apagador.

Inferências: O Campo Gravitacional transfere Energia e Momentum para o apagador.

“A massa de fonte é a Terra. A massa de prova é o apagador. O Campo Gravitacional realiza trabalho sobre o apagador, transferindo momentum e energia para esse.”

Representação Analógica do Campo

Referimo-nos a Representações Analógicas do Campo como Representações feitas no sentido de guardar semelhança estrutural, visual e pictórica com a forma do Campo no Espaço, logo as Representações através de Diagramas de Seta e de Linhas de Campo satisfazem a este tipo de representação. Este ponto foi discutido no Referencial Teórico⁷⁰, caso haja alguma dúvida por parte do leitor.

Para dominar estas Situações, o Estudante precisa fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação ou informação sobre o Campo a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, a referência é estabelecida com respeito ao tamanho da Seta ou ao espaçamento entre as Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Associação de Vetores (ou Escalares no caso de Campos Escalares) a pontos do Espaço;
- d. Estabelecimento da Representação.

Apresentamos como exemplo de Problema nesta classe, a Situação abaixo:

“Uma placa retangular muito extensa, carregada eletricamente com carga negativa, gera um Campo Elétrico \vec{E} no espaço segundo a forma: $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{i}$. Como você poderia representar o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta?”

Para resolver este problema, o estudante estabelece referência às fontes de Campo Elétrico, a pontos do Espaço e associar Vetores a estes pontos, representando-os na forma de um Mapa. É um exemplo característico. Outras possíveis formas passam pela apresentação de uma fonte sem apresentar a Equação de Campo.

⁷⁰ Na página 41.

Pela novidade das Situações nas quais é preciso representar analogicamente o Campo, os alunos, em geral, não explicitavam tanto as etapas de realização deste processo, mas quando o faziam, em geral não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante. Desta forma, encontramos Modelos Mentais ao invés de Esquemas. Alguns Modelos Mentais em rota de estabilização.

Os Esquemas S.A.1 (Representar o Campo como existindo apenas no exterior das fontes) e S.A.2 (Representar o Campo como existindo no interior e no exterior das fontes) seriam diferentes na conceitualização, mas seguiriam uma organização da conduta semelhante, descrita pelos passos acima, a saber: 1) Identificação das Fontes de Campo; 2) Identificação de Pontos do Espaço; 3) Associação de Vetores (ou Escalares no caso de Campos Escalares) a pontos do Espaço; 4) Estabelecimento da Representação.

O que achamos, no entanto, são possíveis tentativas de construção das Representações Analógicas externas do Campo a partir de Representações Internas na forma de Modelos Mentais, a saber, os Modelos Mentais M.A.1 e M.A.2. Tendo discutido a diferença entre Modelos Mentais e Esquemas de maneira geral, apresentamos, a seguir estes possíveis Modelos Mentais e visamos justificar porque os entendemos desta forma.

Os Modelos Mentais e Esquemas para representação do Campo apresentam maior uniformidade que os para descrição de interações. Uma diferença fundamental entre elas é a representação do Campo dentro das fontes. Achamos desta forma dois Modelos Mentais candidatos à estabilização (Pantoja e Moreira, 2015).

O primeiro Modelo Mental (M.A.1) é uma possível Representações de Representações Internas considerando o Campo como existindo somente no exterior das fontes. Ele se apropria, algumas vezes, um Teorema-em-ação, classificando o Campo como um mero transferente de Energia (suporte para a transferência), desenvolvido pelos estudantes ao longo das tarefas e implicando na Operação Recursiva “SE o Campo transfere Energia entre objetos, ENTÃO ela existe apenas nestes objetos”.

Alguns estudantes, por outro lado, acreditam que o Campo pode apenas existir no exterior dos objetos, por existir no vácuo. Distinguimos os dois casos na descrição temporal, mas, por enquanto, estamos apenas preocupados em distinguir essas possíveis Representações Internas.

O segundo Modelo Mental, denominado M.A.2, é uma possível Representação Interna considerando o Campo como existindo tanto no interior como no exterior das fontes. Ele leva em conta a existência do Campo no espaço inteiro, incluindo o interior das fontes, então a Representação sempre se refere à região no interior das fontes. É mais adequado e completo que o Modelo Mental M.A.1.

Ambos os Modelos Mentais estão ligados, no entanto, a um conjunto de conhecimentos-em-ação (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, respectivamente).

Destes elementos, estudantes constroem Regras de Ação (Operações Recursivas) provisórias que permitem a criação de inferências com respeito às situações. O Objetivo fundamental destas situações é representar o Campo Analogicamente através de linhas de Campo e de Diagramas de seta. Os conhecimentos em ação são apresentados abaixo.

- a. *O Campo é uma função da distância medida da Fonte de Campo a um ponto no Espaço;*
- b. *O Campo é uma função da Carga de Fonte;*
- c. *A Carga de Fonte cria o Campo;*
- d. *Um vetor Campo está associado a cada ponto do espaço (definição de Campo Vetorial – uma função que associa um vetor a cada ponto do espaço);*
- e. *Intensidade do Campo é uma função da distância da Carga de Fonte a um ponto no espaço;*
- f. *A simetrias (reflexão espacial, translação espacial, rotação) das fontes implicam em simetrias para o Campo.*

A.1. Representar o Campo como existindo apenas no exterior das fontes

Este Modelo Mental representa adequadamente o Campo com apenas uma restrição: ele não representa o Campo no interior das fontes. Nós sabemos que o Campo existe em todo espaço, incluindo o interior das fontes. Nós apenas ignoramos o Campo no interior das fontes quando abordamos problemas incluindo partículas pontuais, uma vez ser existente uma singularidade no entorno de $r = 0$.

Exemplo de Modelo Mental:

Aluno J (Estudo II – Tarefa V – Campo – Questão III)

Situação: Um planeta esfericamente simétrico, com massa m distribuída uniformemente e raio R , gera um Campo Gravitacional \vec{g} , segundo a forma $\vec{g} = -\frac{Gm}{r^2}\hat{r}$ para pontos no seu exterior e $\vec{g} = -\frac{Gmr}{R^3}\hat{r}$ para pontos no seu interior. Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

Objetivo: Representar o Campo Gravitacional Analogicamente.

Conhecimentos-em-ação: *Campo é uma função de pontos no espaço* |=| *Um vetor Campo está associado a cada ponto do espaço* |=| *Intensidade do Campo é uma função da distância da Carga de Fonte a um ponto no Espaço.*

Operações recursivas: **SE** um objeto possui massa, **ENTÃO** ele cria Campo Gravitacional. **SE** o Campo Gravitacional é uma função de pontos no espaço e para cada ponto existe um vetor, **ENTÃO** é necessário associar um vetor em cada ponto do espaço. **SE** se deseja representar o Campo Gravitacional através de linhas de Campo Gravitacional, **ENTÃO** se deve desenhar uma linha tangenciando os vetores em todos os pontos |=| **SE** existe Campo Gravitacional no Espaço, **ENTÃO** ele existe somente fora das fontes. **SE** a intensidade do Campo Gravitacional diminui como função da distância, **ENTÃO** o comprimento das setas diminui com a distância.

Inferências: Figura 4

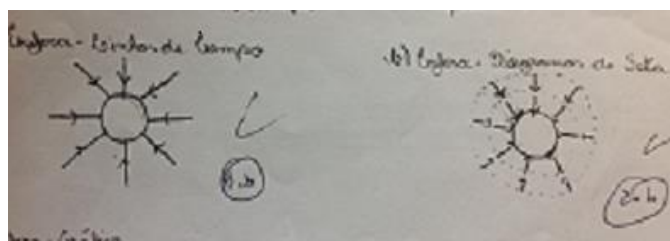


Figura 4: Representação do Campo de uma esfera

Seguindo as possíveis Operações Recursivas tomadas pelo aluno, ele identifica uma fonte de Campo Gravitacional. Em seguida, pelo desenho do diagrama de Setas, o estudante apresenta em linhas pontilhadas radiais (equivalentes às Linhas de Campo), setas de tamanhos dependentes da distância em diferentes pontos, aos quais associamos a Operação Recursiva incluindo o teorema-em-ação associado à ideia de Campo Vetorial. Após isto, o estudante apresenta o desenho com Linhas de Campo, de forma a terem seu espaçamento aumentado. Tudo isto é feito somente fora das fontes.

A.2. - Representar o Campo dentro e fora das fontes

O Modelo Mental ou o Esquema representa adequadamente o Campo sem restrições aparentes. Nós sabemos estar o Campo distribuído sobre todo o espaço, incluindo o interior das fontes, e isto pode ser associado a uma ideia de existência do Campo sobre todo o espaço tanto no interior como no exterior dos objetos geradores do Campo.

Exemplo de Modelo Mental:

Aluno D (Estudo II – Tarefa V – Campo – Questão III)

Situação: Um planeta esfericamente simétrico, com massa m distribuída uniformemente e raio R , gera um Campo Gravitacional \vec{g} , segundo a forma $\vec{g} = -\frac{Gm}{r^2}\hat{r}$ para pontos no seu exterior e $\vec{g} = -\frac{Gmr}{R^3}\hat{r}$ para pontos no seu interior. Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

Objetivo: Representar o Campo Gravitacional analogicamente.

Conhecimentos-em-ação: *Campo é uma função de pontos no espaço* \mid *Campo é gerado por Fontes* \mid *Intensidade do Campo é uma função da distância da Carga de fonte a um ponto no espaço* \mid *Campo é simétrico com respeito às fontes* \mid *Campo existe no interior das Fontes.*

Operações recursivas: **SE** temos massa, **ENTÃO** temos Campo Gravitacional. **SE** o Campo Gravitacional é uma função de pontos no espaço e para cada ponto existe um vetor, **ENTÃO** é necessário desenhar um vetor em cada ponto do espaço. **SE** se deseja representar o Campo Gravitacional através de linhas de Campo Gravitacional, **ENTÃO** se deve desenhar uma linha tangenciando os vetores em todos os pontos \mid **SE** existe no Espaço, **ENTÃO** ele existe dentro e fora das fontes. **SE** a intensidade do Campo Gravitacional diminui como função da distância no exterior, **ENTÃO** o comprimento das setas diminui com a distância.

Inferencias: Figura 5.

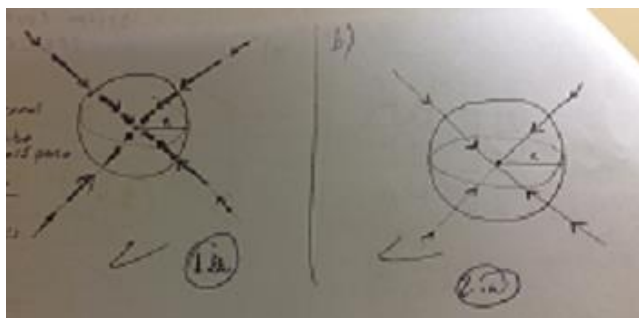


Figura 5: Representação do Campo no interior da esfera

Representar o Campo Simbolicamente (S)

Referimo-nos a Representações Simbólicas como Representações feitas no sentido de guardar semelhança funcional, abstrata e de simbolismo com a forma do Campo no Espaço, portanto, as Representações através de Equações de Fluxo e de Circulação ou outros tipos de relação entre variáveis se enquadra neste tipo de Representação. Este ponto também foi discutido no Referencial Teórico.

As possíveis Representações Internas (Esquemas e Modelos Mentais) para Representar Simbolicamente o Campo diferem um pouco das possíveis Representações Internas (Esquemas e Modelos Mentais) para Representar Analogicamente o Campo por causa de um novo fator, a saber, a introdução dos conceitos de Fluxo e de Circulação. Distinguímos, basicamente, entre quatro classes de possíveis Modelos Mentais⁷¹ e estes são apresentados após a explicação seguinte sobre esta classe de Situações.

Para dominar estas Situações, os estudantes precisam fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação ou informação sobre o Campo a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto na representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, refere-se à percepção do tamanho da Seta ou do espaçamento das Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Mapeamento do Significado das Equações de Campo (de Fluxo e/ou de Circulação)
- d. Associação de Vetores a pontos do Espaço respeitando o passo c (ou não, no caso de não fazer referência às Equações de Campo);
- e. Estabelecimento da Representação Simbólica.

Apresentamos como exemplo típico de Situação desta Classe, a Situação abaixo:

⁷¹ Esta tarefa foi tomada, por razões plausíveis como o desconhecimento de análise vetorial, como nova aos estudantes e devido a alguns indícios deixados nas tarefas iniciais, entendemos que os estudantes não possuíam Esquemas para dominar tal classe de Situações.

“Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação a seguir: $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm$, e $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$. 1. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para predizer qualitativamente o Campo?”

Para dominar esta Situação, é preciso fazer referência ao Campo Gravitacional e descrevê-lo qualitativamente através das Equações de Fluxo e de Circulação. Neste caso a fonte do Campo Gravitacional é a Terra e o problema é aberto, ou seja, o estudante pode considerar tudo o que ache relevante para esta caracterização.

Pela novidade das Situações nas quais é preciso representar simbolicamente o Campo, os alunos, em geral, não explicitavam tanto as etapas de realização deste processo, mas quando o faziam, em geral não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante, assim como nas Situações da classe A. Desta forma, encontramos Modelos Mentais ao invés de Esquemas. Alguns Modelos Mentais, conforme já mencionado, estão em rota de estabilização.

S.1. – Representar o Campo Simbolicamente sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação

As possíveis Representações Internas associadas a esta ação cognitiva apresenta o Campo (Gravitacional) como uma função da fonte (massa) e dependendo da distância das cargas fonte (massas fonte) a pontos no espaço; entretanto menciona os conceitos de Fluxo e de circulação sem discuti-los.

Exemplo de Modelo Mental:

Aluno K (Estudo II – Tarefa VI – Campo – Questão I)

Situação: Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação abaixo $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm$, e $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para predizer qualitativamente o Campo?

Objetivos: Representar simbolicamente o Campo

Conhecimentos-em-ação: $\vec{g} = \vec{g}(m, \vec{r}, \rho) \mid = C_g \alpha \rho \mid = \vec{g} \neq C_g$

Operações Recursivas: **SE** o Campo Gravitacional depende de massa e da densidade, **ENTÃO** conseguimos descrevê-lo através dessas grandezas. **SE** a Circulação é uma variável integral e de caráter global e **SE** ela está associada ao Campo Gravitacional, **ENTÃO** ela pode ser não nula em algumas regiões. **SE** a Circulação depende da densidade, **ENTÃO** seus valores podem mudar no espaço conforme varia a densidade e **SE** o Campo Gravitacional depende da densidade, **ENTÃO** a Circulação é somente uma quantidade matemático e a descrição do Campo Gravitacional pode ser feita em termos de si mesmo.

Inferências: Circulação é uma grandeza meramente matemática e o Campo Gravitacional depende de parâmetros como massa e densidade.

Resposta do estudante: “Os aspectos relevantes variam de acordo com o propósito a que se refere o Modelo. Um Modelo do Campo Gravitacional bastante preciso pode levar em conta: a) morfologia do Planeta; distribuição de densidade do Planeta; movimento das marés. **A circulação do Campo, devido à**

distribuição de densidade não-homogênea e às irregularidades do planeta, vai ser diferente de zero para diversos pontos no Espaço.” [ênfase nossa]

S.2 - Representar o Campo Simbolicamente usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de linhas circulares fechadas

Estas possíveis Representações Internas representam matematicamente o Campo Gravitacional como uma função da massa e da distância da Fonte a um ponto do espaço. O Modelo também usa o conceito de Fluxo como um indicador da direção do Campo (e da massa como fonte do Campo). Ele considera, ainda, a circulação como um indicador de um Campo representado por linhas fechadas (Pantoja e Moreira, 2015).

Exemplo de Modelo Mental:

Aluno B (Estudo III – Tarefa VI – Campo – Questão I)

Situação: Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação abaixo $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm$, e $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para prever qualitativamente o Campo?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo

Conhecimentos-em-ação: o Fluxo Gravitacional, dado por $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} dS = -4\pi Gm$, dá informações sobre a orientação da componente normal do Campo Gravitacional $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$ dá informações sobre a orientação da componente tangencial do Campo Gravitacional.

Operações Recursivas: SE o Fluxo Gravitacional, dado por $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} dS = -4\pi Gm$, dá informações sobre a orientação da Componente normal do Campo Gravitacional e SE A Circulação Gravitacional $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$ dá informações sobre a orientação da Componente tangencial do Campo Gravitacional, ENTÃO o Campo Gravitacional da Terra possui linhas radiais..

Inferências: Figura 6

“Os aspectos relevantes para modelar o Campo Gravitacional da Terra são: a) Massa da Terra, b) Modo de distribuição desta massa, c) orientação do Campo Gravitacional. **Para calcularmos qualitativamente o Campo temos que ter conhecimento da área da Superfície que se calcula o Campo. Para cada Superfície escolhida, há um vetor perpendicular a ela.**” [ênfase nossa]

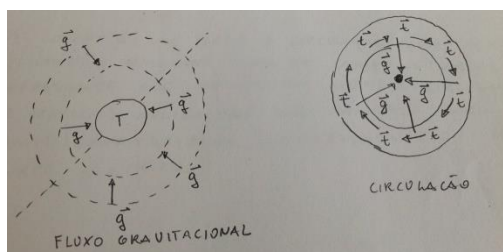


Figura 6: Ilustração usada pelo aluno B

S.3 - Representar o Campo Simbolicamente usando os conceitos de Fluxo como indicadores de fontes de Campo

Estas possíveis Representações Internas representam matematicamente o Campo como uma Função da fonte e da distância da Fonte a um ponto do espaço. O Modelo também usa os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de Fontes de Campo no espaço. O estudante se embasa na Equação de Fluxo ou na de Circulação estabelecer uma relação entre fonte e Campo.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante I (Estudo III – Tarefa VI – Campo – Questão I)

Situação: Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação abaixo $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm$, e $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para prever qualitativamente o Campo?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo

Conhecimentos-em-ação: *O Fluxo do Campo Gravitacional relaciona o Campo Gravitacional à massa* \neq *O Fluxo do Campo Gravitacional satisfaz ao princípio da Superposição* \neq *O Fluxo Gravitacional é uma grandeza global* \neq *A densidade descreve como a massa é distribuída no espaço.*

Operações Recursivas: **SE** o Fluxo do Campo Gravitacional relaciona o Campo Gravitacional à massa, **ENTÃO** a massa deve ser a fonte do Campo Gravitacional. **SE** o Campo Gravitacional depende da massa e **SE** a massa se distribui no espaço, **ENTÃO** sua descrição é dada pela densidade e o Campo Gravitacional deve depender dela. **SE** o Fluxo Gravitacional satisfaz ao princípio da Superposição e **SE** o Fluxo Gravitacional é uma grandeza global, **ENTÃO** ele deve depender da massa e resultar em uma “média” do Campo na Superfície.

Inferências: O Campo Gravitacional depende da massa.

“O Campo Gravitacional resultante no espaço é dado pelo princípio da superposição. Como cada massa cria um Campo Gravitacional no espaço, calculamos o Fluxo deste Campo que está relacionado com esta massa. Podemos considerar os aspectos relevantes do Campo Gravitacional da Terra, as variações de densidade, o efeito que as montanhas causam, a terra por apresentar uma forma esférica... O Fluxo, sendo uma grandeza física para explicar certos fenômenos, está relacionado a uma ‘média’ do Campo na Superfície.”

S.4. – Representar o Campo Simbolicamente identificando o conceito de Fluxo ao conceito de Campo

Este Modelo Mental representa o Campo Gravitacional como uma função da massa e da distância a um ponto do Espaço. Ele usa o conceito de Fluxo como similar ao de Campo, pois ele carrega consigo a ideia do Fluxo como uma função da massa e da distância de um ponto do espaço à fonte.

Exemplo de Modelo Mental:

Aluno D (Estudo II – Tarefa VI – Campo – Questão I)

Situação: Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação abaixo $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm$, e $\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0$. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para prever qualitativamente o Campo?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo

Conhecimentos-em-ação: *Campo é função de ponto* \Rightarrow *Campo Gravitacional depende da massa* \Rightarrow *Fluxo do Campo Gravitacional é dado por $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} dS = -4\pi Gm$ e varia conforme a distância à fonte.*

Operações Recursivas: SE o do Fluxo Gravitacional apresenta sinal, ENTÃO ele apresenta orientação. SE o Fluxo Gravitacional varia conforme a distância à fonte, diminuindo com o aumento desta, ENTÃO o Fluxo e o Campo são funções orientadas de ponto e devem ser ontologicamente iguais.

Inferências: O Fluxo Gravitacional é igual ao Campo Gravitacional.

Resposta do estudante: “Quanto à equação de Fluxo $\oint \vec{g} \cdot \hat{n} dS = -4\pi Gm$, nos diz que a intensidade do Fluxo varia a uma taxa negativa de $4\pi Gm$, e o sinal negativo nos informa que a intensidade cresce à medida que nos aproximamos da fonte do Campo, melhor dizendo, ele [o Fluxo] é orientado de fora para dentro”

Após descrever e exemplificar as Representações Internas dos estudantes (Esquemas e Modelos Mentais) e exemplos de como lidam com as Situações Representadas por eles de acordo com estes Esquemas e Modelos Mentais (Operações de Pensamento), descreveremos este processo quando o conteúdo é Eletrostática.

Conceito de Campo Elétrico

Nas UEPS de Campo Elétrico, foi possível mapear quatro grandes classes de Situações, a saber, *Descrição de Interações Elétricas* (I.E), *Representação Analógica do Campo Elétrico* (A.E), *Representação Simbólica do Campo Elétrico* (S.E) e *Cálculo do Campo Elétrico* (C.E). As Situações apresentadas podem se enquadrar dentro de uma ou de mais de uma classe, no entanto, podemos entender o domínio do conceito de Campo Elétrico como associado ao domínio destas quatro classes de Situações.

Descrever Interações Elétricas (I.E)

As Situações desta Classe requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à Interação ocorrente entre Objetos Eletricamente Carregados e em repouso. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever a forma pela qual interação, via Campo Elétrico, dois portadores de Cargas Elétricas e como será a dinâmica de um objeto de prova. Apresentaremos três exemplos distintos e aplicaremos o critério estabelecido aqui para a descrição.

“Considere um anel de raio R , carregado com carga Q , colocado sobre o plano (x, y) de um sistema de coordenadas cartesianas, de modo que todos os pontos deste anel estejam dispostos sobre esse plano. Considere a introdução de um elétron a uma distância h da origem do sistema de coordenadas, sobre o eixo z deste, de tal modo que $h \ll R$. Com que frequência angular oscila este elétron ao longo do eixo z ? Como é possível reconciliar este fato com o de que em Eletrostática as fontes de Campo Elétrico devem estar em repouso?”

Nesta questão, o primeiro ponto é identificar os Objetos Interagentes, a saber, o anel e o Elétron. Depois é preciso fazer referência à Interação Elétrica. Aplica-se, após conhecer o Campo Elétrico a Lei de Lorentz, ou a de Coulomb, dependendo do tipo de conceitualização. Em seguida, é necessário realizar uma aproximação e identificar o

caráter de Força Elétrica restauradora. Há um aspecto problemático sobre o conceito de Campo, envolvendo uma aparente contradição. Ao longo dos resultados, haverá novos exemplos.

Para descrever as Interações Elétricas, ou seja, para fazer referência à Interação entre dois portadores de Carga Elétrica, é preciso:

- a. Identificar Cargas Elétricas interagentes;
- b. Identificar a interação ocorrendo entre objetos como de natureza elétrica;
- c. Aplicar da lei de Interação (Lei de Lorentz $F = qE$ ou Lei de Coulomb $F = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho}{r^2} dV$);
- d. Descrever a dinâmica dos objetos interagentes.

Certas vezes, foi possível observar condutas organizadas de forma invariante e certa estabilidade na descrição. Identificamos um Esquema para descrever a Interação Elétrica quando os estudantes organizam suas Operações de Pensamento de forma invariante para uma mesma classe de Situações.

O passo c é epistemologicamente e ontologicamente mais importante, porque é este ponto que distingue as possíveis Representações Internas encontradas. Seguindo esta ideia nós os descrevemos em termos da conceitualização dos estudantes sobre o conceito de Campo. Apresentamos cinco Esquemas encontrados neste estudo para descrever as interações entre Objetos.

Enquanto o Esquema organiza a conduta de forma invariante e funciona na memória de longo prazo, o Modelo Mental funciona na memória de trabalho e organiza a conduta de uma forma variável. A meta do Modelo Mental é a eficiência no domínio da Situação, ou seja, o alcance entendimento das relações entre objetos da Situação e de uma Representação externa adequada desta.

I.E.1. – Descrever interações Elétricas sem usar o conceito de Campo Elétrico (I.1.)

O Esquema (Modelo Mental) apresenta nos seus ingredientes os (se apropriados) conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Energia Potencial Elétrica*, *Interação Elétrica* e *Cargas Elétricas*. Ele permite ao estudante explicar Situações incluindo *Campos Elétricos Estacionários*, porque nestas situações nós não temos atraso na interação, então tudo pode ser descrito com as leis de Newton e Coulomb.

Incluimos neste Esquema (Modelo Mental) todas as explicações que não usavam o conceito de Campo Elétrico para descrever interações. Estudantes usam o conceito de Força Elétrica, uma vez que para eles o conceito de Campo Elétrico é supérfluo. Martin e Solbes (2001), bem como Guisasola et al. (2008) acharam resultados semelhantes para os estudantes pesquisados por eles.

Os teoremas-em-ação mais fundamentais e descritivos deste Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- **Força Elétrica e Campo Elétricos são idênticos;**
- **Forças Elétricas são exercidas instantaneamente à distância;**
- **Trocas de Energia Potencial Elétrica entre objetos carregados eletricamente são instantâneas;**
- **Objetos carregados eletricamente possuem Energia.**

Este Esquema (Modelo Mental) é um Obstáculo Epistemológico como destacado por Bachelard (1996) para o domínio de situações envolvendo Indução Eletromagnética ou Propagação de Ondas Eletromagnéticas, conforme já falado anteriormente e reiteramos a posição. Este Esquema, portanto, pode ser entendido como um Obstáculo Epistemológico para o domínio do conceito de Campo em Física.

Os estudantes parecem apresentar, em geral, para o uso de Modelos Mentais M.I.E.1, pois quase sempre esta Representação Interna já está na forma de Esquema. Um exemplo é apresentado abaixo. O exemplo envolve o Campo Gravitacional, mas este aluno apresenta diversas vezes o mesmo Esquema para o Campo Eletrostático.

Exemplo de Esquema:

Estudante I (Estudo I – Tarefa VIII – Campo Elétrico – Questão I)

Situação: Na estória "a viagem ao centro da Terra", de Júlio Verne, um geólogo, chamado Otto Lidenbrock, e seu sobrinho Axel, realizam uma grande viagem ao centro da Terra e durante a aventura passam por diversos obstáculos. Sabe-se que este feito seria de extrema dificuldade. No entanto, imaginemos que, por algum mecanismo, conseguíssemos cavar um buraco muito grande que levasse de um lado ao outro da Terra. Com que frequência angular oscilaríamos se, por acaso, caíssemos neste buraco? As equações de Campo para a Gravitação são semelhantes às equações de Campo para a eletrostática e são dadas abaixo a seguir $\oint_V \vec{g} \cdot d\vec{l} = 0$ e $\oint_S \vec{g} \cdot \hat{n}dS = -4\pi Gm$.

Objetivos: Descrever Interações Elétricas (Transferência⁷² ao caso do Campo Gravitacional)

Conhecimentos-em-ação: $\frac{GMm}{R^2}$ \Rightarrow $F = ma$. \Rightarrow $a = -\omega^2 R$

Operações Recursivas: SE temos duas massas interagindo, ENTÃO, deve haver uma Interação Gravitacional. SE há Interação Gravitacional à distância, ENTÃO A Força $F = -\frac{GMm}{R^2}$ depende diretamente das massas. SE $F = ma$, então $-\frac{GMm}{R^2} = ma \rightarrow a = -\frac{GM}{R^2}$. SE $a = -\frac{GM}{R^2}$, ENTÃO $-\omega^2 R = -\frac{GM}{R^2} \rightarrow \omega^2 = \frac{GM}{R^3}$. SE o movimento é harmônico, ENTÃO há uma frequência angular para oscilação.

Inferências: O objeto desenvolve um movimento harmônico com frequência angular $\omega = \sqrt{GM/R^3}$

“ $F_g = ma \rightarrow F_R = F_g \rightarrow F_R = ma \rightarrow F_g = \frac{GmM}{R^2} \rightarrow \frac{GMm}{R^2} = -ma$, mas, no caso, $a = -\omega^2 R \rightarrow \omega^2 = \frac{GM}{R^3}$, portanto, $\omega = \sqrt{GM/R^3}$ ”

Ilustração da resposta do estudante:

⁷² Transferência, em Psicologia Educacional, significa a aplicação de determinado elemento de conhecimento em um contexto diferente daquele no qual é válido ou entendido como tal.

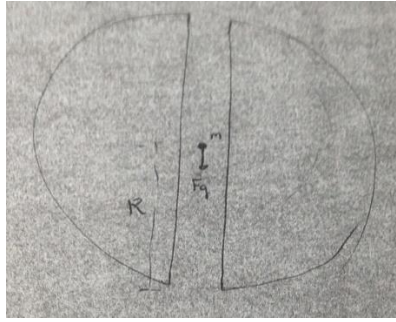


Figura 7: Representação esquemática do Problema feita pelo aluno I

I.E.2. – Descrever interações Elétricas usando o conceito de Campo Elétrico como uma entidade geral

Este Esquema (Modelo Mental) apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Energia Potencial Elétrica*, *Interação Elétrica*, *Cargas Elétricas*, *Campo Elétrico* e *Diferença de Potencial*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo tanto *Campos Dinâmicos* como *Campos Estáticos*. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Elétrica entre duas ou mais Cargas Elétricas;*
- *Campo Elétrico é uma representação matemática associada à ação de Forças Elétricas em pontos no Espaço, mas depende somente da Carga Elétrica de Fonte;*
- *Forças Elétricas são exercidas entre Objetos carregados eletricamente e o Campo Elétrico descreve esta Interação;*
- *Trocas de Energia Potencial Elétrica entre objetos não são instantâneas;*
- *Objetos carregados eletricamente possuem Energia;*
- *Campos Elétricos possuem Energia Potencial Elétrica;*
- *Campos Elétricos se superpõem.*

Incluimos no Esquema (Modelo Mental) todas as explicações dadas usando o conceito de Campo Elétrico de forma geral. Vale ressaltar nossa idealização do Modelo inspirada no trabalho de Pantoja e Moreira (2015). Um Esquema deste tipo está associado a uma conduta de longo prazo, enquanto um Modelo Mental pode indicar o enquadre do conceito de Campo Elétrico na descrição de Interações Elétricas de maneira ampla, sem aprofundamento da descrição ontológica do Campo Elétrico. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo Elétrico (Diferença de Potencial) na conceitualização.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante M (Estudo II – Tarefa V – Campo Elétrico – Questão I)

Situação: Compare a energia cinética ganha por um próton ($q = e$) com a energia cinética ganha por uma partícula alfa ($q = 2e$) colocadas entre duas placas paralelas carregadas, separadas por uma distância d , com densidades superficiais de carga σ de sinais contrários.

Objetivos: Descrever Interações Elétricas

Conhecimentos-em-ação: A variação da **Energia Potencial Elétrica** é igual ao negativo da variação de **Energia Cinética** $\Delta U = -\Delta K$ $|=|$ $q_\alpha = 2q_p = 2e$ $|=|$ A **Diferença de Potencial** é a **Diferença de Energia Potencial** por unidade de **Carga Elétrica de prova** $\Delta U = q\Delta V$

Operações Recursivas: SE as Cargas Estão em uma Diferença de Potencial, ENTÃO A **Diferença de Potencial** é a **Diferença de Energia Potencial** por unidade de **Carga Elétrica de prova** $\Delta U = q\Delta V$. SE A variação da **Energia Potencial Elétrica** é igual ao negativo da variação de **Energia Cinética** $\Delta U = -\Delta K$, ENTÃO a Diferença de Energia Potencial da partícula alfa é duas vezes maior, pois ela tem 2 vezes mais Carga Elétrica, e a Energia Cinética ganha por ela é duas vezes maior.

Inferências: $2\Delta K_p = \Delta K_\alpha$

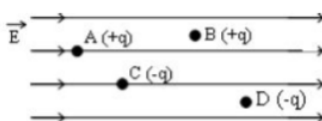
Resposta do Estudante: “ $\Delta V = \frac{\Delta U}{q} \rightarrow \Delta V q_0 = \Delta U \rightarrow \Delta U = \Delta K = -q_0 \Delta V$, então temos que $\Delta K = -\Delta V \cdot 2e$ e $\Delta K = -\Delta V \cdot e$. Então sabemos que ΔK é diretamente proporcional à carga, por isso a energia cinética ganha pela partícula $2e$ é o dobro da com carga e ”

Apresentamos abaixo um exemplo de Esquema, no qual podemos observar certa organização da conduta, mas apresenta um erro conceitual oriundo do emprego de um conhecimento-em-ação inadequado. O conhecimento prévio dos alunos pode estar inadequado na explicação dos fenômenos e a implicação disto é imediata, a da apresentação de dificuldades por parte dos alunos.

Exemplo de Esquema (com erro conceitual &):

Estudante I (Estudo III – Tarefa I – Campo Elétrico – Questões I, II e III)

Situações: Informações para as questões 1, 2 e 3: considere que os objetos A e B com carga $+q$ e os objetos C e D com carga $-q$ sejam postos em um Campo Elétrico uniforme, conforme a figura abaixo. Suponha que todos os objetos tenham a mesma massa e que a interação elétrica entre eles seja desprezível



1) Qual opção está relacionada ao movimento dos objetos após eles serem liberados? a) Os objetos A e B começam a se mover, mas os objetos C e D permanecem parados. b) Os objetos A e B ficam parados, mas os objetos C e D começam a se mover. c) Os objetos A e C começam a se mover, mas os objetos B e D permanecem parados. d) Todos os objetos começam a se mover.

2) Qual opção está relacionada à direção e ao sentido do movimento dos objetos? a) Os objetos A e B se movem na mesma direção e sentido do Campo Elétrico, os objetos C e D movem-se na mesma direção, mas sentido oposto ao do Campo Elétrico. b) Os objetos A e B permanecem parados e os objetos C e D se movem na mesma direção do Campo Elétrico, mas no sentido oposto. c) O objeto A se move na mesma direção e sentido do Campo Elétrico e o objeto C se move na mesma direção, mas no sentido oposto ao do Campo Elétrico. Os objetos B e D permanecem parados. d) Todos os objetos se movem na mesma direção e sentido do Campo.

3) Qual opção corresponde à forma de movimento dos objetos quando eles são liberados? a) Os objetos A e B aceleram, mas os objetos C e D permanecem parados. b) Todos os objetos se movem com velocidade constante. c) Os objetos C e D aceleram, mas os objetos A e B permanecem parados. d) Todos os objetos movimentam-se de forma acelerada.

Objetivos: Descrever Interações Elétricas

Conhecimentos-em-ação: *Objetos com cargas elétricas iguais se comportam da mesma forma* |=| *Cargas Elétricas negativas se movem no sentido oposto ao das Cargas Elétricas positivas na presença de um Campo Elétrico* |=| *Objetos eletricamente carregados somente se movem em cima das Linhas Campo Elétrico* (&) |=| *Campos Elétricos constantes movem Cargas Elétricas com velocidade constante* (&)

Regras de ação: **SE** há objetos em uma região de Campo Elétrico uniforme, **ENTÃO** estes objetos sentirão a ação de uma Força. **SE** a Força está associada ao Campo Elétrico, **ENTÃO** deve ser uma Força Elétrica. **SE** os Objetos são postos em cima de uma Linha de Campo Elétrico e **SE** Objetos eletricamente carregados somente se movem em cima das Linhas Campo Elétrico (&), **ENTÃO** os objetos C e D não sofrem Força Elétrica. **SE** o Objeto A é positivo e o Objeto B negativo, **ENTÃO** eles sofrem a ação da Força Elétrica em sentidos opostos. **SE** o Campo Elétrico é constante e **SE** Campos Elétricos constantes movem Cargas Elétricas com velocidade constante (&), **ENTÃO** todos os objetos se movem com velocidade constante, com A e B se movendo em sentidos opostos.

Inferências: A e B se movem em sentidos opostos com velocidade constante.

Resposta do Estudante: “[III] Os objetos A e B estão postos na linha do Campo Elétrico, por isso não sabe se os objetos C e D estão se movimentando. |=| [IV] Como o objeto A é positivo e o objeto B é negativo, eles se movem na mesma direção, mas em sentidos opostos. [V] Todos se movem com velocidade constante.”

Achamos interessante colocar este exemplo para discutir como um erro conceitual, ocasionado pela introdução de um conhecimento-em-ação externo ao núcleo do Esquema ou por condução inadequada de regras de ação pode moldar a conceitualização e evidenciar o caráter dinâmico destas Representações Internas quando processadas.

I.E.3. – Descrever interações Elétricas usando o conceito de Campo Elétrico como um Fluido mediando interações através do choque com outros Campos

Este Esquema (Modelo Mental) apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Energia Potencial Elétrica*, *Interação Elétrica*, *Objetos eletricamente carregados* e *Campo Elétrico*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Elétricos Estáticos* e *Campos Elétricos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais apresentados, porém de uma maneira incorreta de acordo com o conhecimento cientificamente aceito. Parece-se com a ideia de Interação contígua à distância. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Elétrica entre dois ou mais Objetos eletricamente carregadas;*

- **Campo Elétrico** é um fluido associado à ação de **Forças Elétricas** em outros **Campos Elétricos** em pontos no **Espaço**, mas depende somente da **Carga Elétrica de fonte**;
- **Forças Elétricas** são exercidas entre **Campos Elétricos** que devolvem o efeito da **Interação Elétrica** de volta para o **Objeto Eletricamente carregado** após a colisão;
- **Trocas de Energia Potencial Elétrica** entre **Objetos eletricamente carregados** ocorrem por transmissão contígua no **Espaço**;
- **Objetos Eletricamente carregados** possuem **Energia**;
- **Campos Elétricos** possuem e carregam **Energia Potencial Elétrica**;

Foram incluídas no Esquema (Modelo Mental) todas as explicações dadas usando o conceito de Campo Elétrico seguindo um pensamento Choquista-Substancialista (Pantoja e Moreira, 2015). Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo. Com o Modelo Mental o estudante pode enquadrar o conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova. Esta forma pode, no entanto, se estabilizar em um Esquema cientificamente alternativo, porém fruto de Aprendizagem Significativa.

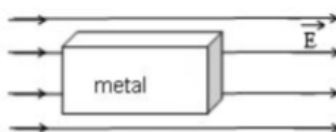
Não percebemos evidência da construção de Esquemas deste tipo, mas somente o uso do mesmo como conhecimento prévio à UEPS. Conjecturou-se uma possível estabilização de Modelos Mentais deste tipo para alguns estudantes. Isto não garante, no entanto, a existência dos Esquemas. A possibilidade de encontrarmos um Esquema, em função de a UEPS de Campo Elétrico ter sido mais extensa que a de Campo e em continuidade desta, era relativamente alta, caso a conduta tornasse a se repetir.

Em geral os estudantes começavam as UEPS de Campo Elétrico parecendo usar Operações de Pensamento equivalentes a Representações Internas de Campos Elétricos entendidos como fluidos⁷³. O aluno C usa a ideia da Gaiola de Faraday para se referir à ideia de que o Campo Elétrico não atravessa materiais. Se ele compreendesse a Gaiola de Faraday através de S.I.E.5 ou M.I.E.5, concluiria haver um vetor Deslocamento Elétrico no interior do isolante.

Exemplo de Esquema:

Estudante C (Estudo II – Tarefa I – Campo Elétrico – Questões VI, VII e VIII)

Situações: Informações para os itens 4,5 e 6: Um bloco metálico neutro é colocado em um Campo Elétrico (externo) uniforme representado pelas linhas de Campo conforme o diagrama abaixo.



⁷³ A concepção de fluido pode ter pequenas variações como, por exemplo, a tomada do Campo Elétrico como entidade material se chocando com outro Campo Elétrico, ou mesmo associando o Campo Elétrico ao “passe” através de um determinado material.

4) Qual das alternativas está relacionada ao Campo Elétrico no interior do bloco? a) O Campo Elétrico interno tem a mesma magnitude e direção do Campo Externo. b) O Campo Elétrico interno tem a mesma direção, mas é menor que o Campo Externo. c) O Campo Elétrico interno tem sentido oposto ao Campo Elétrico externo e é menor que este. d) O Campo Elétrico interno é nulo.

5) Considere que coloquemos, no lugar do bloco condutor, um bloco feito de madeira (isolante). Qual das alternativas está relacionada à descrição do Campo Elétrico no interior do isolante? a) O Campo Elétrico interno tem a mesma magnitude e direção do Campo externo. b) O Campo Elétrico interno tem a mesma direção e sentido, mas menor intensidade que o Campo externo. c) O Campo Elétrico interno tem mesma direção, mas sentido oposto e menor intensidade que o Campo externo. d) O Campo Elétrico interno é nulo.

6) Uma caixa metálica com uma carga positiva q em seu interior é colocada em um Campo Elétrico, conforme mostrado na figura abaixo. Desconsiderando a gravidade, qual das opções melhor descreve o movimento da carga? a) A partícula acelera na mesma direção e sentido do Campo Elétrico externo. b) A partícula acelera na mesma direção do Campo Elétrico externo. c) A partícula acelera na mesma direção, mas no sentido oposto ao do Campo Elétrico externo. d) A partícula permanece parada.

Objetivos: Descrever Interações Elétricas

Conhecimentos-em-ação: *Campos Elétricos não atravessam isolantes \neq Campo Elétrico se propaga como um fluido*

Regras de ação: [VII] **SE** temos um objeto na presença um Campo Elétrico, **ENTÃO** deve haver algum efeito sobre este objeto. **SE** o objeto é um isolante, **SE** Campo Elétrico se propaga como um fluido **SE** Campos Elétricos não atravessam isolantes **ENTÃO** o Campo Elétrico será nulo. **SE** o Campo Elétrico é nulo, **ENTÃO** nada acontece com o isolante.

Inferências: Nada acontece com o isolante, porque não há Campo Elétrico dentro dele.

“[VI] O bloco metálico fechado funcionará como uma gaiola de Faraday. [VII] Mesmo que menos condutor, o efeito da gaiola de Faraday ainda ocorrerá. [VIII] A gaiola de Faraday isolará a partícula”

I.E.4. – Descrever interações usando o conceito de Campo Elétrico como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre Objetos Eletricamente Carregados

Estas possíveis Representações Internas apresentam o Campo Elétrico como uma entidade que existe no Espaço e transporta a Energia de um Objeto Eletricamente Carregado a outro. Tal Representação Interna interpreta o Campo Elétrico existindo na região fora das fontes e é apenas um suporte para a transferência de Energia (op. cit).

O Esquema apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de **Força Elétrica**, **Energia Potencial Elétrica**, **Interação Elétrica**, **Carga Elétrica** e **Campo Elétrico**. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo **Campos Estáticos** assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- **Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;**
- **Força Elétrica está associada a uma Interação Elétrica entre dois ou mais Objetos eletricamente carregados;**

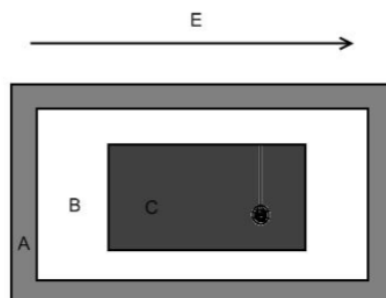
- **Campo Elétrico** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças Elétricas** sobre **Cargas Elétricas de prova** em pontos no **Espaço**, mas depende somente da **Carga Elétrica de fonte**;
- **Forças Elétricas** são exercidas por **Campos Elétricos** sobre **Objetos eletricamente carregados**;
- **Campos Elétricos** realizam **Trabalho** sobre **Objetos eletricamente carregados**;
- **Trocas de Energia** entre **Objetos Eletricamente carregados** não são instantâneas;
- **Objetos Eletricamente carregados** possuem **Energia**;
- **Campos Elétricos** transportam **Energia Potencial Elétrica**, mas não a possuem;
- **Campos Elétricos** se superpõem.

Através deste Esquema o estudante indica uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Elétrico como um suporte para a transferência direta de Energia entre Objetos eletricamente carregados. Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, mas parcialmente coerente com o conhecimento científico. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo como um transportador de Energia.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante A (Estudo II – Avaliação Somativa – Campo Elétrico – Questão II)

Situação: Um arranjo, semelhante ao exposto na figura 1, é composto de uma caixa de plástico oca com uma caixa condutora, no interior da qual há um pêndulo eletrostático (esfera carregada ligada por um fio isolante ao teto da caixa). A caixa é colocada no interior de um Campo Elétrico uniforme. Pede-se que: a) seja descrito o Campo Elétrico em todos os pontos do espaço. b) descreva o que ocorrerá com a bolinha



Objetivos: Descrever Interações Elétricas

Conhecimentos-em-ação: *Campos Elétricos* carregam *energia pelo espaço*, mas não a possuem \neq *Campos Elétricos* não atravessam *condutores* \neq *Campos Elétricos* atravessam pouco *isolantes* \neq *Campos Elétricos* exercem *Forças Elétricas* ($F = qE$) \neq *Carga Elétrica* cria *Campo Elétrico* \neq *Fluxo do Campo Elétrico* é dado pela lei de Gauss $\oint \vec{E} \cdot \hat{n}dS = \frac{q}{\epsilon_0}$

Operações Recursivas: SE a caixa A é isolante e a caixa B é condutora, ENTÃO Campos Elétricos externos atravessarão a caixa A (pois Campos Elétricos atravessam isolantes) e diminuirão no seu interior

e não atravessarão a caixa condutora em B (pois Campos Elétricos não atravessam condutores B). **SE** o Campo Elétrico externo interage com a caixa condutora externa exercendo uma Força $F = qE$ sobre os portadores de carga da caixa, **ENTÃO** ele move as cargas elétricas positivas no sentido do Campo Elétrico e as Cargas Elétricas negativas no sentido oposto. **SE** as cargas são redistribuídas, **ENTÃO** a caixa ficou polarizada e **SE** ficou polarizada, **ENTÃO** a caixa criará um Campo Elétrico que superpor-se-á ao Campo Elétrico externo ao sistema na região interior à caixa, anulando-o **SE** a bolinha está carregada no interior da caixa condutora, **ENTÃO** ela não sofrerá ação do Campo Elétrico e ficará parada.

Inferências: A bolinha fica parada no interior da caixa.

Resposta do Estudante: “Em A → como a caixa é de plástico, o Campo Elétrico passará pelo seu interior, mas a caixa não conduzirá ‘muita eletricidade’, pois o plástico é um mal condutor. Em B → O Campo Elétrico passará pelo interior da caixa, onde é constituído de vácuo, pois não é necessário um meio físico para transportar energia. Em C → Como esta caixa é condutora, o Campo Elétrico que passa pela sua superfície irá polariza-la. Este Campo não passará pelo seu interior”

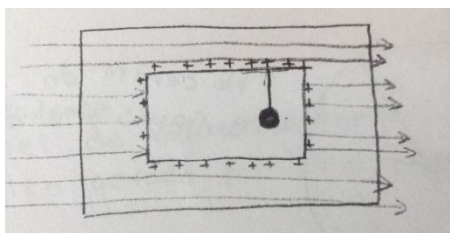


Figura 8: Representação esquemática usada pelo aluno A

I.E.5 – Descrever interações Elétricas usando o conceito de Campo Elétrico de acordo com o Modelo aceito de interação entre Partículas e Campos

Estas Representações Internas apresentam o Campo Elétrico como uma entidade que existe no Espaço, possui Energia Potencial Elétrica e a transporta pelo Espaço. Entende o Campo Elétrico existindo também na região exterior às fontes, sendo o agente das Forças (Pantoja e Moreira, 2015).

O Esquema apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de **Força Elétrica**, **Energia Potencial Elétrica**, **Interação Elétrica**, **Cargas Elétricas** e **Campo Elétrico**. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo **Campos Elétricos Estáticos e Campos Elétricos Dinâmicos** assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- **Força Elétrica e Campo Elétrico** são distintas categorias;
- **Força Elétrica** está associada a uma **Interação Elétrica** entre dois ou mais **Objetos Eletricamente Carregados**;
- **Campo Elétrico** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças Elétricas** sobre **Cargas Elétricas de prova** em pontos no **Espaço**, mas depende somente da **Carga Elétrica de fonte**;
- **Forças Elétricas** são exercidas por **Campos Elétricos** sobre **Objetos**;
- **Campos Elétricos** realizam **Trabalho** sobre objetos eletricamente carregados;

- *Trocas de Energia entre Objetos eletricamente carregados não são instantâneas;*
- *Objetos eletricamente carregados possuem Energia Cinética;*
- *Campos Elétricos possuem Energia e Momentum e os transportam pelo Espaço;*
- *Campos Elétricos se superpõem.*

Através de um Esquema deste tipo o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Elétrico como um suporte para a transferência direta de Energia entre objetos (configurando conhecimento prévio). Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, coerente com o conhecimento científico.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante D (Estudo I – Tarefa X – Campo Elétrico – Questão I)

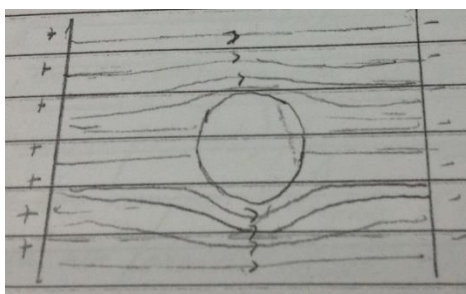
Situação: Mantendo-se um bastão carregado próximo de uma das pontas de um bastão metálico isolado sem cargas como na figura abaixo, elétrons são arrastados para uma das pontas, como mostrado. Por que o movimento dos elétrons é interrompido? Há, afinal, quase um inesgotável suprimento destes no bastão metálico.

Objetivos: Descrever Interações Elétricas

Conhecimentos-em-ação: *Os dipolos elétricos interagem com Campos Elétricos se alinhando a eles $|\Rightarrow$ Campos Elétricos se superpõem $|\Rightarrow$ Cargas Elétricas criam Campos Elétricos $|\Rightarrow$ as Linhas de Campo Elétrico saem das Cargas Elétricas positivas e dirigem-se para as Cargas Elétricas negativas.*

Operações Recursivas: **SE** os dipolos elétricos interagem com os Campos Elétricos e se alinham a eles, **ENTÃO** Estes Campos Elétricos exercem Forças Elétricas nos dipolos, mudando a distribuição dos dipolos. **SE** cargas elétricas criam Campos Elétricos cujas linhas de Campo Elétrico saem das Cargas Elétricas positivas e dirigem-se para as Cargas Elétricas negativas, **ENTÃO** o alinhamento dos dipolos com os Campos Elétricos cria um Campo Elétrico que se superpõe com o Campo Elétrico externo a alinhar os momentos de dipolo.

Inferências: O Campo Elétrico resultante é modificado no espaço pela contribuição do Campo Elétrico devido à polarização.

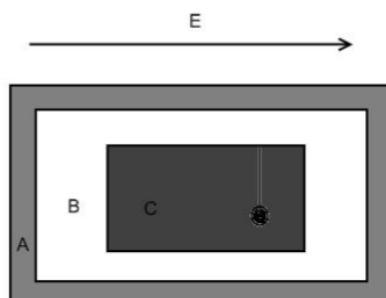


“A presença de um cilindro isolante ‘distorce’ as linhas de campo elétrico nas proximidades de sua superfície. A ‘distorção’ é provocada pelo alinhamento de dipolos induzidos devido à presença de um Campo Elétrico que altera a distribuição de carga no isolante.”

Exemplo de Esquema:

Estudante C (Estudo II – Avaliação somativa – Campo Elétrico – Questão II)

Situações: Um arranjo, semelhante ao exposto na figura 1, é composto de uma caixa de plástico oca com uma caixa condutora, no interior da qual há um pêndulo eletrostático (esfera carregada ligada por um fio isolante ao teto da caixa). A caixa é colocada no interior de um Campo Elétrico uniforme. Pede-se que: a) seja descrito o Campo Elétrico em todos os pontos do espaço. b) descreva o que ocorrerá com a bolinha



Objetivos: Descrever interações elétricas

Conhecimentos-em-ação: *Condutores em equilíbrio eletrostático blindam Campos Elétricos externos* \neq *Campos Elétricos exercem Forças Elétricas* ($F = qE$) \neq *Carga Elétrica cria Campo Elétrico* \neq *Fluxo do Campo Elétrico é dado pela lei de Gauss* $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$

Regras de ação: SE há um Campo Elétrico, uma caixa A condutora e uma caixa Isolante, ENTÃO há uma Interação entre Cargas Elétricas e Campo Elétrico a ser analisada caso a caso. SE a caixa A é isolante e B B é condutora, ENTÃO Campos Elétricos externos serão blindados pela B e polarizará a A. SE o Campo Elétrico externo interage com a caixa condutora externa exercendo uma Força $F = qE$ sobre os portadores de carga da caixa, ENTÃO ele move as cargas elétricas positivas no sentido do Campo Elétrico e as Cargas Elétricas negativas no sentido oposto. SE as cargas são redistribuídas, ENTÃO a caixa ficou polarizada. SE a caixa está em equilíbrio eletrostático e SE condutores em equilíbrio eletrostático blindam Campos Elétricos externos, ENTÃO a caixa criará um Campo Elétrico que superpor-se-á ao Campo Elétrico externo ao sistema na região interior à caixa, anulando-o SE a bolinha está carregada no interior da caixa condutora, ENTÃO ela não sofrerá ação do Campo Elétrico e ficará parada.

Inferências: A bolinha ficará parada

“O fato de A ser não condutor garante que esteja seja não eletrizado, deixando o Campo Elétrico manter sua direção e sentido normal à caixa C, todavia, formará um dipolo (lado afastado do pêndulo ficará negativo e o próximo positivo); logo, o campo dentro de C será nulo devido à Superposição dos Campos.

A região B terá um campo igual ao fora da caixa. A partícula ficará parada (assumindo que esteja inicialmente parada) pois o somatório das Forças Elétricas exercida pelo Campo Elétrico dá zero (lei da inércia)”

Representar Analogicamente o Campo Elétrico (A.E)

Referimo-nos a Representações Analógicas do Campo Elétrico como Representações feitas no sentido de guardar semelhança estrutural, visual e pictórica

com a forma do Campo Elétrico no Espaço, logo as Representações através Diagramas de Seta e de Linhas de Campo satisfazem a este tipo de representação. Este ponto foi discutido no Referencial Teórico e anteriormente na discussão do conceito de Campo de Interações.

Para dominar estas Situações, o Estudante precisa fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo Elétrico, ou seja, às Cargas Elétricas. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação (Lei de Gauss ou lei de Circulação) ou informação sobre o Campo a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, refere-se à percepção do tamanho da Seta ou do espaçamento entre as Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo Elétrico, isto é, Cargas Elétricas;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Associação de Vetores Campo Elétrico (ou Escalares no caso do Potencial Escalar) a pontos do Espaço;
- d. Estabelecimento da Representação do Campo Elétrico.

Como exemplo, apresentamos a questão abaixo que, a rigor, enquadrar-se-ia, também, na classe de Situações S, requerendo a Representação Simbólica do Campo Elétrico. Após o cômputo do Fluxo e idealização do problema, pede-se que o aluno Represente, através de um desenho, o Campo Elétrico no espaço.

“Qual o Fluxo do Campo Elétrico gerado por uma placa muito extensa, com densidade superficial de carga uniforme σ , através de uma superfície cilíndrica fechada de raio R cujo eixo longitudinal está orientado paralelamente a este Campo? Como você representaria a situação esquematicamente, isto é, através de um desenho?”

Pela novidade das Situações nas quais é preciso representar analogicamente o Campo Elétrico, os alunos, em geral, não explicitavam tanto as etapas de realização deste processo, mas quando o faziam, em geral não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante. Ao longo do tempo é natural ocorrer esta organização.

O primeiro tipo de possível Representação Interna (que pode ser um Modelo Mental ou um Esquema) A.E.1 é uma possível Representação Interna considerando o Campo Elétrico (com linhas radiais) como existindo somente no exterior das fontes. Os estudantes não apresentam qualquer tipo de Representação no volume das fontes, algo que nos induz à ideia da não existência do Campo Elétrico nestas regiões.

O segundo tipo de possível Representação Interna (que pode ser um Modelo Mental ou um Esquema), denominada A.E.2, é uma possível Representação Interna considerando o Campo Elétrico como existindo tanto no interior como no exterior das regiões onde haja Carga Elétrica. Ele leva em conta a existência do Campo Elétrico no espaço inteiro, incluindo o interior das fontes. É, conceitualmente, mais adequada e completa que a Representação Interna A.E.1.

Ambos as possíveis classes de Representação Interna estão ligados (Esquemas possuiriam e Modelos Mentais se apropriariam), no entanto, a um conjunto de conhecimentos-em-ação (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, respectivamente). Destes elementos, estudantes constroem Operações Recursivas (Regras de Ação) provisórias que permitem a criação de inferências com respeito às situações. O Objetivo fundamental destas situações é representar o Campo Analogicamente através de linhas de Campo e de Diagramas de seta. Os conhecimentos em ação são apresentados abaixo.

- a. *O Campo Elétrico é uma função da distância medida da Carga Elétrica a um ponto no Espaço;*
- b. *O Campo Elétrico é uma função da Carga Elétrica de Fonte;*
- c. *A Carga Elétrica de Fonte cria o Campo Elétrico no Espaço;*
- d. *Um vetor Campo Elétrico está associado a cada ponto do Espaço (definição de Campo Vetorial – uma função que associa um vetor a cada ponto do espaço);*
- e. *Intensidade do Campo Elétrico é uma função da distância da Elétrica a um ponto no Espaço;*
- f. *O Campo Elétrico é simétrico com respeito às distribuições de Carga Elétrica simétricas.*

A.E.1. – Representar Analogicamente o Campo Elétrico no exterior das Fontes

Este Modelo Mental representa adequadamente o Campo Elétrico com apenas uma restrição: ele não o representa no interior de distribuições contínuas de Carga Elétrica. Nós sabemos existir o Campo Elétrico em todo espaço, incluindo o interior das fontes e apenas o ignoramos no interior das distribuições de Carga Elétrica quando estas são pontuais. Abaixo temos um exemplo de Modelo Mental adotado por um dos estudantes. Além dos teoremas-em-ação apresentado acima, temos o que afirma: “*O Campo Elétrico existe no exterior das distribuições de Carga Elétrica*”.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante E (Estudo III – Tarefa II – Campo Elétrico – Questão II)

Situação: Qual o Fluxo do Campo Elétrico gerado por uma esfera carregada uniformemente com carga $-q$, através de uma superfície esférica de raio R ? Considere que o centro da superfície coincida com o da esfera carregada. Represente a situação esquematicamente.

Objetivos: Representar geometricamente o Campo Elétrico

Conhecimentos-em-ação: O Fluxo do Campo Elétrico depende de da Carga Elétrica no interior da Gaussiana $\Phi \propto q_G$ | *Linhas de Campo Elétrico entrando na superfície gaussiana e lá ficando indicam Fluxo de Campo Elétrico negativo.*

Operações Recursivas: SE $\Phi \propto q_G$ e SE Linhas de Campo Elétrico entrando na superfície gaussiana e lá ficando indicam Fluxo negativo de Campo Elétrico, ENTÃO As linhas entram radialmente na superfície contendo carga $-q$ e $\Phi < 0$.

Inferências: Figura 10

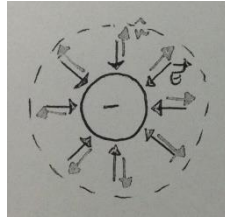


Figura 10: Representação Analógica estabelecida pelo aluno E

A.E.2. – Representar Analogicamente o Campo Elétrico no exterior e no interior das Fontes

Este Modelo Mental representa adequadamente o Campo sem restrições aparentes. Nós sabemos ser o Campo distribuído sobre todo o espaço, incluindo o interior das fontes e isto pode ser associado a uma concepção de existência do Campo sobre todo o espaço. Repare a designação de valor nulo para o Campo Elétrico no interior do condutor.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante T (Estudo I – Tarefa VIII – Campo Elétrico – Questão 4)

Situação: Como você expressaria em termos de a) gráficos, b) linhas de campo, c) diagramas de seta, d) equações de Campo, o Campo gerado por: Uma casca esférica não-condutora carregada; uma casca cilíndrica não-condutora carregada?

Objetivos: Representar Analogicamente o Campo Elétrico

Conhecimentos-em-ação: O Campo Elétrico no interior de um condutor é nulo \Rightarrow As linhas de Campo e os diagramas de Setas são não circulares (radiais) $\Rightarrow \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$.

Operações Recursiva: SE há uma casca esférica condutora Carregada, ENTÃO há um Campo Elétrico cujo Fluxo é dado por $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$. SE as linhas de Campo Elétrico e diagramas de seta apontam sempre em direções radiais e representam qualitativamente o Campo e SE as linhas de Campo não são representadas no interior do condutor, pois o Campo é nulo, ENTÃO o Campo Elétrico existe nas duas regiões, mas é nulo no interior do condutor.

Inferências:

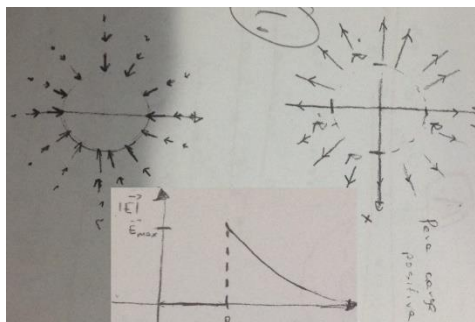


Figura 11: Representação Analógica do Campo Elétrico apresentada pelo aluno T

Representar Simbolicamente o Campo Elétrico (S.E.)

Referimo-nos a Representações Simbólicas como representações feitas no sentido de guardar semelhança funcional, abstrata e de simbolismo com a forma do Campo Elétrico no Espaço, portanto, as Representações através da Lei de Gauss e da Lei de Circulação ou outros tipos de relação entre variáveis se enquadra neste tipo de Representação.

As possíveis Representações Internas S.E (Representar Simbolicamente o Campo Elétrico) diferem um pouco das possíveis Representações Internas A.E (Representar Analogicamente o Campo Elétrico) por causa de um novo fator, a saber, a introdução dos conceitos de Fluxo e de Circulação na conceitualização. Distinguimos, basicamente, entre cinco classes de possíveis Modelos Mentais.

Para dominar estas Situações, os estudantes precisam fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação ou informação sobre o Campo a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, refere-se à percepção do tamanho da Seta ou do espaçamento das Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo Elétrico;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Mapeamento do Significado das Equações de Campo (Lei de Gauss e/ou de Circulação)
- d. Associação de Vetores a pontos do Espaço respeitando o passo c (ou não, no caso de não fazer referência conceitual às Equações de Campo);
- e. Estabelecimento da Representação Simbólica.

Como exemplo de Situação, apresentamos a que segue:

“Na lei de Gauss, $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, \vec{E} é necessariamente o Campo Elétrico atribuível à Carga Elétrica q ?”.

O ponto c fica evidente mais evidente na questão. É fundamental saber distinguir entre o Campo Elétrico resultante, o Fluxo do Campo Elétrico resultante e a Carga Elétrica no interior da Superfície Gaussiana. Os outros passos são fundamentais, porém o c, neste problema fica bastante evidente.

Pela novidade das Situações nas quais é preciso representar simbolicamente o Campo Elétrico, os alunos, em geral, não explicitavam tanto as etapas de realização deste processo, mas quando o faziam, em geral não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante, assim como nas Situações da classe A. Ao final da UEPS de Campo Elétrico já tínhamos candidatos a Esquemas.

Os teoremas-em-ação associados a um Esquema e usado por um Modelo Mental são arrolados abaixo:

- a. O **Campo Elétrico** é uma função da **distância** medida da **Carga Elétrica** a um ponto no **Espaço**;
- b. O **Campo Elétrico** é uma função da **Carga Elétrica de Fonte**;
- c. A **Carga Elétrica de Fonte** cria o **Campo Elétrico** no **Espaço**;
- d. Um **vetor Campo Elétrico** está associado a cada ponto do **Espaço** (definição de Campo Vetorial – uma função que associa um vetor a cada ponto do espaço);
- e. **Intensidade do Campo Elétrico** é uma função da **distância** da **Elétrica** a um ponto no **Espaço**;
- f. O **Campo Elétrico** é simétrico com respeito às distribuições de **Carga Elétrica** simétricas.
- g. O **Fluxo do Campo Elétrico** compõe uma das equações para descrever o Campo Elétrico;
- h. O **Fluxo do Campo Elétrico** é dado pela **Lei de Gauss**
- i. A **Circulação do Campo Elétrico** compõe uma das equações para descrever o Campo Elétrico;
- j. A **Circulação do Campo Elétrico** é nula
- k. A **Lei de Gauss** é dada por $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$;
- l. A **Lei de Circulação** do Campo Elétrico é dada por $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$;

S.E.1. – Representar simbolicamente o Campo Elétrico sem usar os conceitos de Fluxo ou de Circulação

A possível classe de Representações Internas associada a esta ação cognitiva apresenta o Campo Elétrico como uma função da fonte (Carga Elétrica) e dependente da distância das Cargas Elétricas de fonte a pontos no espaço, entretanto menciona os conceitos de Fluxo e de circulação sem discuti-los ou não faz referência aos mesmos. Os alunos usam as Equações de Campo Elétrico de forma mais operacional que conceitual.

Exemplo de Esquema:

Estudante O (Estudo II – Avaliação somativa – Campo Elétrico – Questão V)

Situações: Discorra sobre a lei de Gauss, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de circulação para a eletrostática (e esta ao conceito de Potencial Elétrico), bem como à lei de Coulomb.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Elétrico

Invariantes operatórios: $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$ | $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$

Regras de ação: SE possuímos um Objeto dotado de Carga Elétrica, **ENTÃO** ele cria um Campo Elétrico no Espaço. SE o Fluxo do Campo Elétrico é dado por $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, **ENTÃO** é possível calcular o Campo Elétrico a partir do seu Fluxo. SE a $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ e SE as equações de Campo determinam a forma do Campo Elétrico, **ENTÃO** a circulação é um parâmetro fundamental para determinar a forma do Campo Elétrico.

Inferências: A lei de Gauss é uma regra operacional para o cálculo do Campo Elétrico através do Fluxo e a Lei de Circulação é um parâmetro matemático caracterizando o Campo Elétrico

“A lei de Gauss é de muita importância na análise de Campo em certas superfícies. Elas nos ‘facilita a vida’, pois usa um infinitesimal de área dA ou (dS) (depende da notação), o que nos faz ter a ideia de um Campo uniforme dentro desta área, facilitando os cálculos. Determinadas Superfícies gaussianas fica mais fácil ver o comportamento da lei de Gauss se usamos a lei de Gauss (gaussiana fora de uma esfera muito pequena – puntiforme chegaremos à lei de Coulomb).”

S.E.2. – Representar Simbolicamente o Campo Elétrico fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou do de Circulação

Esta possível classe de Representações Internas representa simbolicamente o Campo Elétrico como uma função da Carga Elétrica e da distância da Fonte a um ponto do espaço. A possível representação também usa o conceito de Fluxo como um indicador da direção do Campo (e da massa como fonte do Campo) e considera, ainda, a circulação como um indicador de um Campo representado por linhas fechadas (Pantoja e Moreira, 2015).

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, os Esquemas (Modelos Mentais) deste tipo estão associados aos seguintes:

- O Fluxo Elétrico, por estar associado à Componente Normal do Campo Elétrico à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Elétrico;*
- A Circulação Elétrica, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Elétrico, indica se o Campo Elétrico tem padrão Circular;*
- O Fluxo Elétrico por ser não nulo indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- A Circulação Elétrica por ser nula indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante U (Estudo I – Tarefa VIII – Campo Elétrico – Questão III)

Situação: Considere um dipolo elétrico. a) Desenhe (e argumente sobre) pelo menos duas superfícies gaussianas diferentes através das quais o fluxo de campo elétrico seja nulo e duas através das quais o fluxo seja não nulo. b) Desenhe duas curvas diferentes mostrando que a circulação deste campo elétrico é nula.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Elétrico

Conhecimentos-em-ação: *o Fluxo do Campo Elétrico, $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = q_G$, descreve a diferença entre a quantidade de Vetores de Campo Elétrico entrando e saindo da Superfície Gaussiana |=| Campo Elétrico é criado por Carga Elétrica |=| Vetores de Campo Elétrico são tangenciais às Linhas de Campo Elétrico em cada ponto destas.*

Operações Recursivas: SE temos Cargas Elétricas no Espaço, ENTÃO temos Campos Elétricos. SE $\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = q_G$ descreve a diferença entre a quantidade de vetores de Campo Elétrico

apontando para o interior, a partir de fora, e para o exterior, a partir de dentro, da Superfície Gaussiana ENTÃO para $\Phi = 0$, a mesma quantidade de linhas de Campo que entram na Superfície, saem dela.

Inferências: Figura 12

“Superfície Gaussiana: barra vertical localizada no centro do dipolo. Essa superfície possui fluxo nulo, pois a mesma quantidade de Setas de Campo que ‘chegam’ pela Carga +, saem pela Carga -“.

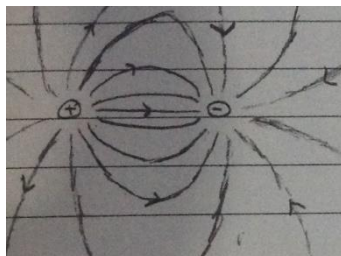


Figura 12: Representação esquemática usada pelo estudante U

S.E.3. – Representar Simbolicamente o Campo Elétrico fazendo referência às Fontes de Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação

Este possível tipo de Representação Interna representa Simbolicamente o Campo Elétrico como uma Função das Cargas Elétricas e da distância das Fontes a um ponto do espaço. A possível classe de Representações Internas também usa os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de Fontes de Campo no espaço.

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, os Esquemas (Modelos Mentais) deste tipo estão associados aos seguintes:

- O Fluxo Elétrico é um indicador de Cargas Elétricas no Espaço;*
- Campo Elétrico conservativo é criado por Carga Elétrica monopolar e tem Circulação nula*
- O Fluxo Elétrico por ser não nulo indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- A Circulação Elétrica por ser nula indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante K (Estudo II – Avaliação Somativa – Campo Elétrico – Questão V)

Situações: 5. Discorra sobre a lei de Gauss, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de circulação para a eletrostática (e esta ao conceito de Potencial Elétrico), bem como à lei de Coulomb.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Elétrico

Invariantes operatórios: $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$ $|\Rightarrow|$ $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ $|\Rightarrow|$ **Campo Elétrico** é criado por **Cargas Elétricas** $|\Rightarrow|$ *Fluxo do Campo Elétrico depende das Cargas Elétricas no interior da Gaussiana.*

Operações recursivas: SE há uma fonte de Campo Elétrico, isto é, uma **Carga Elétrica ENTÃO** há Campo Elétrico no Espaço. SE o Fluxo do Campo Elétrico é dado por $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, ENTÃO é possível entender o Campo Elétrico a partir do seu Fluxo. SE a Circulação é $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$, ENTÃO o Campo Elétrico é conservativo. SE o Campo Elétrico é conservativo, ENTÃO o trabalho realizado por ele independe da trajetória e depende da distância percorrida pela prova na Região de Campo Magnético.

Inferências: A lei de Gauss permite o entendimento do Campo Elétrico através do Fluxo e a Lei de Circulação descreve o Campo Elétrico como conservativo e associado a uma DDP.

“A lei de Gauss permite que se conheça o Campo Elétrico produzido por cargas distribuídas no Espaço. Pela lei de Circulação, temos que o Campo Elétrico é conservativo, e que um DDP entre dois pontos não depende de trajetória, mas é relacionado ao trabalho necessário para deslocar uma carga de prova entre duas Superfícies Equipotenciais.”

S.E.4. – Representar Simbolicamente o Campo Elétrico fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação

Este possível grupo de Representações Internas representa simbolicamente o Campo Elétrico como uma função das Cargas Elétricas e da distância da Fonte a um ponto do espaço e usa o conceito de Fluxo como um indicador da direção do Campo (e da massa como fonte do Campo). Ela apresenta, ainda, a circulação como um indicador de um Campo representado por linhas fechadas e estabelece a consideração do Fluxo e da Circulação como indicadores de Fontes de Campo Elétrico no Espaço (Pantoja e Moreira, 2015).

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, os Esquemas deste tipo estão associados aos seguintes conhecimentos-em-ação:

- a. *O Fluxo Elétrico, por estar associado à Componente Normal do Campo Elétrico à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Elétrico;*
- b. *A Circulação Elétrica, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Elétrico, indica se o Campo Elétrico tem padrão Circular;*
- c. *O Fluxo Elétrico por ser não nulo indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- d. *A Circulação Elétrica por ser nula indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes.*
- e. *O Fluxo Elétrico é um indicador de Cargas Elétricas no Espaço;*
- f. *Campo Elétrico conservativo é criado por Carga Elétrica monopolar e tem Circulação nula*
- g. *O Fluxo Elétrico por ser não nulo indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- h. *A Circulação Elétrica por ser nula indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante D (Estudo II – Avaliação Somativa – Campo Elétrico – Questão V)

Situação: Discorra sobre a lei de Gauss, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de circulação para a eletrostática (e esta ao conceito de Potencial Elétrico), bem como à lei de Coulomb.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Elétrico no Espaço

Conhecimentos-em-ação: Fluxo do Campo Elétrico, $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, depende das Cargas Elétricas no interior da Superfície Gaussiana e da Componente normal do Campo Elétrico $|\Rightarrow$ A Circulação do Campo Elétrico $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ depende da Componente tangencial do Campo Elétrico $|\Rightarrow$ Campo Elétrico é criado por Cargas Elétricas $|\Rightarrow$ Campo Elétrico é conservativo.

Operações Recursivas: SE temos Carga Elétrica em uma região do Espaço, SE Campo Elétrico é criado por Cargas Elétricas e SE Fluxo do Campo Elétrico, $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, depende das Cargas Elétricas no interior da Superfície Gaussiana e da Componente normal do Campo Elétrico, ENTÃO deve haver um Campo Elétrico no espaço com pelo menos uma componente normal (mesmo que seja nula) a uma Superfície Gaussiana escolhida. SE A Circulação do Campo Elétrico $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$ depende da Componente tangencial do Campo Elétrico, ENTÃO deve haver, também, pelo menos uma componente normal à curva. SE o Fluxo e a Circulação nos levam à ideia de que o Campo Elétrico deva ser não fechado, ENTÃO o Campo Elétrico é conservativo, gerado por Carga Elétrica e Radial.

Inferências: As Equações de Campo Elétrico descrevem as Fontes e a forma do Campo Elétrico no Espaço.

“A lei de Gauss é de suma importância para a teoria eletromagnética, pois nos permite conhecer campos elétricos de forma simplificada, aprofundando nosso conhecimento sobre a natureza elétrica. A lei de Gauss nos diz que o fluxo através de uma Superfície fechada que engloba uma distribuição de carga q é constante e vale q/ϵ_0 . $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$. Verifica-se que como se trata de um campo elétrico que é gerado por tal carga q , a lei de Gauss nos mostra que a natureza do campo elétrico é tal que as linhas de campo devem ter no mínimo uma componente que faz um ângulo de 90° com alguma superfície. Isso é uma consequência direta que a lei da circulação para um Campo Elétrico seja igual a zero, justamente, pois para um campo elétrico válido, devemos ter linha de campo somente transversais a uma linha fechada em volta do campo.”

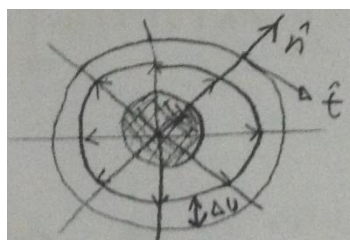


Figura 13: Representação esquemática usada pelo aluno E

S.E.5. – Representar Simbolicamente o Campo Elétrico identificando o conceito de Fluxo ou o de Circulação ao Campo Elétrico

A possível classe de Representações Internas (Modelos Mentais e Esquema) representa o Campo Elétrico como uma função da Carga Elétrica e da distância a um ponto no Espaço. Ela possui (no caso dos Esquemas) ou se apropria (no caso dos Modelos Mentais) os conceitos de Fluxo e de Circulação como similares ao de Campo

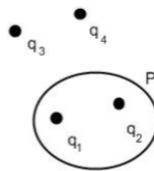
Elétrico, pois ele carrega consigo a ideia de os conceitos de Fluxo e de Circulação como funções do Campo Elétrico, logo semelhantes a ele. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- O Fluxo do Campo Elétrico está associado à Componente Normal do Campo Elétrico, por isto é igual ao mesmo;*
- A Circulação do Campo Elétrico está associada à Componente Tangencial do Campo Elétrico e por isto é igual ao mesmo;*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante B (Estudo I – Avaliação Somativa – Campo Elétrico – Questão IV)

Situação: Considere a Superfície Gaussiana que envolve parte da distribuição de cargas mostrada na figura abaixo. A) Qual das cargas contribui para o Campo Elétrico no ponto P? b) Quais cargas contribuem para o Fluxo do Campo Elétrico através da Superfície? Justifique



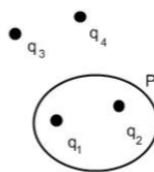
Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Elétrico

Conhecimentos-em-ação: *Campos Elétricos se atraem ou se repelem. | Campos Elétricos têm contribuição de cargas elétricas mais próximas. | O Fluxo do Campo Elétrico nos mostra a diferença entre as linhas de Campo que entram e saem da superfície gaussiana. (IV).*

Operações Recursivas: **SE** Campos Elétricos possuem contribuição de cargas mais próximas, então somente q_2 contribui. **SE** Campos Elétricos se atraem e se repelem, **ENTÃO** os Campos criados pelas cargas no interior da superfície gaussiana repelem os campos devidos às cargas no exterior. **SE** as cargas no interior da gaussiana repelem os Campos das cargas no exterior, **ENTÃO** estes não conseguem entrar pela superfície e não contribuem para o Fluxo. **SE** Fluxo de Campo Elétrico é igual ao movimento do Campo Elétrico, **ENTÃO** Fluxo e Campo Elétrico são a mesma coisa.

Inferências: As cargas no interior da gaussiana mais próximas dos pontos contribuem para o Campo e as cargas no interior da gaussiana contribuem para o Fluxo.

“A carga elétrica que contribui para o campo elétrico é a carga q_2 , pois está mais próxima do ponto. Quanto ao Fluxo, se pensarmos em cargas iguais em módulo e sinal e puntiforme, todas geram campos iguais, porém o campo de q_3 e de q_4 é repellido pelo campo de q_1 e de q_2 antes de atravessar a superfície, contribuem para o Fluxo através da superfície, q_1 e q_2 ”



Calcular Campos Elétricos⁷⁴ (C.E.)

As Situações da classe C.E requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à obtenção de Equações descrevendo o Campo Elétrico no Espaço. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever a uma Função da posição para o Campo Elétrico criado por uma determinada distribuição de Cargas Elétricas. Apresentaremos dois exemplos distintos e aplicaremos o critério estabelecido aqui para a descrição.

“Uma esfera sólida de raio R possui uma distribuição de carga não-uniforme com densidade volumétrica de carga dada por $\rho = \rho_s r/R$, onde ρ_s é uma constante e r é a distância ao centro da esfera. Mostre (a) que a carga total sobre a esfera é $Q = \pi\rho_s R^3$ e b) que dentro da esfera $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r^2}{R^2}$.”

Para calcular Campos Elétricos, ou seja, para fazer referência à equação regendo o Campo Elétrico, é preciso:

- Identificar Cargas Elétricas, as fontes do Campo Elétrico;
- Identificar a geometria da Fonte;
- Analisar a distância de pontos da fonte convenientemente escolhidos a um ponto no espaço;
- Aplicação da Equação para cálculo do Campo Elétrico;
- Obtenção do resultado.

Esta lista compõe as ações necessárias para se dominar uma Situação desta Classe. As possíveis Representações Internas desta classe compartilham Significados expressos em Conhecimentos-em-ação possuídos pelos Esquemas e “emprestados” pelos Modelos Mentais.

Ao apresentar uma Equação para o Campo Magnéticos entendemos que a organização invariante da ação evidenciaria um Esquema, em virtude de ser uma conduta mais organizada. Como a organização da ação da mesma forma frente a uma classe de Situações sugere domínio mais consolidado destas Situações, entendemos que organizar a ação seguindo a ordem apresentada pode ser entendido como evidência de possíveis construções mentais deste tipo.

Para construir um Modelo Mental, o estudante apresenta-se possivelmente em um estágio mais recursivo e buscando organização entre Conhecimentos-em-ação e entre Conhecimentos novos, logo sua tendência, na construção de possíveis

⁷⁴ Foi uma opção do pesquisador o enfoque no cálculo de Campos Elétricos feitos para objetos com distribuição de Cargas Elétricas altamente simétricas. Discutiu-se tanto a lei de Coulomb como a lei de Biot-Savart para os cálculos dos Campos Magnéticos, porém como o desenvolvimento de problemas desta natureza envolve mais o emprego de integrais trabalhosas que a construção de um Modelo Físico dos problemas, estabeleceu-se este critério para ênfase em determinados conteúdos. Em outras palavras, a Física III é, a nosso ver, uma disciplina para fazer maior referência a conceitos de Eletromagnetismo do que a cálculos (como fins em si mesmos). Para isto, temos as disciplinas de Eletromagnetismo Clássico I na UFRGS (na UFPa, universidade onde se formou o proponente da tese, existem duas disciplinas de 60 horas para discussão de Eletromagnetismo no ciclo profissional).

Representações Internas deste tipo, é uma organização da conduta de maneira variável. Estas variações podem ficar nítidas nos distintos Modelos Mentais possivelmente construídos ao se variar aspectos componentes de uma Situação ou mesmo na resolução de Situações coexistentes em duas classes distintas.

As distinções e delimitações podem já ocorrer no segundo passo. Existe Situações nas quais se torna impossível usar a lei de Gauss integral para obter o Campo Elétrico devido a uma distribuição de Cargas como, por exemplo, a do Cálculo do Campo Elétrico devido a um anel. O passo *b* já apresenta uma bifurcação no processo de Cálculo. Considerando sistemas com alto grau de simetria, cujo cálculo de Campo Elétrico requer a escolha de uma Gaussiana adequada e considerando sistemas com menor grau de simetria, cujo cálculo requeira uma integração sobre o volume da distribuição.

Adiantamos termos adotado preferencialmente atividades nas quais a operação de Cálculo de Campo Elétrico fosse realizada usando-se a lei de Gauss. A primeira razão já foi apresentada algumas vezes ao longo do texto da tese, mas não custa relembrar: integrais simples, porém trabalhosas, muitas vezes tomam um pouco do tempo para discutir questões conceituais. É importante trabalhar a lei de Coulomb, no entanto, ela é do ponto de vista conceitual, muito mais limitada que a lei de Gauss⁷⁵, pois só pode ser usada para o cálculo de Campos Elétricos devidos a distribuições de Carga conhecidas e constantes ao longo do tempo.

Quanto ao ponto *e*, muito enfatizado pelos professores de Física e pelos livros didáticos, correspondente à parcela operacional do cálculo de Campo Elétrico e que, na verdade, não influencia na classificação dos Esquemas, pois após evidenciarmos o uso não arbitrário da ideia de simetria no cálculo, nós damos menor relevância. Erros procedimentais como, por exemplo, o erro do volume de uma esfera, são menos importantes do que a referência inadequada feita a um dado objeto.

Um bom exemplo da referência inadequada feita a um objeto pode ocorrer no cálculo de Campos Elétricos devidos a cilindros. Em determinada parte do cálculo um aluno hipotético pode usar o volume de uma gaussiana cilíndrica como $\frac{4}{3}\pi r^3$. Outro aluno pode calcular o volume de uma casca esférica de raio interno *a* e raio externo *b* como $\frac{4}{3}\pi(b - a)^3$. Do nosso ponto de vista, a referência à esfera quando tratando o problema do cilindro, é mais grave que um erro de geometria, tomado como procedimental. Ambos devem ser trabalhados, mas não consideramos os dois iguais.

⁷⁵ Epistemologicamente a lei de Coulomb é, na verdade, uma lei de Força entre Cargas Elétricas pontuais. Algum tipo de “generalização” pode ser feita usando a ideia de distribuição de Carga Elétrica (discreta e contínua) e o princípio da Superposição de Forças. A ideia de se apresentar uma Equação de Campo Elétrico a partir da lei de Coulomb não é, nem de longe, Coulombiana. É uma interpretação possível do ponto de vista do programa de pesquisa de Lorentz para o Eletromagnetismo. Outro ponto limitante da lei de Coulomb é a sua validade para a descrição de Forças entre Objetos eletricamente carregados em casos onde não há mudança, ao longo do tempo, dos valores de Carga Elétrica destes objetos. A Lei de Coulomb não é aplicável para casos onde não se conhece previamente a distribuição de Cargas Elétricas como, por exemplo, no caso da Interação entre um Condutor descarregado e um Campo Elétrico.

Apresentamos duas possíveis classes de Representação Interna para cálculos de Campos Elétricos. A C.E.1 descreve os processos de Representação Interna sem a realização da referência a aspectos conceituais. São casos muito comuns no cálculo de Campos Elétricos, especialmente no início dos cursos de Eletromagnetismo. A C.E.2 descreve estes processos fazendo referência aos aspectos conceituais.

C.E.1. – Calcular o Campo Elétrico sem fazer referência a aspectos conceituais

Esta possível classe de Representações Mentais (Esquemas ou Modelos Mentais) calcula o Campo Elétrico como uma função da Carga Elétrica e da distância a um ponto no Espaço. Ela usa o conceito de Fluxo como uma regra operacional de Cálculo de Campo Elétrico, pois trabalha com a ideia da dependência do Campo Elétrico com a Carga e com a possibilidade de se conhecer o Campo Elétrico a partir da expressão. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- A Lei de Gauss é dada por $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$;
- O Campo Elétrico é uma função da Carga Elétrica;
- O Campo Elétrico é uma função da Distância de pontos convenientemente escolhidos nas Fontes a pontos do Espaço;
- O Campo Elétrico resultante no espaço é a soma dos Campos Elétricos calculados a partir das Cargas Elétricas envolvidas no problema;

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante P (Estudo I – Tarefa V – Campo Elétrico – Questão I)

Situação: Qual a equação descrevendo o Campo Elétrico devido a duas cascas cilíndricas concêntricas de raio a e b e densidades de carga ρ e $-\rho$?

Objetivos: Calcular Campos Elétricos

Conhecimentos-em-ação: Campos Elétricos são gerados por fontes \neq Campos Elétricos devem ser gerados por cargas elétricas./ A superfície gaussiana deve ter a forma adequada ao problema \neq $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q_g}{\epsilon_0}$ \neq As cargas elétricas da Gaussiana só podem ser contadas de forma inteira.

Operações Recursivas: SE escolhermos uma gaussiana com forma adequada ao problema, então $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q_g}{\epsilon_0} \rightarrow E_g S_g = \frac{q_g}{\epsilon_0}$. SE Campos Elétricos são gerados por cargas Elétricas, então o Campo Elétrico só pode depender das cargas da lei de Gauss.

Inferências: $E = \frac{\rho r}{2\epsilon_0}$ (Campo Elétrico devido a um cilindro).

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \rightarrow E 2\pi r l = \frac{\rho \pi r^2 l}{\epsilon_0} \rightarrow E = \rho r / 2\epsilon_0$$

C.E.2. – Calcular o Campo Elétrico fazendo referência a aspectos conceituais

Esta possível classe de Representações Internas calcula o Campo Elétrico como uma função da Carga Elétrica e da distância a um ponto no Espaço. Ele usa o conceito de Fluxo como uma regra operacional de Cálculo de Campo Elétrico, pois trabalha com

a ideia da dependência do Campo Elétrico com a Carga e com a possibilidade de se conhecer o Campo Elétrico a partir da expressão. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- A Lei de Gauss é dada por $\oint \vec{E}_R \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$;
- O Campo Elétrico é uma função da Carga Elétrica;
- O Campo Elétrico é uma função da Distância de pontos convenientemente escolhidos nas Fontes a pontos do Espaço;
- O Campo Elétrico resultante no espaço é a soma dos Campos Elétricos calculados a partir das Cargas Elétricas envolvidas no problema;
- O Fluxo Elétrico é relativo ao Campo Elétrico resultante devido a todas as Cargas Elétricas do problema;
- O Fluxo Elétrico é relativo à Carga Elétrica no interior da Superfície Gaussiana;
- A Simetria da distribuição de Carga Elétrica com respeito à Gaussiana leva a um Fluxo Elétrico constante;
- A Superfície Gaussiana tem formato arbitrário e é escolhida de acordo com a distribuição de Carga Elétrica.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante J (Estudo II – Tarefa III – Campo Elétrico – Questão II)

Situação: Duas chapas não condutoras grandes e paralelas, com distribuições idênticas de cargas positivas. Que expressão descreve o Campo Elétrico para a) pontos à esquerda das chapas, b) entre elas e c) à direita delas? Justifique suas respostas.

Objetivos: Calcular Campos Elétricos

Conhecimentos em ação: $\oint_{S_j} \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q_{S_j}}{\epsilon_0} \mid \vec{E}_R = \sum_j \vec{E}_j$

Operações recursivas: SE $x \rightarrow R|L$ das placas ENTÃO $q_G = q$. SE $q_G = q$, ENTÃO $E = \frac{q}{2A\epsilon_0}$. SE calculamos o Campo Elétrico, ENTÃO $x \rightarrow R|L$ e $\oint_{S_b} \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$. SE $\oint_{S_b} \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$ e SE a gaussiana é simétrica (na forma de caixa de pílulas com a tampa paralela à área da placa), ENTÃO $E = \frac{q}{2A\epsilon_0} \rightarrow \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. SE o Campo Elétrico devido ao cilindro a é $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ e SE o Campo Elétrico devido ao cilindro b é igual a $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, ENTÃO $E_R = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \mid$ SE $x \rightarrow C$ das placas ENTÃO $q_G = q$. SE $q_G = q$, ENTÃO $E = \frac{q}{2A\epsilon_0}$. SE calculamos o Campo Elétrico, ENTÃO $x \rightarrow R|L$ e $\oint_{S_b} \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$. SE $\oint_{S_b} \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$ e SE a gaussiana é simétrica (na forma de caixa de pílulas com a tampa paralela à área da placa), ENTÃO $E = \frac{q}{2A\epsilon_0} \rightarrow \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. SE o Campo Elétrico devido ao cilindro a é $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ e SE o Campo Elétrico devido ao cilindro b é igual a $\frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, ENTÃO $E_R = 0$, pois apontam em sentidos opostos.

Inferências: $E = 0 \forall$ ponto na região entre as placas $\mid E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \forall$ o ponto restante.

“Como essas placas são muito grandes, os campos se sobrepõem e se anulam em qualquer lugar entre as placas. $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, como o campo é simétrico, pois a chapa é muito grande, ele é constante. $\vec{E} \cdot \hat{n} 2A =$

$q/\epsilon_0 \rightarrow \vec{E} \cdot \hat{n} = \frac{q}{2\epsilon_0 A} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$. Nos pontos à direita ou à esquerda o campo, pelo princípio da superposição é 2x mais forte, logo $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$ ”.

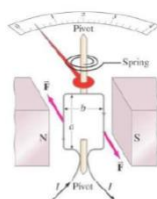
Conceito de Campo Magnético

Nas UEPS de Campo Magnético, foi possível mapear quatro grandes classes de Situações, a saber, *Descrição de Interações Magnéticas* (I.B), *Representação Analógica do Campo Magnético* (A.B), *Representação Simbólica do Campo Magnético* (S.B) e *Cálculo do Campo Magnético* (C.B). As Situações apresentadas podem se enquadrar dentro de uma ou de mais de uma classe, no entanto, podemos entender o domínio do conceito de Campo Magnético como associado ao domínio destas quatro classes de Situações⁷⁶.

Descrever Interações Magnéticas (I.B)

As Situações da classe I.B requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à Interação ocorrente entre Objetos Eletricamente Carregados e em movimento. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever a forma pela qual interagem, via Campo Magnético, dois portadores de Cargas Elétricas em movimento e como será a dinâmica de um objeto de prova. Apresentaremos um exemplo abaixo:

“O componente básico de medidores analógicos (aqueles de ponteiro), incluindo amperímetros, voltímetros e ohmímetros analógicos, é o galvanômetro. Um galvanômetro é composto de uma bobina de fio (acoplado a um ponteiro) suspenso no Campo Magnético de um magneto permanente (ímã). Associada ao eixo de rotação da bobina há uma mola de constante de torção κ , conforme a figura abaixo. Pergunta-se: a) Se quiséssemos calcular o ângulo de giro do ponteiro no galvanômetro, que quantidades físicas seriam necessárias para tal? b) Que aproximações você faria no problema? c) Apresente uma expressão para o ângulo de giro do ponteiro, discutindo fisicamente as etapas do processo”.



Para descrever as Interações Elétricas, ou seja, para fazer referência à Interação entre dois portadores de Carga Elétrica, é preciso:

- Identificar Cargas Elétricas em movimento interagentes;
- Identificar a interação ocorrendo entre Objetos como de natureza magnética;
- Aplicar da lei de Interação (Lei de Lorentz $F = q\vec{v} \times \vec{B}$ ou ‘Lei de Biot-Savart’

$$\vec{F} = \frac{\mu_0 i}{4\pi} \int_V \frac{\vec{l} \times (d\vec{s} \times \vec{r})}{r^3};$$

⁷⁶ Embora o movimento arbitrário de Cargas Elétricas possa ser incluído nesta discussão, entendemos ser este problema melhor abordado na Eletrodinâmica do ciclo profissional de um curso de Eletromagnetismo para Físicos pelos Campos de Lièrnard-Wiechert (com o Gauge de Lorentz, obviamente).

d. Descrever a dinâmica dos objetos interagentes.

Certas vezes, foi possível observar condutas organizadas de forma invariante e certa estabilidade na descrição. Identificamos um Esquema para descrever a Interação Magnética quando os estudantes organizam suas Operações de Pensamento de forma invariante para uma mesma classe de Situações.

O passo c é epistemologicamente e ontologicamente mais importante, porque é este ponto que distingue entre as possíveis Representações Internas inferidas. Seguindo esta ideia nós os descrevemos em termos da conceitualização dos estudantes sobre o conceito de Campo Magnético. Apresentamos seis possíveis classes de Representações Internas (Modelos Mentais ou Esquemas) inferidas neste estudo para descrever as interações entre Objetos. Conforme já apresentado, consideramos os Esquemas como organização da conduta frente a uma classe de Situações conhecida e como contendo os conhecimentos prévios. Os Modelos Mentais são possíveis construções realizadas no sentido de tentar abarcar Situações novas, no domínio das quais os Esquemas mostraram-se frustrados.

I.B.1. – Descrever interações Magnéticas usando o conceito de Campo Magnético

Esta possível classe de Representações Internas apresenta nos seus ingredientes os (se apropria dos) conceitos-em-ação de *Força Magnética*, *Energia Magnética*, *Interação Magnética*, *Cargas Elétricas* e *Correntes Elétricas*. Ele permite ao estudante explicar Situações incluindo *Campos Magnéticos Estacionários*, porque nestas situações nós não temos atraso na interação, então tudo pode ser descrito com as leis de Newton e de Biot-Savart.

Incluímos nesta possível classe de Representações Internas todas as explicações que não apontavam para o uso do conceito de Campo Magnético para descrever Interações Magnéticas. Estudantes usam o conceito de Força Magnética, uma vez que para eles o conceito de Campo Magnético é supérfluo. Martin e Solbes (2001), bem como Guisasola et al. (1998; 2004) encontraram resultados semelhantes para os estudantes pesquisados por eles.

Os teoremas-em-ação mais fundamentais e descritivos deste Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- *Força Magnética e Campo Magnético são idênticos;*
- *Forças Magnéticas são exercidas instantaneamente à distância;*
- *Trocas de Energia entre objetos carregados eletricamente em movimento são instantâneas;*
- *Objetos carregados eletricamente em movimento possuem Energia.*

Os alunos, em geral, não tratam as Interações Magnéticas entre Correntes Elétricas. Eles mencionam, quase sempre, uma substância magnética presente nos

materiais magnéticos. Desta forma, não conseguimos nenhum exemplo para esta possível Representação Interna.

I.B.2. – Descrever interações Magnéticas usando o conceito de Campo Magnético como uma entidade geral

Esta possível classe de Representações Internas apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Magnética*, *Energia Magnética*, *Interação Magnética*, *Cargas Elétricas*, *Corrente Elétrica*, *Campo Elétrico*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo tanto *Campos Dinâmicos* como *Campos Estáticos*. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Magnética está associada a uma Interação Magnética entre duas ou mais Cargas Elétricas em movimento;*
- *Campo Magnético é uma representação matemática associada à ação de Forças Magnéticas em pontos no Espaço, mas depende somente da Corrente Elétrica de Fonte;*
- *Campos Magnéticos são criados por distribuições de Carga Elétrica em movimento;*
- *Forças Magnéticas são exercidas entre Objetos carregados eletricamente e o Campo Magnético descreve esta Interação;*
- *Trocas de Energia Magnética entre Objetos carregados eletricamente em movimento não são instantâneas;*
- *Objetos carregados eletricamente em movimento possuem Energia Magnética;*
- *Campos Magnéticos possuem Energia Magnética;*
- *Campos Magnéticos se superpõem.*

Incluimos nesta possível classe de Representações Internas (Esquemas e Modelos Mentais) todas as explicações dadas usando o conceito de Campo Magnético de forma geral. Um Esquema deste tipo está associado a uma conduta de longo prazo, enquanto um Modelo Mental pode indicar o enquadre do conceito de Campo Magnético na descrição de Interações Magnética de maneira geral, sem aprofundamento da descrição ontológica do Campo Magnético. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo Magnético na conceitualização.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante C (Estudo I – Tarefa V – Campo Magnético – Questão III)

Situação: Suponha que um elétron seja lançado no plano (x, y) , com velocidade de intensidade v_0 , em uma direção que forme um ângulo θ com o semi-eixo positivo de x . No instante $t = 0$, o elétron está localizado na posição $\vec{r}(0) = R \hat{k}$. Considere, ainda, que exista um Campo Magnético constante ao longo da direção y . Responda aos itens abaixo: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) Qual a direção, o sentido e intensidade, da força magnética exercida sobre o elétron? c) Certamente este elétron

está acelerado se $\theta \neq \pi/2$ ou $\theta \neq -\pi/2$. Sabe-se, pela fórmula de Larmor para a eletrodinâmica, que carga acelerada emite radiação. No entanto, estamos estudando magnetostática, uma teoria que não lida com emissão de radiação ou ondas eletromagnéticas. Como você reconciliaria esta aparente contradição?

d) Que trajetória é seguida pelo elétron? Obs: a realização de cálculos para este item é opcional. No entanto, deve ser justificada fisicamente. Obs: Para quem quiser executar o modelo matemático para a questão, as equações de movimento são dadas abaixo $\vec{r}(t) = R[\text{sen}(\omega t)\hat{i} + \text{cos}(\omega t)\hat{k}] + v_0 t \text{sen}\theta \hat{j}$. $v(t) = \omega R[\text{cos}(\omega t)\hat{i} - \text{sen}(\omega t)\hat{k}] + v_0 \text{sen}\theta \hat{j}$. As equações diferenciais são do tipo: $m\ddot{x} = -q\dot{z}B$, $m\ddot{y} = 0$, $m\ddot{z} = q\dot{x}B$.

Objetivos: Descrever Interações Magnéticas

Conhecimentos-em-ação: *Força Magnética é perpendicular ao Campo Magnético e à velocidade* |
Elétron tem carga elétrica $q = -e$ |
 $F_R^j = 0 \rightarrow a_j = 0$.

Operações Recursivas: **SE** há uma Carga Elétrica em movimento em uma região de Campo Magnético, **ENTÃO** há uma Força Magnética. **SE** a Força Magnética exercida sobre o Elétron é perpendicular ao Campo e à velocidade, **SE** a Força Magnética segue a regra da mão direita se $q = -e$, **ENTÃO** o sentido da trajetória, já invertido será apontando para o centro da trajetória em todos os pontos. **SE** a Força Magnética é perpendicular à velocidade, **ENTÃO** a Força será perpendicular à velocidade e o objeto descreverá um círculo no plano (x, z) **SE** há uma componente da velocidade na direção do Campo, **ENTÃO** por inércia, a componente da velocidade na direção do Campo Magnético é uniforme.

Inferências: O Elétron lançado em um Campo Magnético lançado no plano (x, y) com componente de velocidade inicial na direção de um Campo Magnético segue uma trajetória helicoidal formando um círculo no plano (x, z) .

“ $\vec{F} = e(\vec{v}_\perp \times \vec{B} + \vec{v}_\parallel)$. A direção e sentido da Força no elétron é para o centro da hélice, ou seja, mesma direção do raio R . A intensidade descrita a partir de \vec{F} . A trajetória é helicoidal devido à Força ser exercida para o centro da hélice e existir uma componente da velocidade em y ”

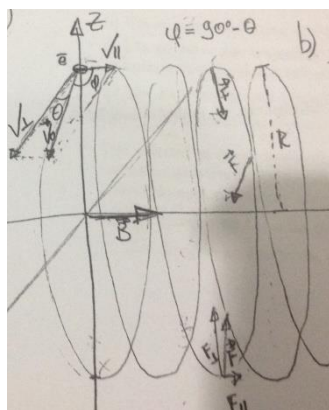


Figura 14: Representação esquemática usada pelo aluno C

Exemplo de Esquema:

Estudante R (Estudo II – Tarefa I – Campo Magnético – Questões V, VI e VII)

Situações: O que acontece a uma carga positiva colocada em repouso em um Campo Magnético uniforme? a) Ela se move com velocidade constante, pois a Força tem magnitude constante. b) Ela se move com uma aceleração constante, pois a Força tem magnitude constante. c) Ela se move em trajetória

circular, com velocidade constante em módulo, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. d) Ela acelera em uma trajetória circular, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. e) Ela permanece em repouso, pois a Força e a velocidade inicial são nulas.

6) Um elétron se move horizontalmente em direção a uma tela. O elétron move-se ao longo do caminho mostrado por causa da ação da Força devida ao Campo Magnético. Em que direção e sentido está o Campo Magnético? a) Em direção ao topo da página. b) Em direção ao fundo da página. c) Para dentro da página. d) Para fora da página. e) O Campo Magnético está na direção da curva.

7) A figura abaixo representa partículas carregadas positivamente movendo-se no mesmo Campo Magnético. O Campo é dirigido da esquerda para a direita. Todas têm a mesma carga e mesma velocidade v . Enumere as situações de acordo com a magnitude da Força exercida pelo Campo Magnético na carga em movimento, em ordem decrescente. a) $I = II = III$ b) $III > I > II$ c) $II > I > III$ d) $I > II > III$ e) $III > II > I$.

Objetivos: Descrever Interações Magnéticas

Conhecimentos-em-ação: $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ | $F = ma$ [V] | $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ | $F = ma$ | $q = -e$ [VI] |

Operações Recursivas: SE há uma Carga Elétrica em uma região de Campo Magnético, ENTÃO há uma interação Magnética e, por isto, uma Força Magnética SE A Força Magnética é dada por $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$ ENTÃO não havendo movimento de Carga Elétrica, não há Força Magnética. [V] | SE o elétron está com velocidade \vec{v} e tem uma Carga Elétrica $-e$ e SE há um Campo Magnético cuja orientação é desconhecida no problema ENTÃO podemos enquadrar a Força Magnética de modo que ela se torne perpendicular à trajetória seguida pelo elétron. SE $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$, e SE a equação segue a regra da mão direita, ENTÃO $\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$. SE $\vec{F} = -e\vec{v} \times \vec{B}$ e SE a Força Magnética deve estar dirigida perpendicularmente à trajetória e ao Campo Magnético, ENTÃO o Campo Magnético deveria estar para dentro da página, mas SE se trata de uma partícula de carga elétrica negativa, ENTÃO o Campo Magnético deve estar orientado para fora da página. | SE há uma Carga Elétrica em movimento em uma região de Campo Magnético, ENTÃO há uma Força Magnética SE $qvB\sin\theta$ e SE $\sin 0^\circ = 0$, $\sin 90^\circ = 1$ $\sin(\theta > 90^\circ) \geq 0 \leq 1$, ENTÃO I, II, III. [VII]

Inferências: (d) A partícula fica parada [V] | (d) O Campo Magnético deve estar orientado para fora da página [VI] | (d), I, II, III.

I.B.3. – Descrever interações Magnéticas usando o conceito de Campo Magnético como um Fluido mediando interações através do choque com outros Campos Magnéticos

Esta possível classe de Representações Internas parece apresentar em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Magnética*, *Energia Magnética*, *Interação Magnética*, *Objetos eletricamente carregados em movimento*, *corrente elétrica* e *Campo Elétrico*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Magnéticos Estáticos* e *Campos Magnéticos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais apresentados, porém de uma maneira incorreta de acordo com o conhecimento cientificamente aceito. Parece-se com a ideia de Interação contígua à distância. Os principais teoremas-em-ação possivelmente associados a este Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*

- **Força Magnética** está associada a uma **Interação Magnética** entre dois ou mais **Objetos eletricamente carregados** em movimento;
- **Campo Magnético** é um fluido associado à ação de **Forças Magnéticas** em outros **Campos Magnéticos** em pontos no **Espaço**, mas depende somente da **Corrente Elétrica de fonte**;
- **Forças Magnéticas** são exercidas entre **Campos Magnéticos** que devolvem o efeito da **Interação Magnética** de volta para o **Objeto Eletricamente carregado** em movimento após a colisão;
- **Trocas de Energia Potencial Elétrica** entre **Objetos eletricamente carregados** ocorrem por transmissão contígua no **Espaço**;
- **Objetos Eletricamente carregados** possuem **Energia**;
- **Campos Elétricos** possuem e carregam **Energia Potencial Elétrica**;

Foram incluídas nesta classe de possíveis Representações Internas (Esquema e Modelo Mental) todas as explicações dadas indicando entendimento do conceito de Campo Elétrico como seguindo um pensamento Choquista-Substancialista (Pantoja e Moreira, 2015). Através deste Esquema o estudante parece revelar uma conduta de longo prazo.

Com o Modelo Mental o estudante pode enquadrar o conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova. Esta forma pode, no entanto, se estabilizar em um Esquema cientificamente alternativo, porém fruto de Aprendizagem Significativa.

Não percebemos evidências de Esquemas deste tipo. Conjecturou-se uma possível estabilização de Modelos Mentais deste tipo para alguns estudantes. Isto não garante, no entanto, a existência dos Esquemas. A possibilidade de encontrarmos um Esquema, em função de a UEPS de Campo Elétrico ser mais extensa que a de Campo e em continuidade desta, é relativamente alta, caso a conduta torne a se repetir.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante A (Estudo III – Tarefa I – Campo Magnético – Questões V-VII)

Situações: O que acontece a uma carga positiva colocada em repouso em um Campo Magnético uniforme? a) Ela se move com velocidade constante, pois a Força tem magnitude constante. b) Ela se move com uma aceleração constante, pois a Força tem magnitude constante. c) Ela se move em trajetória circular, com velocidade constante em módulo, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. d) Ela acelera em uma trajetória circular, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. e) Ela permanece em repouso, pois a Força e a velocidade inicial são nulas.

6. Um elétron se move horizontalmente em direção a uma tela. O elétron move-se ao longo do caminho mostrado por causa da ação da Força devida ao Campo Magnético. Em que direção e sentido está o Campo Magnético? a) Em direção ao topo da página. b) Em direção ao fundo da página. c) Para dentro da página. d) Para fora da página. e) O Campo Magnético está na direção da curva.

7. A figura abaixo representa partículas carregadas positivamente movendo-se no mesmo Campo Magnético. O Campo é dirigido da esquerda para a direita. Todas têm a mesma carga e mesma velocidade v . Enumere as situações de acordo com a magnitude da Força exercida pelo Campo Magnético na carga

em movimento, em ordem decrescente. a) $I = II = III$ b) $III > I > II$ c) $II > I > III$ d) $I > II > III$ e) $III > II > I$.

Objetivos: Descrever Interações Magnéticas

Conhecimentos-em-ação: *Cargas Elétricas* sofrem ação do **Campo Magnético** \Rightarrow **Campo Magnético** uniforme movimenta *cargas elétricas* uniformemente \Rightarrow **Campo Magnético** uniforme arrasta Objetos com *velocidade* constante (V) \Rightarrow **Campos Magnéticos** exercem **Forças Magnéticas** em partículas \Rightarrow **Campos Magnéticos** são paralelos à **Força Magnética** \Rightarrow **Campos Magnéticos** se propagam como fluidos (VI) \Rightarrow **A Força Magnética** aumenta conforme aumente o ângulo entre a velocidade e o **Campo Magnético** \Rightarrow **Campos Magnéticos** se propagam como fluido (VII)

Operações Recursivas: **SE** Cargas Elétricas sofrem ação do Campo Magnético e **SE** Campo Magnético uniforme move uniformemente cargas elétricas e **SE** Campo Magnético se move como fluido, **ENTÃO** o objeto é arrastado, pelo Campo Magnético, velocidade constante (V) \Rightarrow **SE** há um objeto carregado em uma região de Campo Magnético, **ENTÃO** o Campo Magnético deve arrastá-la como fluido. **SE** Força Magnética desvia a bolinha e **SE** a Força Está na vertical, **ENTÃO** o Campo Magnético deve estar também na vertical (VI) \Rightarrow **SE** A Força Magnética diminui quanto mais perpendicular for o Campo Magnético à velocidade e **SE** o Campo Magnético se propaga como um fluido, **ENTÃO** uma partícula com velocidade paralela ao Campo sofrerá menor Força Magnética (VII)

Inferências: letra a [V] \Rightarrow letra a [VI] \Rightarrow letra c [VII]

“[V] Campo Magnético arrasta partículas com velocidade constante; [VI] Campo Magnético arrasta partículas na direção do movimento; [VII] Campo Magnético arrasta partículas na direção do movimento”

I.B.4. – Descrever interações Magnéticas usando o conceito de Campo Magnético como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos

Este possível tipo de Representação Interna apresenta o Campo Magnético como uma entidade que existe no Espaço e transporta a Energia de um Objeto Eletricamente Carregado em movimento a outro. Tal Representação Interna interpreta o Campo Magnético existindo na região fora das fontes e é apenas um suporte para a transferência de Energia (op. cit).

O Esquema apresentaria em seus ingredientes os conceitos-em-ação de **Força Magnética**, **Energia Magnética**, **Interação Magnética**, **Carga Elétrica**, **Corrente Elétrica** e **Campo Magnético**. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo **Campos Magnéticos Dinâmicos e Estáticos** assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores, embora de maneira errônea. Os principais teoremas-em-ação possivelmente associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- **Força Magnética e Campo Magnético** são distintas categorias;
- **Força Magnética** está associada a uma **Interação Magnética** entre dois ou mais **Objetos eletricamente carregados** em movimento;
- **Campo Magnético** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças Magnéticas** sobre **Cargas Elétricas de prova** em movimento em pontos no Espaço, mas depende somente das **Cargas Elétricas de fonte** em movimento;

- *Forças Magnéticas são exercidas por Campos Magnéticos sobre Objetos eletricamente carregados em movimento;*
- *Trocas de Energia entre Objetos Eletricamente carregados em movimento não são instantâneas;*
- *Objetos Eletricamente carregados em movimento possuem Energia;*
- *Campos Magnéticos transportam Energia, mas não a possuem;*
- *Campos Magnéticos se superpõem.*

Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Elétrico como um suporte para a transferência direta de Energia entre Objetos eletricamente carregados. Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, mas parcialmente coerente com o conhecimento científico. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo como um transportador de Energia.

Não encontramos indícios de conceitualização usando esta representação interna.

I.B.5 – Descrever interações Magnéticas usando o conceito de Campo Magnético de acordo com o Modelo aceito de interação entre Partículas e Campos

Este tipo de possível Representação Interna apresenta o Campo Magnético como uma entidade que existe no Espaço, possui Energia Magnética e a transporta pelo Espaço. Entende o Campo Magnético existindo também na região exterior às fontes, sendo o agente das Forças.

O Esquema apresentaria em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Magnética, Energia Magnética, Interação Magnética, Cargas Elétricas, Corrente Elétrica* e *Campo Magnético*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Elétricos Estáticos e Campos Elétricos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores. Os principais teoremas-em-ação possivelmente associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Magnética está associada a uma Interação Magnética entre dois ou mais Objetos Eletricamente Carregados em movimento;*
- *Campo Magnético é uma grandeza Física associada à ação de Forças Magnéticas sobre Cargas Elétricas de prova em movimento, em pontos no Espaço, mas depende somente da Corrente Elétrica de fonte;*
- *Forças Magnéticas são exercidas por Campos Magnéticos sobre Objetos;*
- *Campos Magnéticos não realizam Trabalho sobre objetos eletricamente carregados em movimento;*
- *Trocas de Energia entre Objetos eletricamente carregados em movimento não são instantâneas;*

- **Objetos eletricamente carregados em movimento possuem Energia Cinética;**
- **Campos Magnéticos possuem Energia e Momentum e os transportam pelo Espaço;**
- **Campos Magnéticos se superpõem.**

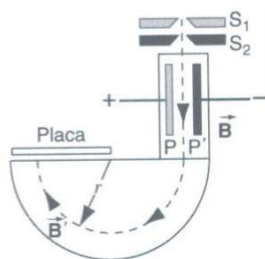
Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Magnético como um elemento mediando a ação de uma Força Magnética em uma partícula. Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo Magnético na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, coerente com o conhecimento científico.

Esta forma de Representação Interna do conhecimento é a mais distante do conhecimento dos estudantes, recheado de conceitos construídos ao longo da vida sobre Magnetismo. A menos que o aluno tenha estudado bastante magnetismo, é possível encontrar algum com este tipo de Representação na primeira tarefa.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante H (Estudo III – Avaliação Somativa – Campo Magnético – Tarefa I)

Situação: O espectrômetro de massa de Bainbridge, mostrado na figura abaixo, separa íons que têm a mesma velocidade. Os íons, após entrarem através das fendas S_1 e S_2 , passam através de um seletor de velocidade composto de um Campo Elétrico produzido pelas placas carregadas P e P_0 e um Campo Magnético \vec{B} perpendicular ao Campo Elétrico e à trajetória dos íons. Estes íons que passam sem ser desviados pelos Campos cruzados \vec{E} e \vec{B} entram em uma região onde um segundo Campo Magnético \vec{B}_0 existe e são colocados em trajetórias circulares. Uma chapa fotográfica registra a sua chegada. Qual a relação carga/massa destes íons?



Objetivos: Descrever Interações Magnéticas

Conhecimentos-em-ação: A Força exercida pelos Campos Elétrico e Magnético é dada pela Força de Lorentz, $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ $|\Rightarrow \vec{F}_R = m\vec{a}$ $|\Rightarrow$ A Força Centrípeta é a Força resultante no movimento circular.

Operações Recursivas: SE a partícula está com uma velocidade qualquer em um Campo Eletromagnético cruzado, ENTÃO $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$. SE a partícula não sofre ação da Força Eletromagnética resultante, ENTÃO $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \rightarrow v = \frac{E}{B}$. SE a partícula entra com uma velocidade perpendicular ao Campo Magnético em uma região de Campo Magnético \vec{B}' e SE a Força Magnética é $\vec{v} \times \vec{B}$, ENTÃO a Força Magnética é perpendicular à velocidade e é igual à Força centrípeta.

SE $F_c = F_{mag} \rightarrow \frac{mv^2}{R} = qvB \rightarrow m = \frac{qBB'}{E}$, ENTÃO o movimento da Carga Elétrica de massa m dada é circular.

Inferências: $\frac{q}{m} = \frac{E}{rBB'}$

“ $|\vec{v}| = \frac{|\vec{E}|}{|\vec{B}|}$, com $\vec{F}_E = q\vec{E}$ e $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ $\vec{F}_E = \vec{F}_B$. Quando o íon sai da região I, ele possui uma velocidade \vec{v}_s , ele possui uma velocidade \vec{v}_s e ao penetrar a região II, passa a sofrer a ação de um Campo Magnético, cuja Força Magnética faz com que o íon descreva trajetórias circulares...”

I.B.6 – Descrever interações Magnéticas igualando o conceito de Campo Magnético ao conceito de Campo Elétrico

Este Esquema (Modelo Mental) apresenta o Campo Magnético como uma entidade que existe no Espaço, possui Energia Magnética e a transporta pelo Espaço, porém o faz de forma idêntica ao Campo Elétrico. Este Esquema (Modelo Mental) interpreta o Campo Magnético existindo também na região exterior às fontes, sendo o agente das Forças.

O Esquema apresentaria em seus ingredientes os conceitos-em-ação de **Força Magnética, Energia Magnética, Interação Magnética, Cargas Elétricas, Corrente Elétrica e Campo Magnético**. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo **Campos Elétricos Estáticos e Campos Elétricos Dinâmicos** assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores, porém de uma forma inadequada frente ao conhecimento científico. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- **Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;**
- **Força Magnética está associada a uma Interação Magnética entre dois ou mais Objetos Eletricamente Carregados;**
- **Campo Magnético é uma grandeza Física associada à ação de Forças Magnéticas sobre Cargas Elétricas de prova, em pontos no Espaço, mas depende somente da Fonte de Campo Magnético;**
- **Fontes de Campo Magnético são ímãs;**
- **Forças Magnéticas são exercidas por Campos Magnéticos sobre Objetos eletricamente carregados;**
- **Campos Magnéticos realizam Trabalho sobre objetos eletricamente carregados;**
- **Trocas de Energia entre Objetos eletricamente carregados em movimento não são instantâneas;**
- **Objetos eletricamente carregados em movimento possuem Energia Cinética;**
- **Campos Magnéticos se superpõem.**

Ao usar este Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo para descrever as interações usando o conceito de Campo Magnético como uma grandeza exercendo Força Magnética do tipo $\vec{F} = q\vec{B}$ sobre uma partícula eletricamente

carregada. É comum os estudantes apresentarem esta ideia em Situações de ímãs interagindo com Cargas Elétricas (Guisasola et al., 1998). Um Modelo Mental deste tipo pode indicar uma tentativa frustrada da aplicação do conhecimento de Campo Elétrico à de Campo Magnético.

Exemplo de Esquema:

Estudante F (Estudo I – Tarefa I – Campo Magnético – Questão IV)

Situações: Um estudante afirma que, na situação da figura, o ímã e a esfera de poliestireno, carregada com uma carga Q negativa, sofreriam repulsão mútua. Você concorda com tal afirmação? Justifique detalhadamente sua resposta.

Objetivos: Descrever Interações Magnéticas

Conhecimentos-em-ação: *Campos Magnéticos exercem Forças Magnéticas em Cargas Elétricas* |=| *Campo Magnético de um ímã é semelhante ao Campo Elétrico criado por um dipolo elétrico* |=| *O polo norte de um ímã equivale a uma Carga Elétrica positiva e o Polo Sul de um ímã equivale a uma Carga Elétrica negativa*

Regras de ação: **SE** há uma Carga Elétrica em uma região de Campo Magnético e **SE** Campos Magnéticos exercem Forças Magnéticas em Cargas Elétricas, **ENTÃO** há uma Interação Magnética. **SE** o Campo Magnético de um ímã é semelhante ao Campo Elétrico criado por um dipolo elétrico, **SE** a Carga Elétrica é negativa e **SE** o polo Norte do ímã está voltado à Carga Elétrica seria atraída.

Inferências: A Carga Elétrica é atraída.

“Não, a esfera será atraída pelo ímã, pois tem Carga Elétrica negativa.”

Representar Analogicamente o Campo Magnético (A.B)

Referimo-nos a Representações Analógicas do Campo Magnético como Representações feitas no sentido de guardar semelhança estrutural, visual e pictórica com a forma do Campo Magnético no Espaço, logo as Representações através Diagramas de Seta e de Linhas de Campo satisfazem a este tipo de representação. Este ponto foi discutido no Referencial Teórico e anteriormente na discussão do conceito de Campo Magnético. Apresentamos abaixo um exemplo de Situação na qual é necessário Representar Analogicamente o Campo Magnético no Espaço:

“Construa três diagramas com linhas de Campo para um ímã que satisfaçam a lei de Gauss para o magnetismo”.

Para dominar Situações deste tipo, o Estudante precisa fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo Magnético, ou seja, às Cargas Elétricas em movimento. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação (Lei de Gauss do Magnetismo ou lei de Ampère) ou informação sobre o Campo Magnético, a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, refere-se à percepção do tamanho da Seta ou do espaçamento das Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo Magnético, isto é, Cargas Elétricas em movimento;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Associação de Vetores Campo Magnético a pontos do Espaço;
- d. Estabelecimento da Representação do Campo Magnético.

Pelo relativo costume com as Situações nas quais é preciso representar analogicamente o Campo Magnético, os alunos, em geral, não explicitavam tanto as etapas de realização deste processo, mas quando o faziam, em geral não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante. Ao longo do tempo é natural ocorrer esta organização.

A primeira possível classe de Representações Internas A.B.1 (com Esquemas S.A.B.1 e Modelos Mentais M.A.B.1) é uma possível Representação Interna que parece considerar o Campo Magnético (com linhas fechadas) como existindo somente no exterior das fontes.

A segunda possível classe de Representações Internas A.B.2 (com Esquemas S.A.B.2 e Modelos Mentais M.A.B.2), é uma possível Representação Interna que parece considerar o Campo Magnético como existindo tanto no interior como no exterior das regiões onde haja Carga Elétrica em movimento. Ele leva em conta, algumas vezes, por exemplo, a existência do Campo Magnético no espaço inteiro, incluindo o interior das fontes. É mais adequado e completo que os Modelo Mental M.A.B.1 ou Esquemas S.A.B.1.

Ambos as possíveis classes de Representação Interna parecem estar ligadas, no entanto, a um conjunto de conhecimentos-em-ação (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, respectivamente). Destes elementos, estudantes constroem Operações Recursivas (no caso de Modelos Mentais) e Regras de ação (no caso de Esquemas) provisórias que permitem a criação de inferências com respeito às situações. O Objetivo fundamental destas situações é representar o Campo Analogicamente através de linhas de Campo e de Diagramas de seta. Os conhecimentos em ação são apresentados abaixo.

- a. *O Campo Magnético é uma função da distância medida das Cargas Elétricas em movimento a um ponto no Espaço;*
- b. *O Campo Magnético é uma função da Corrente Elétrica de fonte;*
- c. *A Carga Elétrica em movimento cria o Campo Magnético;*
- d. *Um vetor Campo Magnético está associado a cada ponto do Espaço (definição de Campo Vetorial – uma função que associa um vetor a cada ponto do espaço);*
- e. *Intensidade do Campo Magnético é uma função da distância da fonte a um ponto no Espaço;*
- f. *O Campo Magnético é simétrico com respeito às distribuições de Corrente Elétrica simétricas.*

A.B.1. – Representar Analogicamente o Campo Magnético no exterior das Fontes

Esta possível classe de Representações Internas representa adequadamente o Campo Magnético com apenas uma restrição: ele não representa o Campo Magnético no interior de distribuições contínuas de Corrente Elétrica. Nós sabemos existir o Campo Magnético em todo espaço, incluindo o interior das fontes. Nós apenas ignoramos o Campo Magnético no interior das distribuições de Corrente Elétrica quando há uma singularidade no problema. Abaixo temos um exemplo de Modelo Mental adotado por um dos estudantes. Além dos teoremas-em-ação apresentado acima, temos o que afirma: “*O Campo Magnético existe no exterior das distribuições de Corrente Elétrica*”.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante D (Estudo III – Tarefa II – Campo Magnético – Questão I)

Situação: Construa três diagramas com linhas de Campo para um ímã que satisfaçam a lei de Gauss para o magnetismo.

Objetivos: Representar Analogicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: *Campo Magnético não é criado por fonte monopolar* \Rightarrow *Fluxo Magnético nulo implica em Linhas de Campo Magnéticas fechadas* \Rightarrow *Mesma quantidade de Linhas de Campo Magnético que entra na Superfície Gaussiana sai dela*

Operações Recursivas: **SE** Campo Magnético não é criado por fonte monopolar, **SE** todas as linhas de Campo Magnético que entram na gaussiana saem dela **SE** Fluxo Magnético nulo implica Linhas fechadas de Campo Magnético, **ENTÃO** os ímãs não são cargas magnéticas e criam Campos Magnéticos dipolares. **SE** o Campo Magnético é criado no Espaço, **ENTÃO** o Campo Magnético existe no exterior

Inferências: Figura 15

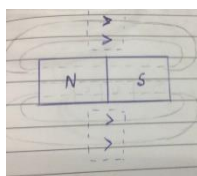


Figura 15: Representação analógica cunhada pelo estudante D

A.B.2. – Representar Analogicamente o Campo Magnético no exterior e no interior das Fontes

Esta possível classe de Representações Internas parece representar adequadamente o Campo Magnético sem restrições aparentes. Nós sabemos ser o Campo Magnético distribuído sobre todo o espaço, incluindo o interior das fontes e isto pode ser associado a uma concepção de existência do Campo Magnético sobre todo o espaço.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante S (Estudo I – Tarefa II – Campo Magnético – Questão III)

Situação: Suponha que você coloque dois ímãs, um próximo ao outro. Suponha agora que o Campo devido a um ímã assuma a forma de um dipolo. Como pode ser apresentado: a) o Campo Magnético

resultante? b) o Fluxo deste Campo Magnético resultante? Faça desenhos e diagramas para justificar sua resposta.

Objetivos: Representar Analogicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: *Campos Magnéticos se superpõem* \neq *Campos Magnéticos tem Linhas de Campo fechadas* \neq *Campos Magnéticos têm Fluxo Nulo* \neq *Campos Magnéticos existem em todo o Espaço, inclusive no interior das Fontes* \neq *Ímãs produzem Campos Magnéticos.*

Operações Recursivas: **SE** um ímã cria um Campo Magnético dipolar com fluxo nulo, **SE** Campos Magnéticos se superpõem, **ENTÃO** quando colocamos dois ímãs no espaço, devemos superpor os Campos dos dipolos e eles formam um novo dipolo. **SE** Campos Magnéticos existem em todo o espaço, inclusive no interior das Fontes, **ENTÃO** os ímãs produzem Campos Magnéticos.

Inferências: Figura 16

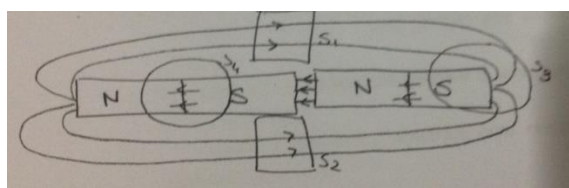


Figura 16: Representação esquemática usada pelo aluno S para Representar externamente o Campo Magnético

Representar Simbolicamente o Campo Magnético (S.B.)

Referimo-nos a Representações Simbólicas como Representações feitas no sentido de guardar semelhança funcional, abstrata e de simbolismo com a forma do Campo no Espaço, portanto, as Representações através de Equações de Fluxo e de Circulação ou outros tipos de relação entre variáveis se enquadra neste tipo de Representação. Este ponto também foi discutido no Referencial Teórico.

As possíveis Representações Internas para Representar Simbolicamente o Campo Magnético para diferem das possíveis Representações Internas para Representar Analogicamente o Campo Magnético por causa de um novo fator, a saber, a introdução dos conceitos de Fluxo e de Circulação. Quando usam estes Modelos Mentais, pelo menos na última atividade, os alunos não evidenciam a posição deles sobre a existência do Campo no volume das fontes. Nós distinguimos, basicamente, entre quatro classes de possíveis Modelos Mentais. Apresentamos abaixo um exemplo desta classe de Situações:

“Como um ímã pode ser comparado a um condutor de corrente elétrica? Faça as aproximações necessárias e as explicita”.

Para dominar estas Situações, os estudantes precisam fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação ou informação sobre o Campo a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à

direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, refere-se à percepção do tamanho da Seta ou do espaçamento das Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo Magnético, isto é, Cargas Elétricas em movimento;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Mapeamento do Significado das Equações de Campo (Lei de Gauss do Magnetismo e/ou Lei de Ampère)
- d. Associação de Vetores a pontos do Espaço respeitando o passo c (ou não, no caso de não fazer referência às Equações de Campo);
- e. Estabelecimento da Representação Simbólica.

Pela relativa adaptação às Situações nas quais é preciso representar simbolicamente o Campo Magnético, os alunos, em geral, já explicitavam mais as etapas de realização deste processo, porém muitas vezes não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante, assim como nas Situações da classe A. Desta forma, encontramos mais Modelos Mentais que Esquemas. Alguns Modelos Mentais, conforme já mencionado, estão em rota de estabilização e, com algum grau de prudência talvez seja possível identificá-los a Esquemas, desde que subjacente à sua dinâmica haja uma organização invariante na conduta.

S.B.1. – Representar simbolicamente o Campo Magnético sem usar os conceitos de Fluxo ou de Circulação

As possíveis Representações Internas associadas a esta ação cognitiva apresenta o Campo Magnético como uma função da fonte (Corrente Elétrica) e dependendo da distância das Correntes Elétricas de fonte a pontos no espaço. Estas possíveis Representações Internas levam em conta, entretanto, os conceitos de Fluxo e de circulação sem discuti-los ou não faz referência aos mesmos. Os alunos usam, também, as Equações de Campo Magnético de forma mais operacional que conceitual.

Talvez em função da relativa adaptação ao conceito de Campo Magnético, os alunos fiquem mais atentos à ideia da descrição das Interações Magnéticas através do Campo Magnético. Outra possibilidade é o conhecimento prévio de ideias como o Campo Magnético dos ímãs e da Terra.

S.B.2. – Representar Simbolicamente o Campo Magnético fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação

Esta possível classe de Representações Internas (englobando Modelos Mentais e Esquemas) indica uma Representação Simbólica do Campo Magnético como uma função da Corrente Elétrica e da distância da Fonte de Campo Magnético a um ponto do espaço. Ela indica também o uso do conceito de Fluxo Magnético como um indicador da direção do Campo (Linhas de Campo Magnética fechadas). Este considera, ainda, a

circulação como um indicador de um Campo representado por Linhas de Campo Magnético fechadas.

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, os Esquemas (Modelos Mentais) deste tipo estão associados aos seguintes:

- O Fluxo Magnético, por estar associado à Componente Normal do Campo Magnético à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Magnético;*
- A Circulação Magnética, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Magnético, indica se o Campo Magnético tem padrão Circular;*
- O Fluxo Magnético por ser nulo indica Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares a partir das Fontes;*
- A Circulação Magnética por ser nula indica Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares a partir das Fontes.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante S (Estudo I – Tarefa II – Campo Magnético – Questão III)

Situação: Suponha que você coloque dois ímãs, um próximo ao outro. Suponha agora que o Campo devido a um ímã assuma a forma de um dipolo. Como pode ser apresentado: a) o Campo Magnético resultante? b) o Fluxo deste Campo Magnético resultante? Faça desenhos e diagramas para justificar sua resposta.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: $\oint \vec{B} \cdot \hat{n}dS = 0$ \Rightarrow Fluxo nulo indica linhas de Campo Magnético fechadas

Operações Recursivas: SE temos um ímã e SE esse ímã gera um Campo Magnético, ENTÃO este Campo Magnético deve satisfazer à lei de Gauss do Magnetismo. SE $\oint \vec{B} \cdot \hat{n}dS = 0$ e SE Fluxo nulo indica linhas de Campo Magnético fechadas, ENTÃO os desenhos do Campo Magnético devem ter Linhas fechadas

Inferências: Figura

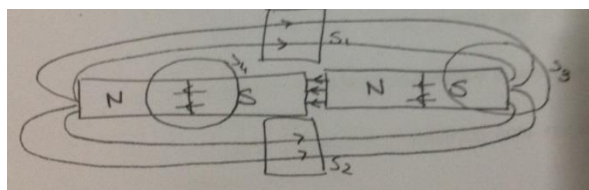


Figura 17: Representação Esquemática do aluno S para ilustrar a Representação Simbólica do Campo Magnético como apresentando Linhas fechadas

S.B.3. – Representar Simbolicamente o Campo Magnético fazendo referência às Fontes de Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação

Este possível tipo de Representação Interna representa Simbolicamente o Campo Magnético como uma Função das Corrente Elétricas e da distância das Fontes a um

ponto do espaço. O Modelo também usa os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de Fontes de Campo Magnético no espaço.

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, os Esquemas possuem e os Modelos Mentais usam os seguintes:

- a. *O Fluxo Magnético é um indicador da inexistência de Cargas Magnéticas monopulares no Espaço;*
- b. *Campo Magnético não conservativo é criado por Corrente Elétrica e tem Circulação não nula;*
- c. *O Fluxo Magnético por ser nulo indica Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares a partir das Fontes;*
- d. *A Circulação Magnética por ser nula indica Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares a partir das Fontes.*

Apresentamos abaixo um exemplo de Modelo Mental e um de Esquema para ilustrar a aplicação do critério apresentado acima.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante L (Estudo I – Tarefa II – Campo Magnético – Questão II)

Situação: De que maneira os Polos Magnéticos são muito diferentes das Cargas Elétricas?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: *Dipolos Magnéticos são inseparáveis \neq Cargas Elétricas criam Campos Elétricos monopulares \neq Dipolos Magnéticos criam Campos Magnéticos com linhas fechadas de Campo Magnético \neq Campos Elétricos possuem circulação nula.*

Operações Recursivas: SE Dipolos Magnéticos são inseparáveis, ENTÃO é impossível dispô-los em monopólos. SE Cargas Elétricas criam Campos Elétricos monopulares, ENTÃO existem monopólos elétricos. SE existem monopólos para cargas elétricas e SE não existem monopólos Magnéticos, ENTÃO o Fluxo Magnético deve sempre ser nulo.

Inferências: Por não haver monopólio Magnético, o Fluxo Magnético é sempre nulo.

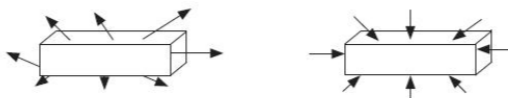
“Existem Cargas positivas e negativas, porém não existe um ímã apenas norte ou apenas sul (monopólo)”

Aqui, o aluno parece identificar as fontes (ímãs) e depois ele mapeia o significado das equações de Campo Magnético. Ele não apresenta indícios de identificação de pontos no Espaço e tampouco associa vetores a estes pontos para, então estabelecer a relação de Representação Simbólica externa.

Exemplo de Esquema:

Estudante F (Estudo II – Tarefa I – Campo Magnético – Questão II)

Situação: Nunca foi encontrado que um ímã tenha criado um Campo Magnético cujo “mapa” de Linhas de Campo fosse como os mostrados na figura abaixo. Que conclusão você poderia tomar acerca deste fato da natureza?



Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: *Campos Magnéticos são produzidos por ímãs* \neq *Campos Magnéticos possuem Linhas de Campo fechadas* \neq *Campos Magnéticos possuem polos magnéticos* \neq $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \neq 0$ *equivale a Campo Magnético não conservativo* \neq $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$ *equivale a Campo Magnético conservativo.*

Regras de Ação: **SE** há um ímã e **SE** Campos Magnéticos são produzidos por ímãs, **ENTÃO** há Campos Magnéticos nas regiões do Espaço. **SE** há Campos Magnéticos em regiões do espaço, **ENTÃO** os Campos Magnéticos devem ser descritos por uma grandeza Física associada a ele. **SE** $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \neq 0$ equivale a Campo Magnético não conservativo, **SE** $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$ equivale a Campo Magnético conservativo, **SE** nunca foi encontrado um Campo Magnético desta forma na natureza, **ENTÃO** o Campo Magnético é não conservativo e dipolar.

Inferências: Não existem fontes monopulares de Campo Magnético e este é não conservativo.

“Não há ‘carga magnética’ $\oint \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$ e o Campo Magnético não é conservativo ($\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} \neq 0$)”

Aqui, o aluno parece identificar fontes na Situação (ímãs) e afirmar não haver monópolos, depois parece associar a estes ímãs, Campos Magnético no espaço. Então, pelas Regras de ação, ele mapeia o significado das Equações de Campo (Campo é não conservativo, não há Carga Magnética). Com a figura, na situação, ele transfere as informações e segue as etapas d e e.

S.B.4. – Representar Simbolicamente o Campo Magnético fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação

Esta possível classe de Representações Internas parece representar simbolicamente o Campo Magnético como uma função das Correntes Elétricas e das distâncias das Fontes a um ponto do espaço. Ela também parece usar o conceito de Fluxo Magnético como um indicador da direção do Campo Magnético (da corrente como fonte do Campo Magnético). Ele considera, ainda, a circulação como um indicador de um Campo Magnético representado por Linhas Fechadas. Há a consideração do Fluxo Magnético e da Circulação Magnética como indicadores de Fontes de Campo Magnético no Espaço (Pantoja e Moreira, 2015).

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, os Esquemas (Modelos Mentais) deste tipo estão associados aos seguintes:

- a. *O Fluxo Magnético, por estar associado à Componente Normal do Campo Magnético à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Magnético;*

- b. A **Circulação Magnética**, por estar associada à **Componente Tangencial do Campo Magnético**, indica se o **Campo Magnético** tem padrão Circular;
- c. O **Fluxo Magnético** por ser nulo indica Vetores apontando em linhas circulares centradas a partir das Fontes;
- d. A **Circulação Magnética** por ser não nula indica Vetores apontando ao longo de direções circulares a partir das Fontes.
- i. O **Fluxo Magnético** é um indicador de **Correntes Elétricas** no Espaço;
- j. **Campo Magnético** não conservativo é criado por **Corrente Elétrica** e tem **Circulação** não nula
- k. O **Fluxo Magnético** por ser não nulo indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;
- l. A **Circulação Magnética** por ser nula indica Vetores apontando radialmente a partir das Fontes.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante Q (Estudo I – Tarefa II – Campo Magnético – Questão III)

Situação: Suponha que você coloque dois ímãs, um próximo ao outro. Suponha agora que o Campo devido a um ímã assuma a forma de um dipolo. Como pode ser apresentado: a) o Campo Magnético resultante? b) o Fluxo deste Campo Magnético resultante? Faça desenhos e diagramas para justificar sua resposta.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: *Dipolos Magnéticos são inseparáveis, pois $\oint \vec{B} \cdot \hat{n} dS = 0$ \neq Dipolos Magnéticos criam Campos Magnéticos com linhas fechadas \neq Campos Magnéticos se superpõem \neq Campos Magnéticos têm Linhas de Campo Magnético fechadas.*

Operações Recursivas: SE um ímã é um dipolo e SE dois ímãs são colocados próximos um ao outro, ENTÃO os dois criarão Campos Magnéticos que superpor-se-ão. SE um ímã tem um Campo Magnético dipolar, pois tem Fluxo nulo, e SE Campos Magnéticos tem Linhas de Campo Magnético fechadas ENTÃO o quando colocamos dois ímãs no espaço, devemos superpor os Campos dos dipolos e eles formam um novo dipolo com Linhas de Campo Magnético fechadas.

Inferências: Os Campos Magnéticos se superpõem na região no meio dos ímãs e formam um novo dipolo.

“Dois ímãs próximos. Pelo princípio da superposição, o Campo Magnético resultante é igual à soma dos Campos Magnéticos. O Fluxo do Campo Magnético, para qualquer superfície gaussiana é sempre zero, pois não há monopólos magnéticos”.

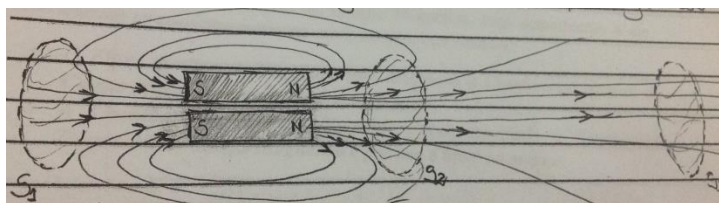


Figura 18: Representação Esquemática usada pelo aluno Q, no estudo I, para estabelecer conexão entre as Representações Simbólica e Analógica do Campo Magnético

S.B.5. – Representar Simbolicamente o Campo Magnético identificando o conceito de Fluxo ou o de Circulação ao Campo Magnético

Esta possível classe de Representações Internas parece representar o Campo Magnético como uma função das Correntes Elétricas e das distâncias a um ponto no Espaço. Ele usa os conceitos de Fluxo Magnético e de Circulação Magnética como similares ao de Campo Magnético, pois ele carrega consigo a ideia de os conceitos de Fluxo Magnético e de Circulação Magnética como funções do Campo Magnética, logo semelhantes a ele. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- O Fluxo do Campo Magnético está associado à Componente Normal do Campo Magnético, por isto é igual ao mesmo;*
- A Circulação do Campo Magnético está associada à Componente Tangencial do Campo Magnético e por isto é igual ao mesmo;*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante K (Estudo I – Tarefa III – Campo Magnético – Questão II)

Situação:

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: $C_j = \oint_{\gamma_j} \vec{B}_R \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_A$

Operações Recursivas: **SE** a curva γ_1 (triangular) envolve três correntes elétricas com duas em um sentido e outra em outro, então a circulação resultará em i' . **SE** nesta configuração temos um triângulo, então o comprimento da Amperiana fará com que o valor do Campo seja $B = \frac{\mu_0(i-i')}{(l+h+\sqrt{l^2+R^2})}$. **SE** a curva γ_2 (retangular) envolve três correntes elétricas com duas em um sentido e outra em outro, **ENTÃO** a circulação resultará em 0. **SE** nesta configuração temos um quadrado, então o comprimento da Amperiana fará com que o valor do Campo seja $B = \frac{\mu_0(i-i')}{2(a+b)}$. **SE** $i - i'$ é a corrente total, **ENTÃO** nos dois casos, é ela que gera o Campo Magnético.

Inferências:

Se tomamos a amperiana de modo análogo, como sendo a própria curva C_1 , o campo magnético resultante é:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{\text{enc}}$$

Aproximamos a curva C_1 para $i' = i - i' \neq 0$ e $i' = 0$.

Para a curva C_1 , a circulação total é nula, na vez que a i não é nula:

$$C_1 = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$$

$$C_1 = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i - i')$$

Para a curva C_2 , a circulação total é nula, na vez que a corrente total encerrada dentro dela vale zero:

$$C_2 = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i - 0 = 0$$

De modo análogo, podemos repetir o processo para a curva C_2 e encontramos suas dimensões:

Aproximamos a curva C_2 para $i' = i - i' \neq 0$ e $i' = 0$.

Para a curva C_2 , a circulação total é nula, na vez que a corrente total encerrada dentro dela vale zero:

$$C_2 = \oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i - i') - \mu_0 i = 0$$

$$B \cdot [2a + 2b] = \mu_0 (i - i')$$

$$\therefore B = \frac{\mu_0 (i - i')}{2(a+b)}$$

S.B.6. – Representar Simbolicamente o Campo Magnético identificando-o ao Campo Elétrico

Esta possível classe de Representações Internas parece representar o Campo Magnético como uma função da Carga Elétrica e da distância a um ponto no Espaço. Quanto à ideia de Fluxo Magnético ou Circulação Magnética, não achamos qualquer relação. Tal Modelo Mental (Esquema) busca uma causa eletrostática para um fenômeno magnético através dos seguintes invariantes operatórios:

- a. *As fontes do Campo Magnético são Cargas Elétricas em estado de polarização;*
- b. *As os pólos de ímãs são Cargas Elétricas;*

A seguir apresentamos um exemplo de Modelo Mental trazido pelos estudantes.

Exemplo de Esquema:

Estudante Q (Estudo II – Avaliação Somativa – Campo Magnético – Questão 2)

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: Carga Elétrica é acelerada por Diferença de Potencial $|\Rightarrow$ Campo Magnético é criado por Carga Elétrica.

Regras de ação: SE um solenoide possui Carga Elétrica e SE ele é submetido a uma Diferença de Potencial, ENTÃO há Campo Magnético. SE o Campo Magnético existe no Espaço, ENTÃO ele deve ter uma fonte. SE Carga Elétrica cria Campo Magnético através de uma diferença de Potencial, ENTÃO o Campo Magnético é igual ao Campo Elétrico.

Inferências: O Campo Magnético é igual ao Campo Elétrico.

“O solenoide tem uma Carga Elétrica que gera o Campo Magnético através de uma diferença de Potencial, o Campo Magnético do solenoide alinha o Sistema de Partículas”

S.B.7. – Representar Simbolicamente o Campo Magnético como uma característica intrínseca da matéria

Este Modelo Mental (Esquema) representa o Campo Magnético como uma função de uma hipotética Carga Magnética e da distância a um ponto no Espaço. Quanto à ideia de Fluxo Magnético ou Circulação Magnética, não achamos qualquer relação. Tal Modelo Mental (Esquema) busca uma causa intrínseca para um fenômeno magnético através dos seguintes invariantes operatórios:

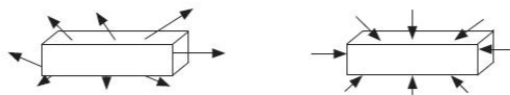
- a. *As fontes do Campo Magnético são Cargas Magnéticas;*
- b. *As os polos de ímãs são Cargas Magnéticas;*
- c. *Ímãs são intrinsecamente magnetizados;*
- d. *Ímãs criam Campos Magnéticos.*

A seguir apresentamos um exemplo de Modelo Mental trazido pelos estudantes.

Exemplo de Esquema:

Estudante N (Estudo II – Tarefa I – Campo Magnético – Questão II)

Situação: Nunca foi encontrado que um ímã tenha criado um Campo Magnético cujo "mapa" de Linhas de Campo fosse como os mostrados na figura abaixo. Que conclusão você poderia tomar acerca deste fato da natureza?



Objetivos: Representar simbolicamente o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: *Campos Magnéticos são produzidos por polos de ímãs |≠| Um ímã sempre tem polo norte e polo sul |≠| Campos Magnéticos são intrínsecos a certos tipos de materiais.*

Regras de ação: **SE** há um ímã no Espaço, **ENTÃO** há um Campo Magnético. **SE** Campos Magnéticos são produzidos por polos de ímãs, **SE** Ímãs sempre tem polo norte e polo sul, **ENTÃO** as Linhas de Campo tem forma dipolar. **SE** Campos Magnéticos são intrínsecos a certos tipos de materiais, **ENTÃO** os Campos Magnéticos tem fontes 'especiais'.

Inferências: Os polos formam Campos Magnéticos naturais, isto, é intrínsecos.

“O Campo Magnético é produzido pelo material onde nesse, há o polo norte e o polo sul...”

Calcular Campos Magnéticos (C.B.)

As Situações da classe C.B requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à obtenção de Equações descrevendo o Campo Magnético no Espaço. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever a uma Função da posição para o Campo Magnético criado por uma determinada distribuição de Correntes Elétricas. Apresentaremos um exemplo abaixo:

“A densidade de corrente dentro de um fio cilíndrico, longo e sólido de raio a está na direção do eixo e varia linearmente com a distância radial r ao eixo de acordo com $j = j_0 r/a$. Qual o Campo Magnético gerado por este fio: a) Para pontos no exterior do fio? b) Para pontos no interior do fio?”.

Para calcular Campos Magnéticos, ou seja, para fazer referência à equação regendo o Campo Magnético, é preciso:

- Identificar Correntes Elétricas, as fontes do Campo Magnético;
- Identificar a geometria da Fonte;
- Analisar a distância de pontos da fonte convenientemente escolhidos a um ponto no espaço;
- Aplicação da Equação para cálculo do Campo Magnético;
- Obtenção do resultado.

Esta lista compõe as ações necessárias para se dominar uma Situação desta Classe. As possíveis Representações Internas desta classe compartilham Significados expressos em Conhecimentos-em-ação possuídos pelos Esquemas e “emprestados” pelos Modelos Mentais.

Ao apresentar uma Equação para o Campo Magnéticos entendemos que a organização invariante da ação evidenciaria um Esquema, em virtude de ser uma conduta mais organizada. Como a organização da ação da mesma forma frente a uma classe de Situações sugere domínio mais consolidado destas Situações, entendemos que organizar a ação seguindo a ordem apresentada pode ser entendido como evidência de possíveis construções mentais deste tipo.

Para construir um Modelo Mental, o estudante apresenta-se possivelmente em um estágio mais recursivo e buscando organização entre Conhecimentos-em-ação e entre Conhecimentos novos, logo sua tendência, na construção de possíveis Representações Internas deste tipo, é uma organização da conduta de maneira variável. Estas variações podem ficar nítidas nos distintos Modelos Mentais possivelmente construídos ao se variar aspectos componentes de uma Situação ou mesmo na resolução de Situações coexistentes em duas classes distintas.

Quanto às distinções entre Operações de Pensamento empregadas a partir da interação das formas de Representação Interna com as Situações, estas já ocorrem na segunda etapa da conceitualização. Há Situações nas quais se torna impossível usar a lei de Ampère integral para obter o Campo Magnético devido a uma distribuição de Correntes Elétricas. Para sistemas com alto grau de simetria, o cálculo de Campo Magnético requer a escolha de uma Amperiana adequada e para sistemas com menor grau de simetria, o cálculo requer uma integração sobre a geometria da distribuição.

Adiantamos termos adotado preferencialmente atividades nas quais a operação de Cálculo de Campo Magnético fosse realizada usando-se a lei de Ampère. A razão, novamente trazida à tona, passa por: integrais simples, porém trabalhosas, muitas vezes tomam um pouco do tempo para discutir questões conceituais. É importante trabalhar a lei de Biot-Savart, no entanto, ela é do ponto de vista conceitual, muito mais limitada que a lei de Ampère, pois só pode ser usada para o cálculo de Campos Magnéticos devidos a distribuições de Corrente Elétrica conhecidas e constantes ao longo do tempo.

Apresentamos duas classes de Representação Interna para cálculos de Campos Magnéticos. A C.B.1 descreve os processos de Representação Interna sem a realização da referência a aspectos conceituais. São casos muito comuns no cálculo de Campos Magnéticos, especialmente no início dos cursos de Eletromagnetismo. A C.B.2 descreve estes processos fazendo referência aos aspectos conceituais.

C.B.1. – Calcular o Campo Magnético sem fazer referência a aspectos conceituais

Esta possível classe de Representações Internas parece executar o cálculo do Campo Magnético tomando-o como uma função da Corrente Elétrica e da distância a um ponto no Espaço. Há, neste, o uso do conceito de Circulação Magnética como uma regra operacional de Cálculo de Campo Magnético, pois trabalha com a ideia da dependência do Campo Magnético com a Corrente Elétrica e com a possibilidade de se conhecer o Campo Magnético a partir da expressão. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- A Lei de Ampère é dada por $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$;
- O **Campo Magnético** é uma função da **Corrente Elétrica**;
- O **Campo Magnético** é uma função da **Distância** de pontos convenientemente escolhidos nas **Fontes** a pontos do Espaço;
- O **Campo Magnético** resultante no espaço é a soma dos **Campos Elétricos** calculados a partir das **Correntes Elétricas** envolvidas no problema;

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante A (Estudo II – Tarefa IV – Campo Magnético – Questão I)

Situação: Uma bobina toroidal, constituída de N espiras, é percorrida por uma corrente i . As expressões para o Campo Magnético da bobina toroidal são: $B_{int} = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi R}$ e $B_{ext} = 0$. Descreva o vetor Campo Magnético (direção, intensidade e sentido) para cada um dos sistemas.

Objetivos: Calcular o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_A$

Operações Recursivas: SE $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_A = B \oint dl = Bl_A$, ENTÃO $B(2\pi r) = Ni$.

Inferências: $B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r}$

“No toróide temos o Campo dado por $B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi r}$ ”

C.B.2. – Calcular o Campo Magnético fazendo referência a aspectos conceituais

Este possível tipo de Representações Internas (que engloba um Esquema e um Modelo Mental) calcula o Campo Magnético como uma função da Corrente Elétrica e da distância a um ponto no Espaço. Ele usa o conceito de Circulação como uma regra operacional de Cálculo de Campo Magnético, pois trabalha com a ideia da dependência do Campo Magnético com a Corrente Elétrica e com a possibilidade de se conhecer o Campo Magnético a partir da expressão. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- A Lei de Ampère é dada por $\oint \vec{B}_R \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$;
- O **Campo Magnético** é uma função da **Corrente Elétrica**;
- O **Campo Magnético** é uma função da **Distância** de pontos convenientemente escolhidos nas **Fontes** a pontos do Espaço;
- O **Campo Magnético** resultante no espaço é a soma dos **Campos Magnéticos** calculados a partir das **Correntes Elétricas** envolvidas no problema;
- A **Circulação Magnética** é relativa ao **Campo Magnético** resultante devido a todas as **Correntes Elétricas** do problema;
- A **Circulação Magnética** é relativa à **Corrente Elétrica** no interior da **Curva Amperiana**;

- g. A **Simetria** da distribuição de **Corrente Elétrica** com respeito à **Amperiana** leva a uma **Circulação Magnética** constante;
- h. A **Curva Amperiana** tem formato arbitrário e é escolhida de acordo com a distribuição de **Corrente Elétrica**.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante A (Estudo I – Tarefa IV – Campo Magnético – Questão I)

Situação: Um fio muito comprido, conduzindo uma corrente i e tendo raio R , possui expressões para o Campo Magnético da forma: $B_{int} = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2}$ e $B_{ext} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$. Descreva o vetor Campo Magnético (direção, intensidade e sentido) para cada um dos sistemas.

Objetivos: Calcular o Campo Magnético

Conhecimentos-em-ação: $C_j = \oint_{\gamma_j} \vec{B}_R \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_A$ | - | $\vec{B}_R = \sum_j \vec{B}_j$ | - | O sentido das correntes tomadas como positivas e negativas é arbitrário e depende do sentido adotado para integração sobre a Amperiana

Operações Recursivas: **SE** a distribuição de correntes elétricas apresenta simetria da distribuição de correntes com respeito à curva amperiana circular, **ENTÃO** $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_A = B \oint dl = B l_A$: a) ($r > R$) **SE** o Campo Magnético é calculado no exterior do fio, **ENTÃO** $i_A = i$. **SE** a gaussiana é um círculo de raio r , **ENTÃO** $l_A = 2\pi r$. b) ($r < R$) **SE** o Campo Magnético é calculado no interior do fio $i_G = f i$, onde $f = \frac{r^2}{R^2}$ é a fração da corrente total englobada pela curva amperiana e **SE** a corrente Elétrica é distribuída uniformemente, **ENTÃO** $i_A = \frac{i r^2}{R^2}$ e $l = 2\pi r$

Inferências: Um Fio conduzindo corrente Elétrica i produz um Campo Magnético $\vec{B} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \hat{\phi} \forall r > R$ e $\vec{B} = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2} \hat{\phi} \forall r < R$ que satisfaz à lei de Ampère.

“ $\oint \vec{B} \cdot \hat{n} dl = \mu_0 i$ escolhemos uma amperiana circular de raio r . Tomando a simetria da corrente, $B \oint dl = \mu_0 i \rightarrow B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$ (Cálculo análogo é realizado para regiões no interior do fio)”

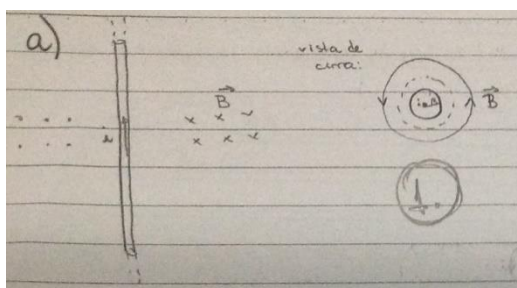


Figura 19: Representação esquemática da Situação apresentada pelo estudante A

Em Eletrodinâmica

Nas UEPS de Campo Eletromagnético (Eletrodinâmica), foi possível mapear quatro grandes classes de Situações, a saber, Descrição de Interações Eletromagnéticas (I.J), Representação Analógica do Campo Eletromagnético (A.J), Representação Simbólica do Campo Eletromagnético (S.J) e Cálculo do Campo Eletromagnético (C.J). As Situações apresentadas podem se enquadrar dentro de uma ou de mais de uma

classe, no entanto, podemos entender o domínio do conceito de Campo Eletromagnético como associado ao domínio destas quatro classes de Situações.

Descrever Interações Eletromagnéticas (I.J)

As Situações da classe I.J requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à Interação ocorrente entre Objetos Eletricamente Carregados com Carga Elétrica variável ou em movimento variado. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever a forma pela qual interagem, via Campo Elétrico ou Campo Magnético, dois portadores de Cargas Elétricas dinâmicas e como será a dinâmica de um objeto de prova. Apresentamos um exemplo abaixo:

“Se o Sol desaparecesse ou de alguma forma mudasse rapidamente, explique por que demoraria a que percebêssemos esta variação somente oito minutos depois. Quer dizer que agora estamos vendo luz do passado?”

Para descrever as Interações Eletromagnéticas, ou seja, para fazer referência à Interação mais abrangente possível entre dois portadores de Carga Elétrica dinâmicos, é preciso:

- a. Identificar Cargas Elétricas interagentes em repouso, em movimento ou com Carga Elétrica variável;
- b. Identificar a interação ocorrendo entre Objetos como de natureza Eletromagnética;
- c. Aplicar da lei de Interação (Lei de Lorentz $F = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}]$ ou alguma lei relacionando a interação-à-distância entre Cargas Elétricas dinâmicas);
- d. Descrever a dinâmica dos objetos interagentes.

Certas vezes, foi possível observar condutas organizadas de forma invariante e certa estabilidade na descrição. Identificamos um Esquema para descrever a Interação Magnética quando os estudantes organizam suas Operações de Pensamento de forma invariante para uma mesma classe de Situações.

O passo c é epistemologicamente e ontologicamente mais importante, porque é este ponto que distingue entre as possíveis Representações Internas (cada uma engloba um Esquema para descrever ações na memória de longo prazo e um Modelo Mental para descrever ações na memória de trabalho) encontrados. Seguindo esta ideia nós descrevemos em termos da conceitualização dos estudantes sobre o conceito de Campo Magnético. Apresentamos seis Esquemas encontrados neste estudo para descrever as interações entre Objetos.

I.J.1. – Descrever interações Eletromagnéticas sem incluir o conceito de Campo Eletromagnético

Esta possível classe de Situações apresenta nos seus ingredientes (no caso do Esquema a relação é de propriedade e no caso do Modelo Mental a relação é de

“empréstimo”) os possíveis conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Força Magnética*, *Energia Elétrica*, *Energia Magnética*, *Interação Elétrica*, *Interação Magnética*, *Cargas Elétricas* e *Correntes Elétricas*. Ele permite ao estudante explicar Situações incluindo *Campos Elétricos Estacionários*, porque nestas situações não há atraso na interação, então tudo pode ser descrito com as leis de Newton, Coulomb e Biot-Savart. Este Esquema trata a Força Eletromagnética como uma junção dos efeitos Elétrico e Magnético, isto é, trata eletricidade e magnetismo como disjuntos.

Incluimos nesta possível classe de Representações Internas todas as explicações que não usavam o conceito de Campo Elétrico e Campo Magnético para descrever interações. Estudantes usam os conceitos de Força Elétrica e Força Magnética, uma vez que para eles o conceito de Campo Elétrico é supérfluo. Isto se revela, nesta etapa, cada vez mais insustentável, pois as Interações Eletromagnéticas para serem descritas de maneira mais abrangente, precisam do conceito de Campo Eletromagnético.

Os teoremas-em-ação mais fundamentais e descritivos deste Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- *Força Elétrica e Campo Elétricos são idênticos;*
- *Força Magnética e Campo Magnético são idênticos;*
- *Forças Elétricas são exercidas instantaneamente à distância;*
- *Forças Magnéticas são exercidas instantaneamente à distância;*
- *Trocas de Energia Elétrica entre objetos carregados eletricamente são instantâneas;*
- *Trocas de Energia Magnética entre Correntes Elétricas são instantâneas*
- *Objetos carregados eletricamente possuem Energia;*
- *Correntes Elétricas possuem Energia.*

Como atestado anteriormente, esta possível classe de Representações Internas é uma forte dificuldade para o domínio de situações envolvendo Indução Eletromagnética ou Propagação de Ondas Eletromagnéticas e, felizmente, só ocorreram em casos muito raros⁷⁷. Este Esquema, portanto, pode ser entendido como um Obstáculo Epistemológico para o domínio do conceito de Campo Eletromagnético em Física.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante I (Estudo II – Tarefa IV – Campo Eletromagnético – Questão II)

Situação: Nos geradores em que o rotor é um eletroímã localizado internamente a um estator constituído por bobinas, para manter o movimento de rotação é necessário um torque externo, além daquele realizado contra as Forças de atrito. Discuta a necessidade desse torque externo na manutenção do movimento do rotor, partindo do princípio de que na ausência de torques externos a quantidade de movimento angular (momento angular) se mantém constante.

Objetivos: Descrever Interações Eletromagnéticas

⁷⁷ Consideramos estes casos serem Modelos Mentais, tentativas de apreender Situações usando diretamente o conceito de Força Eletromagnética.

Conhecimentos-em-ação: *O Torque resultante depende da soma dos Torques externos aplicados no objeto*

Operações recursivas: SE temos um gerador, ENTÃO precisamos ceder energia mecânica através de um Torque. SE o Torque do atrito for desconsiderado, ENTÃO o Torque externo deve ser constante e o objeto acelerará indefinidamente.

Inferências: Quando não se aplica o torque do atrito, o rotor giraria indefinidamente.

I.J.2. – Descrever interações Eletromagnéticas usando o conceito de Campo Eletromagnético como uma entidade geral

Esta possível classe de Representações Internas inferidas apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica, Força Magnética, Energia Elétrica, Energia Magnética, Interação Eletromagnética, Cargas Elétricas, Correntes Elétricas, Campo Magnético, Campo Elétrico, Força Eletromotriz⁷⁸ e Indução Eletromagnética*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo tanto *Campos Dinâmicos como Campos Estáticos*. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema (usados pelo Modelo Mental) são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;*
- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Elétrica entre duas ou mais Cargas Elétricas (em repouso ou em movimento);*
- *Campo Elétrico é uma representação matemática associada à ação de Forças Elétricas em pontos no Espaço, e pode depender da Carga Elétrica de Fonte;*
- *Campo Elétrico é uma representação matemática associada à ação de Forças Elétricas em pontos no Espaço, e pode depender da variação temporal de um Campo Magnético;*
- *Forças Elétricas são exercidas entre Objetos carregados eletricamente e o Campo Elétrico descreve esta Interação;*
- *Campo Magnético é uma representação matemática associada à ação de Forças Magnéticas em pontos no Espaço, e pode depender da Corrente Elétrica de Fonte;*
- *Campo Magnético é uma representação matemática associada à ação de Forças Magnéticas em pontos no Espaço, e pode depender da variação temporal de um Campo Elétrico;*
- *Trocas de Energia Elétrica entre objetos não são instantâneas;*
- *Trocas de Energia Magnética entre objetos não são instantâneas*
- *Objetos carregados eletricamente possuem Energia;*
- *Correntes Elétricas possuem Energia*

⁷⁸ Ocorre, por vezes, de os estudantes confundirem Diferença de Potencial com Força Eletromotriz. Não é muito comum e, portanto, atribuímos o símbolo de confusão conceitual quando os alunos confundem as duas instâncias. Em uma das tarefas questionamos a diferença entre os conceitos e, em geral, os estudantes distinguem DDP de FEM através da ideia da causa, no primeiro caso, ser um Campo Elétrico Coulombiano com Circulação nula e no segundo um Campo Elétrico não Coulombiano com Circulação não nula.

- **Campos Elétricos possuem Energia Elétrica;**
- **Campos Magnéticos possuem Energia Magnética;**
- **Campos Elétricos se superpõem;**
- **Campos Magnéticos se superpõem.**

Incluimos nesta possível classe de Representações Internas inferidas todas as explicações dadas usando os conceitos de Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Eletromagnética de forma geral. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso dos conceitos de Campo Elétrico, Campo Magnético e Indução Eletromagnética de uma maneira geral na conceitualização. Abaixo apresentamos exemplos de possíveis Modelos Mentais e de possíveis candidatos a Esquemas.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante J (Estudo II – Tarefa II – Campo Eletromagnético – Questão II)

Situação: Suponha que você tenha três situações distintas. A figura abaixo mostra um Campo Magnético uniforme \vec{B} limitado a um volume cilíndrico de raio R . \vec{B} está decrescendo em intensidade a uma taxa constante. Qual a aceleração instantânea (direção, sentido e módulo) experimentada por um elétron posicionado em r_1 , em r_2 e no centro da circunferência?

Objetivos: Descrever Interações Eletromagnéticas

Conhecimentos-em-ação: $F = qE$ \neq Campo Elétrico é induzido por Campo Magnético variável no tempo $\neq F = ma$ $\neq \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \Phi_B$.

Operações Recursivas: SE $\frac{dB}{dt} < 0$, ENTÃO $C_E > 0$ e SE O Fluxo Magnético depende diretamente do Campo Magnético variando, ENTÃO o Fluxo Magnético diminui. SE $C_E = -\frac{d}{dt} \Phi_B$ e SE Φ_B diminui, ENTÃO $\frac{d}{dt} \Phi_B < 0$ e C_E é positivo para uma amperiana no sentido anti-horário. SE a circulação é positiva e SE a amperiana está no sentido anti-horário, ENTÃO o Campo Elétrico se orienta no sentido anti-horário. SE o Campo Elétrico está no anti-horário e SE $F = qE$, ENTÃO a Força Elétrica estará no sentido anti-horário. SE $C_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = El$ (para E constante), SE $\frac{dB}{dt} = kR^2$, ENTÃO $E = \frac{kR^2}{2r} \rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$

Inferências: A partícula será acelerada por uma Força Elétrica.

“Ao variarmos o Campo Magnético, será gerado um Campo Elétrico. Se tem Campo Elétrico, tem Força Elétrica. Foi pedido o módulo da aceleração: $F = qE = ma \rightarrow a = \frac{qE}{m}$ ”

Exemplo de Esquema:

Estudante C (Estudo III – Tarefa I – Campo Eletromagnético – Questão IV)

Objetivos: Descrever a interação Eletromagnética

Invariantes operatórios: *Varição de Campo Magnético induz corrente elétrica* \neq *Indução Eletromagnética está associada ao estabelecimento de uma Corrente Elétrica por um Campo Magnético variável.*

Regras de ação: **SE** há um Circuito Elétrico, **SE** o circuito é desligado e **SE** corrente elétrica é fonte de Campo Magnético **ENTÃO** há um Campo Magnético Variável na região da espira de baixo **SE** Variação do Campo Magnético induz Corrente Elétrica na lâmpada, **ENTÃO** há influência de algum agente na lâmpada.

Inferências: Ocorre indução eletromagnética de Corrente Elétrica na espira de baixo

“O circuito gera essa corrente através de indução eletromagnética, e como o circuito abaixo tem as características de um indutor, o mesmo vai gerar uma corrente e fazer o amperímetro registrá-la”

I.J.3. – Descrever interações Eletromagnéticas usando o conceito de Campo Eletromagnético como um Fluido mediando interações através do choque com outros Campos Eletromagnéticos

Esta possível classe de Representações Internas inferidas apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Força Magnética*, *Energia Elétrica*, *Energia Magnética*, *Interação Eletromagnética*, *Objetos eletricamente carregados*, *Corrente Elétrica*, *Campo Magnético*, *Campo Elétrico*, *Força Eletromotriz* e *Indução Eletromagnética*. Ela permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Elétricos Estáticos* e *Campos Elétricos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais apresentados, porém de uma maneira incorreta de acordo com o conhecimento cientificamente aceito. Parece-se com a ideia de Interação contígua à distância, assim como nos casos anteriores. As Ondas Eletromagnéticas, de acordo com esta Representação Interna, se chocariam umas com as outras. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;*
- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos eletricamente carregadas (em movimento ou em repouso);*
- *Força Magnética está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos eletricamente carregados em movimento;*
- *Campo Elétrico é um fluido associado à ação de Forças Elétricas em outros Campos Elétricos em pontos no Espaço, e pode depender da Carga Elétrica de fonte;*
- *Campo Magnético é um fluido associado à ação de Forças Magnéticas em outros Campos Magnéticos em pontos no Espaço, e pode depender das Correntes Elétricas de fonte;*
- *Campo Elétrico é um fluido associado à ação de Forças Eletromagnéticas em outros Campos Elétricos ou Magnéticos em pontos no Espaço, e pode depender da variação temporal de um Campo Magnético;*

- *Campo Magnético é um fluido associado à ação de Forças Eletromagnéticas em outros Campos Magnéticos ou Elétricos em pontos no Espaço, e pode depender da variação temporal de um Campo Elétrico;*
- *Forças Eletromagnéticas são exercidas entre Campos Elétricos e Campos Magnéticos que devolvem o efeito da Interação Elétrica de volta para o Objeto Eletricamente carregado ou para a Corrente Elétrica após a colisão;*
- *Trocas de Energia Elétrica entre Objetos eletricamente carregados ocorrem por transmissão contígua no Espaço;*
- *Trocas de Energia Magnética entre Correntes Elétricas ocorrem por transmissão contígua no Espaço;*
- *Objetos Eletricamente carregados possuem Energia;*
- *Correntes Elétricas possuem Energia;*
- *Campos Elétricos possuem e carregam Energia Elétrica;*
- *Campos Magnéticos possuem e carregam Energia Magnética.*

Foram incluídas nessas possíveis classes de Representação Interna (incluindo um Modelo Mental e um Esquema) todas as explicações dadas usando o conceito de Campo Elétrico seguindo um pensamento Choquista-Substancialista⁷⁹ (Pantoja e Moreira, 2015; Bachelard, 1996). Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo. Com o Modelo Mental o estudante pode enquadrar o conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova. Esta forma pode, no entanto, se estabilizar em um Esquema cientificamente alternativo, porém fruto de Aprendizagem Significativa.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante P (Estudo I – Avaliação Somativa – Campo Eletromagnético – Questão III)

Objetivos: Descrever Interações Eletromagnéticas

Conhecimentos-em-ação: $\vec{F} = \vec{F}[\Phi_B(\vec{B})]$ | *Corrente Elétrica é induzida por Fluxo Magnético*

Operações Recursivas: SE um pêndulo cai em uma região de Campo Magnético, ENTÃO há uma Interação Eletromagnética. SE a Corrente Induzida depende do Fluxo Magnético e SE $\vec{F} = \vec{F}[\Phi_B(\vec{B})]$, ENTÃO quanto maior o Fluxo, maior a Força Magnéticas sobre o objeto. SE a barra com ranhuras tem um Fluxo de Campo Magnético maior, pois passa mais Campo Magnético no meio da barra, ENTÃO maior a Força Magnética exercida sobre a Barra.

Inferências: Quanto maior o Fluxo do Campo Magnético, maior a Força Magnética

“Como a barra apresenta ranhuras exatamente por onde passa o Campo Magnético, o Fluxo Magnético através da barra é maior, o que faz com que a Força Eletromagnética seja maior”.

⁷⁹ O pensamento substancialista imagina todas as coisas e fenômenos de uma perspectiva da substância: o Campo é substância, o Calor é substância, a Carga Elétrica é substância. No caso do pensamento choquista, tudo é choque, colisão: as Forças são empurrões e puxões, o Campo é um conjunto de tensões e deformações, o Calor se choca com o objeto com o qual ele realiza trocas. O Campo, numa perspectiva, substancialista-choquista é uma substância que interage com outros Campos, igualmente substanciais, e deste choque decorre as alterações dinâmicas dos objetos geradores destes Campos.

Estudante J (Estudo II – Tarefa I – Campo Eletromagnético – Questão III)

Objetivos: Descrever Interações Eletromagnéticas

Conhecimentos-em-ação: *Campo Magnético estabelece Corrente Elétrica num Circuito* /=/

Regras de ação: SE temos um Circuito de Corrente Elétrica e SE é registrada uma Corrente Elétrica em outro Circuito, ENTÃO há uma Interação Eletromagnética. SE o Campo Magnético é estabelecido pelo Circuito de cima e há uma Corrente Elétrica no circuito de baixo, ENTÃO há a ação do Campo Magnético que se propaga do Circuito de baixo e influencia o Circuito de cima, estabelecendo o movimento das Cargas Elétricas.

Inferências: O amperímetro marca uma Corrente Elétrica no Circuito.

“O Circuito gera um Campo Magnético porque há corrente. Por sua vez, o Campo Magnético faz com que haja Corrente e a Corrente seja medida no amperímetro.”

I.J.4. – Descrever interações Eletromagnéticas usando o conceito de Campo Eletromagnético como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos

Esta possível classe de Representações Internas (englobando um Esquema e um Modelo Mental) apresenta o Campo Elétrico como uma entidade que existe no Espaço e transporta a Energia de um Objeto Eletricamente Carregado (em movimento ou em repouso) a outro. Tal Representação Interna interpreta o Campo Elétrico existindo na região fora das fontes e é apenas um suporte para a transferência de Energia, conforme já apresentado anteriormente.

Esta possível classe de Representações Internas apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica, Força Magnética, Energia Elétrica, Energia Magnética, Interação Eletromagnética, Carga Elétrica, Corrente Elétrica, Campo Elétrico, Campo Magnético, Força Eletromotriz e Indução Eletromagnética*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Estáticos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;*
- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos eletricamente carregados (em movimento ou em repouso);*
- *Força Magnética está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos eletricamente carregados em movimento;*
- *Campo Elétrico é uma grandeza Física associada à ação de Forças Elétricas sobre Cargas Elétricas de prova em pontos no Espaço e pode depender da Carga Elétrica de fonte;*

- **Campo Elétrico** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças Elétricas** sobre **Cargas Elétricas de prova** em pontos no **Espaço** e pode depender da variação de um **Campo Magnético**;
- **Campo Magnético** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças Magnéticas** sobre **Correntes Elétricas de prova** em pontos no **Espaço** e pode depender das **Correntes Elétricas de fonte**;
- **Campo Magnético** é uma grandeza Física associada à ação de **Forças Magnéticas** sobre **Correntes Elétricas de prova** em pontos no **Espaço** e pode depender da variação de um **Campo Elétrico**;
- **Forças Elétricas** são exercidas por **Campos Elétricos** sobre **Objetos eletricamente carregados** (em repouso ou em movimento);
- **Forças Magnéticas** são exercidas por **Campos Magnéticos** sobre **Objetos eletricamente carregados** em movimento;
- **Campos Elétricos** realizam **Trabalho** sobre **Objetos eletricamente carregados**;
- **Campos Magnéticos** não realizam **Trabalho** sobre **Objetos eletricamente carregados** em movimento;
- **Trocas de Energia** entre **Objetos Eletricamente carregados** não são instantâneas e mediadas por uma **Onda Eletromagnética**;
- **Objetos Eletricamente carregados** possuem **Energia**;
- **Correntes Elétricas** possuem **Energia**;
- **Campos Elétricos** transportam **Energia Elétrica**, mas não a possuem;
- **Campos Magnéticos** transportam **Energia Magnética**, mas não a possuem;
- **Campos Elétricos** se superpõem;
- **Campos Magnéticos** se superpõem.

Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Elétrico como um suporte para a transferência direta de Energia entre Objetos eletricamente carregados. Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, mas parcialmente coerente com o conhecimento científico. Existe uma diferença no terceiro passo da organização da ação, pois há agora o uso do conceito de Campo como um transportador de Energia.

Exemplo de Esquema:

Estudante G (Estudo III – Tarefa I – Campo Eletromagnético – Questão IV)

Situação: Quando o circuito de cima, na figura abaixo, é aberto, detecta-se experimentalmente que o amperímetro G no circuito de baixo registra uma corrente. Explique em detalhes por que uma corrente aparece no circuito de baixo.

Objetivos: Descrever interações eletromagnéticas

Conhecimentos-em-ação: *Abrir o circuito está associado a interromper a corrente elétrica |=| A indução eletromagnética ocorre à distância |=| Campo Magnético transporta Energia de um ponto ao outro no Espaço*

Regras de ação: SE um Circuito conduz Corrente Elétrica e SE o Circuito é aberto, ENTÃO há uma Interação Eletromagnética. SE a indução eletromagnética ocorre à distância e SE abrir o circuito está associado à interrupção de corrente, ENTÃO abrir o Circuito faz com que o Campo Magnético seja propagado de um ponto a outro do Espaço e transporte a Energia do Circuito de cima para o de baixo.

Inferências: A corrente elétrica é transportada de um fio para o outro através do transporte de Energia.

“Porque somente quando o circuito é aberto que o campo magnético entrará em contato com a corrente que é registrada no amperímetro”.

I.J.5 – Descrever interações Eletromagnéticas usando o conceito de Campo Eletromagnético de acordo com o Modelo aceito de interação entre Partículas e Campos usando a abordagem microscópica

Esta possível classe de Representações Internas (englobando um Esquema e um Modelo Mental) apresenta o Campo Eletromagnético como uma entidade que existe no Espaço, possui Energia e a transporta pelo Espaço. Entende o Campo Eletromagnético, existindo também na região exterior às fontes, sendo o agente das Forças Eletromagnéticas. O fenômeno da Indução Eletromagnética de Corrente Elétrica em um Circuito é feita a partir de uma abordagem microscópica baseada na Interação entre um Campo Eletromagnético e um portador de Carga.

Esta possível classe de Representações Internas (englobando um Esquema e um Modelo Mental) apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Força Magnética*, *Energia Elétrica*, *Energia Magnética*, *Interação Eletromagnética*, *Cargas Elétricas*, *Correntes Elétricas*, *Campo Elétrico*, *Campo Magnético*, *Força Eletromotriz*, *Indução Eletromagnética*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Elétricos Estáticos e Campos Elétricos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores. Os principais teoremas-em-ação associados a este Esquema e “emprestados” pelo Modelo Mental são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias epistemologicamente distintas;*
- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos Eletricamente Carregados;*
- *Força Magnética está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos Eletricamente Carregados em movimento;*
- *Campo Elétrico é uma grandeza Física associada à ação de Forças Elétricas sobre Cargas Elétricas de prova em pontos no Espaço e podem depender somente da Carga Elétrica de fonte;*
- *Campo Elétrico é uma grandeza Física associada à ação de Forças Elétricas sobre Cargas Elétricas de prova em pontos no Espaço e podem depender da variação de um Campo Magnético;*
- *Forças Elétricas são exercidas por Campos Elétricos sobre Objetos eletricamente carregados;*

- **Forças Magnéticas** são exercidas por **Campos Magnéticos** sobre **Objetos eletricamente carregados em movimento**;
- **Campos Elétricos** realizam **Trabalho** sobre objetos eletricamente carregados;
- **Campos Magnéticos** não realizam **Trabalho** sobre objetos eletricamente carregados (em repouso ou em movimento);
- **Trocas de Energia** entre **Objetos eletricamente carregados** (em repouso ou em movimento) não são instantâneas;
- **Objetos eletricamente carregados** possuem **Energia Cinética**;
- **Campos Elétricos** possuem **Energia e Momentum** e os transportam pelo **Espaço**;
- **Campos Magnéticos** possuem **Energia e Momentum** e os transportam pelo **Espaço**;
- **Campos Elétricos** se superpõem;
- **Campos Magnéticos** se superpõem;
- A **Força Eletromotriz induzida** é produzida por uma **Força Magnética** quando há movimento de um condutor em uma região de **Campo Magnético** estacionário;
- A **Força Eletromotriz induzida** é estabelecida através de uma **Força Elétrica** exercida por um **Campo Elétrico induzido** quando em uma região de **Campo Magnético** variável.

Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Eletromagnético como uma entidade mediando trocas de Energia entre Objetos eletricamente carregados e Campos Eletromagnéticos. Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, coerente com o conhecimento científico.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante G (Estudo II - Tarefa II – Campo Eletromagnético - Questão I)

Situação: Descreva uma forma de transformar a energia química da gordura em energia elétrica.

Objetivos: Descrever Interações Eletromagnética

Conhecimentos-em-ação: $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS = E = Ri_{ind} \quad | \Rightarrow \text{A Força Eletromagnética exercida pelo Campo Eletromagnético sob uma Carga Elétrica de prova é dada por } F = q[\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}] \quad | \Rightarrow \vec{E}(t)\alpha - \frac{d}{dt} \vec{B}(t).$

Operações Recursivas: **SE** $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$ e **SE** o Ímã se move, **ENTÃO** o Campo Magnético produzido por ele no espaço se altera com o tempo. **SE** o Campo Magnético é variável, **ENTÃO** o Campo Elétrico estabelece uma Corrente Elétrica induzida. **SE** existe uma Corrente Elétrica induzida e **SE** Correntes Elétricas induzidas satisfazem à lei de Lenz, **ENTÃO** a Corrente Elétrica cria um Campo Magnético que se opõe à variação do Fluxo Magnético.

Inferências: O Campo Magnético variável induz uma Corrente Elétrica no Espaço.

“... como há variação do campo magnético do ímã porque ele tá em movimento, surge um campo elétrico na espira que induz uma corrente com sentido tal que gere um campo magnético que se opõe ao movimento do ímã (p/conservar energia)”.

I.E.6 – Descrever interações Eletromagnéticas usando o conceito de Campo Eletromagnético de acordo com o Modelo aceito de interação entre Partículas e Campos usando a abordagem macroscópica

Esta possível classe de Representações Internas (englobando um Esquema e um Modelo Mental) apresenta o Campo Eletromagnético como uma entidade que existe no Espaço, possui Energia e a transporta pelo Espaço. Entende o Campo Eletromagnético, existindo também na região exterior às fontes, sendo o agente das Forças Eletromagnéticas. O fenômeno da Indução Eletromagnética de Corrente Elétrica em um Circuito é feita a partir de uma abordagem macroscópica baseada na descrição da Corrente Elétrica através do conceito de Força Eletromotriz induzida, sem fazer referência à sua origem.

Esta possível classe de Representações Internas apresenta em seus ingredientes os conceitos-em-ação de *Força Elétrica*, *Força Magnética*, *Energia Elétrica*, *Energia Magnética*, *Interação Eletromagnética*, *Cargas Elétricas*, *Correntes Elétricas*, *Campo Elétrico*, *Campo Magnético*, *Força Eletromotriz*, *Indução Eletromagnética*. Ele permite aos estudantes explicar situações incluindo *Campos Elétricos Estáticos* e *Campos Elétricos Dinâmicos* assim como os Esquemas e Modelos Mentais anteriores. Os principais teoremas-em-ação associados ao Esquema e usados pelo Modelo Mental são:

- *Força Elétrica e Campo Elétrico são distintas categorias;*
- *Força Magnética e Campo Magnético são distintas categorias;*
- *Força Elétrica está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos Eletricamente Carregados;*
- *Força Magnética está associada a uma Interação Eletromagnética entre dois ou mais Objetos Eletricamente Carregados em movimento;*
- *Campo Elétrico é uma grandeza Física associada à ação de Forças Elétricas sobre Cargas Elétricas de prova em pontos no Espaço e podem depender somente da Carga Elétrica de fonte;*
- *Campo Elétrico é uma grandeza Física associada à ação de Forças Elétricas sobre Cargas Elétricas de prova em pontos no Espaço e podem depender da variação de um Campo Magnético;*
- *Forças Elétricas são exercidas por Campos Elétricos sobre Objetos eletricamente carregados;*
- *Forças Magnéticas são exercidas por Campos Magnéticos sobre Objetos eletricamente carregados em movimento;*
- *Campos Elétricos realizam Trabalho sobre objetos eletricamente carregados;*
- *Campos Magnéticos não realizam Trabalho sobre objetos eletricamente carregados (em repouso ou em movimento);*

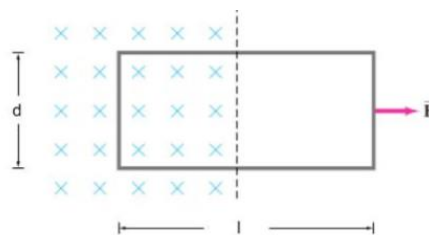
- **Trocas de Energia** entre **Objetos eletricamente carregados** (em repouso ou em movimento) não são instantâneas;
- **Objetos eletricamente carregados** possuem **Energia Cinética**;
- **Campos Elétricos** possuem **Energia e Momentum** e os transportam pelo **Espaço**;
- **Campos Magnéticos** possuem **Energia e Momentum** e os transportam pelo **Espaço**;
- **Campos Elétricos** se superpõem;
- **Campos Magnéticos** se superpõem;
- A **Força Eletromotriz induzida** é produzida por uma **variação de Fluxo Magnético** quando há movimento de um condutor em uma região de **Campo Magnético** estacionário;
- A **Força Eletromotriz induzida** é produzida por uma **Força Elétrica** exercida por um **Campo Elétrico induzido** quando em uma região de **Campo Magnético** variável.

Através deste Esquema o estudante pode revelar uma conduta de longo prazo de explicar as interações usando o conceito de Campo Eletromagnético como uma entidade mediando trocas de Energia entre Objetos eletricamente Carregados e Campos Eletromagnéticos. Um Modelo Mental deste tipo pode indicar o enquadre do conceito de Campo na descrição de interações, resultando na adaptação de sua Estrutura Cognitiva a uma Situação nova, coerente com o conhecimento científico, porém limitado do ponto de vista de mais completo de Indução Eletromagnética.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante H (Estudo III – Avaliação somativa – Campo Eletromagnético – questão IV)

Situação: Parte de uma bobina retangular simples com dimensões mostradas na figura abaixo é situada em uma região de Campo Magnético de intensidade B . A resistência total da bobina é r . Calcule a Força necessária para retirar a bobina do Campo (para a direita) a uma velocidade constante v . Desconsidere a gravidade.



Objetivos: Descrever Interações Eletromagnéticas

Conhecimentos-em-ação: $|E| = \left| \frac{d}{dt} \Phi_b \right|$ $|\Phi_B = BDx|$ $v = \frac{dx}{dt}$ $|\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B}$

Operações Recursivas: **SE** retiramos a espira de uma região de Campo Magnético constante, **ENTÃO** há diminuição do Fluxo Magnético. **SE** o Fluxo Magnético diminui e **SE** o objeto está sendo puxado com

velocidade constante, ENTÃO deve ter um valor de corrente para o qual ele apresenta esta configuração. SE $|E| = \left| \frac{d}{dt} \Phi_b \right|$, SE $\Phi_B = BDx$ e SE $v = \frac{dx}{dt}$, ENTÃO $E = BDv = Ri \rightarrow i = \frac{BDv}{R}$.

Inferências: a corrente induzida para que a espira seja movida a velocidade constante é $i = \frac{Bdv}{R}$

“A variação do Fluxo Magnético induz uma corrente na bobina que recebe uma força dada por $\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B}$. O sentido da corrente é resultante da lei de Lenz”.

Representar Analogicamente o Campo Eletromagnético (A.J)

Referimo-nos a Representações Analógicas do Campo Magnético como Representações feitas no sentido de guardar semelhança estrutural, visual e pictórica com a forma do Campo Magnético no Espaço, logo as Representações através Diagramas de Seta e de Linhas de Campo satisfazem a este tipo de representação. Este ponto foi discutido no Referencial Teórico e anteriormente na discussão do conceito de Campo de Interações.

Para dominar estas Situações, o Estudante precisa fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo Magnético, ou seja, às Cargas Elétricas em movimento. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação (Lei de Gauss do Magnetismo ou lei de Ampère) ou informação sobre o Campo Magnético, a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, refere-se à percepção do tamanho da Seta ou do espaçamento das Linhas.

- Identificação das Fontes de Campo Eletromagnético, isto é, Cargas Elétricas em movimento, Cargas Elétricas variáveis, Campos Elétricos variáveis, Campos Magnéticos variáveis;
- Identificação de Pontos do Espaço;
- Associação de Vetores Campo Elétrico ou Magnético a pontos do Espaço;
- Estabelecimento da Representação do Campo Eletromagnético.

Pelo relativo costume com as Situações nas quais é preciso representar analogicamente o Campo Magnético, os alunos, em geral, não explicitavam tanto as etapas de realização deste processo, mas quando o faziam, em geral não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante. Ao longo do tempo é natural ocorrer esta organização.

A primeira classe de possíveis Representações Internas A.J.1 (Esquemas S.A.J.1 e Modelos Mentais M.A.J.1) é uma classe considerando o Campo Magnético (com linhas fechadas) e o Campo Elétrico (com linhas fechadas longe da fonte e linhas abertas próximo à fonte) como existindo somente no exterior das fontes.

A segunda classe de possíveis Representações Internas (englobando o Esquema S.A.J.2. e o Modelo Mental M.A.J.2), denominada A.J.2, é uma classe considerando o

Campo Elétrico e o Campo Magnético como existindo tanto no interior como no exterior das regiões onde haja fontes de Campo Eletromagnético. Ele leva em conta a existência do Campo Eletromagnético no espaço inteiro, incluindo o interior das fontes, sendo mais adequado e completo que as possíveis Representações Internas inferidas da classe A.J.1.

Os Modelos Mentais e Esquemas estão ligados (através de relação de empréstimo ou de posse), no entanto, a um conjunto de conhecimentos-em-ação (conceitos-em-ação e teoremas-em-ação, respectivamente). Destes elementos, estudantes constroem Operações Recursivas (no caso de Modelos Mentais) e Regras de Ação (no caso de Esquemas) provisórias que permitem a criação de inferências com respeito às situações. O Objetivo fundamental destas situações é representar o Campo Analogicamente através de linhas de Campo e de Diagramas de seta. Os conhecimentos em ação são apresentados abaixo.

- a. *O Campo Eletromagnético é uma função do tempo e da distância medida das fontes de Campo Elétrico ou Campo Magnético a um ponto no Espaço;*
- b. *O Campo Magnético é criado por Corrente Elétrica de fonte e de um Campo Elétrico variável;*
- c. *O Campo Elétrico é criado por Carga Elétrica de fonte e por Campo Magnético variável.*
- d. *Um vetor Campo Eletromagnético está associado a cada ponto do Espaço (definição de Campo Vetorial – uma função que associa um vetor a cada ponto do espaço);*
- e. *Intensidade do Campo Magnético é uma função do tempo e da distância da fonte a um ponto no Espaço;*
- f. *O Campo Eletromagnético é simétrico com respeito às fontes simétricas.*
- g. *O Campo Eletromagnético se propaga como uma Onda Eletromagnética*

A.J.1. – Representar Analogicamente o Campo Eletromagnético no exterior das Fontes

Esta classe de possíveis Representações Internas inferidas (englobando o Esquema S.A.J.1 e o Modelo Mental M.A.J.1) representa adequadamente o Campo Eletromagnético com apenas uma restrição: ele não o faz no interior de distribuições contínuas de Cargas Elétricas e/ou Correntes Elétricas. Sabemos existir o Campo Eletromagnético em todo espaço, incluindo o interior das fontes. Abaixo temos um exemplo de Modelo Mental adotado por um dos estudantes. Além dos teoremas-em-ação apresentado acima, temos o que afirma: “*O Campo Eletromagnético existe no exterior das distribuições de Carga Elétrica e/ou de Corrente Elétrica*”.

A.J.2. – Representar Analogicamente o Campo Eletromagnético no exterior e no interior das Fontes

Esta possível classe de possíveis Representações Internas inferidas (englobando o Modelo Mental M.A.J.2 e o Esquema S.A.J.2) representa adequadamente o Campo

Eletromagnético sem restrições aparentes. Nós sabemos ser o Campo Eletromagnético distribuído sobre todo o espaço, incluindo o interior das fontes (Cargas Elétricas e Correntes Elétricas) e isto pode ser associado a uma concepção de existência do Campo Eletromagnético sobre todo o espaço.

Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético (S.J.)

Referimo-nos a Representações Simbólicas como Representações feitas no sentido de guardar semelhança funcional, abstrata e de simbolismo com a forma do Campo Eletromagnético no Espaço, portanto, as Representações através de Equações de Fluxo (Lei de Gauss e Lei de Gauss do Magnetismo) e de Circulação (Lei de Faraday e Lei de Ampère) ou outros tipos de relação entre variáveis se enquadra neste tipo de Representação. Este ponto também foi discutido no Referencial Teórico.

As possíveis classes de Representação Interna para Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético diferem um pouco das possíveis classes de Representação Interna para Representar Analogicamente o Campo Eletromagnético por causa de um novo fator, a saber, a introdução dos conceitos de Fluxo e de Circulação. Distinguimos, basicamente, entre cinco classes de possíveis Representações Internas. Apresentamos abaixo um exemplo de Situação apresentada:

“Como a Lei de Faraday-Lenz $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$ pode ser comparada à de Ampère-Maxwell $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot \hat{n} dS$?”

Para dominar estas Situações, os estudantes precisam fazer referência, em primeiro lugar, às fontes de Campo Eletromagnético⁸⁰. Posteriormente, a referência é feita com respeito aos pontos do Espaço. É estabelecida, então, através de uma Equação⁸¹ ou informação sobre o Campo a referência ao Vetor Campo (intensidade, direção e sentido). Tanto em representação através de Diagramas de Seta como de Linhas de Campo, a referência à direção e ao sentido é feita com base na orientação da Linha ou da Seta. Quanto à intensidade, a referência é feita ao tamanho da Seta ou ao espaçamento entre as Linhas.

- a. Identificação das Fontes de Campo Magnético, isto é, Cargas Elétricas em movimento;
- b. Identificação de Pontos do Espaço;
- c. Mapeamento do Significado das Equações de Campo (Lei de Gauss do Magnetismo e/ou Lei de Ampère)
- d. Associação de Vetores a pontos do Espaço respeitando o passo c (ou não, no caso de não fazer referência às Equações de Campo);
- e. Estabelecimento da Representação Simbólica.

Pela relativa adaptação às Situações nas quais é preciso representar simbolicamente o Campo Eletromagnético, os alunos, em geral, já explicitavam mais as

⁸⁰ Carga Elétrica, Corrente Elétrica, Campos Elétricos variáveis, Campos Magnéticos variáveis.

⁸¹ Lei de Gauss, Lei de Gauss do Magnetismo, Lei de Ampère-Maxwell ou Lei de Faraday.

etapas de realização deste processo, porém muitas vezes não organizavam as Operações de Pensamento de forma invariante, assim como nas Situações da classe A. Desta forma, encontramos Modelos Mentais e Esquemas. Alguns Modelos Mentais, conforme já mencionado, estão em rota de estabilização e, com certo grau de prudência, é possível entender isto como uma das várias evidências necessárias para classificá-lo como Esquema.

S.J.1. – Representar simbolicamente o Campo Eletromagnético sem usar os conceitos de Fluxo ou de Circulação

Esta possível classe de Representação Interna (englobando o Esquema S.S.J.1 e o Modelo Mental M.S.J.1) associado a esta ação cognitiva apresenta o Campo Eletromagnético como uma função das fontes (Cargas Elétricas e Correntes Elétricas) e dependendo do instante de tempo e da distância das Cargas Elétricas e das Correntes Elétricas de fonte a pontos no espaço. Nesta possível classe de Representações Internas há menção os conceitos de Fluxo e de circulação sem discuti-los ou não há referência aos conceitos. Os alunos usam, portanto, as Equações de Maxwell de forma mais operacional que conceitual.

S.J.2. – Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação

Esta possível classe de Representação Interna (englobando o Esquema S.S.J.2 e o Modelo Mental M.S.J.2) representa simbolicamente o Campo Eletromagnético como uma função do tempo, da distância de um ponto às fontes, e das próprias fontes, a saber, Carga Elétrica e variação do Campo Magnético, no caso do Campo Elétrico, e a Corrente Elétrica e variação do Campo Elétrico, no caso do Campo Magnético. O conceito de Fluxo Elétrico/Magnético é tomado como um indicador da direção do Campo Elétrico/Magnético e a circulação como um indicador de um Campo representado por linhas fechadas.

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, a esta possível classe de Representações Internas deste tipo estão associados aos seguintes:

- a. *O Fluxo Elétrico, por estar associado à Componente Normal do Campo Elétrico à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Elétrico;*
- b. *O Fluxo Magnético, por estar associado à Componente Normal do Campo Magnético à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Magnético;*
- c. *A Circulação Elétrica, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Elétrico, indica se o Campo Elétrico tem padrão Circular;*
- d. *A Circulação Magnética, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Magnético, indica se o Campo Magnético tem padrão Circular;*

- e. *O Fluxo Elétrico por ser não nulo, pode indicar Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- f. *O Fluxo Magnético por ser nulo, pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares a partir das Fontes;*
- g. *A Circulação Elétrica em função de ser não nula, pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares⁸².*
- h. *A Circulação Magnética em função de ser não nula, pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante I (Estudo III – Tarefa III – Campo Eletromagnético – Questão I)

Situação: Existe alguma diferença entre os conceitos de Campo Elétrico induzido no espaço e Corrente Elétrica induzida em um circuito? Isto é, um destes conceitos é mais geral que o outro ou difere do outro em natureza? Explique.

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético

Conhecimentos-em-ação: *Campo magnético variável cria Campo Elétrico \neq Corrente elétrica possui Energia elétrica \neq Campo Elétrico existe no espaço \neq Corrente Elétrica e Campo Elétrico são Circulares.*

Operações Recursivas: **SE** existe alguma diferença entre Corrente Elétrica induzida e Campo Elétrico induzido, **ENTÃO** ela deve ser de origem ontológica, pois estas possuem a mesma orientação Circular. **SE** Campos Magnéticos variáveis no tempo criam Campos Elétricos induzidos, **SE** Corrente Elétrica tem Energia Elétrica e **SE** Campo Elétrico existe no espaço, **ENTÃO** a diferença se deve que a energia na corrente elétrica é transformada em outras formas de energia enquanto o Campo Elétrico permanece no espaço variando.

Inferências: a diferença entre o Campo Elétrico e a Corrente Elétrica é ontológica: a corrente elétrica só existe em materiais e o Campo Elétrico existe em qualquer ponto do Espaço.

“A diferença [entre Campo Elétrico e Corrente Elétrica] é uma forma mais geral, pois ambas surgem de uma variação do campo magnético (de um agente externo) e tem mesma orientação, mas o campo elétrico induzido é modificado em cada ponto do espaço e a energia elétrica da corrente induzida por ser transformada para outras formas de energia”.

S.J.3. – Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético fazendo referência às Fontes de Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação

Esta possível classe de Representações Internas (englobando o Esquema S.S.J.3 e o Modelo Mental M.S.J.4) representa Simbolicamente o Campo Eletromagnético como uma Função do tempo, da distância às Fontes e das próprias fontes. O Modelo

⁸² O termo indução é cunhado de forma diferente. Não queremos dar a impressão de a Indução ser um processo causal, isto é, seguindo as regras da causalidade. Dizer ser um Campo Magnético variável a causa de um Campo Elétrico, segundo a lei de Faraday, não procede no sentido literal. Um Campo Magnético cria um Campo Elétrico no Espaço ao mesmo tempo em que varia. Para falar de causalidade, devemos necessariamente abordar o problema geral de uma propagação de uma Onda Eletromagnética (fora e dentro da fonte), mas ainda assim, num instante de tempo t , um Campo Magnético cria simultaneamente um Campo Elétrico.

Mental também usa os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de Fontes de Campo no espaço.

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, a esta possível classe de Representações Internas deste tipo estão associados aos seguintes:

- a. *O Fluxo Elétrico é um indicador de Cargas Elétricas no Espaço;*
- b. *O Fluxo Magnético é um indicador da ausência de Monopólos Magnéticos;*
- c. *Campo Elétrico pode ser criado por Carga Elétrica monopolar;*
- d. *Campo Elétrico pode ser criado através da variação temporal de Campo Magnético no Espaço;*
- e. *Campo Magnético pode ser criado por Corrente Elétrica;*
- f. *Campo Magnético pode ser criado através da variação temporal de Campo Elétrico no Espaço;*
- g. *O Fluxo Elétrico por ser não nulo pode indicar Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- h. *O Fluxo Magnético pode ser nulo, indica Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares centradas nas Fontes.*
- i. *A Circulação Elétrica por ser não-nula pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares centradas nas Fontes.*
- j. *A Circulação Magnética por ser não-nula pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares centradas nas Fontes.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante B (Estudo II – Tarefa II – Campo Eletromagnético – Questão III)

Situação: Um solenóide de comprimento L e raio R (sendo $R \ll L$), com n espiras por unidade de comprimento, conduz uma corrente $i(t) = i_0 \text{sen}(\omega t + \phi)$. O que se pode afirmar (quantitativamente e qualitativamente) sobre o Campo Magnético e sobre o Campo Elétrico induzido no mesmo?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético

Conhecimentos-em-ação: *Campos Elétricos são criados pela variação temporal de Campos Magnéticos* \neq *Corrente Elétrica é fonte do Campo Magnético* \neq *Corrente Elétrica variável cria Campo Magnético variável* \neq *O Campo Magnético devido a um solenoide é uniforme e depende linearmente da Corrente Elétrica e do número de espiras* ($B = \mu_0 ni$)

Operações Recursivas: SE $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \oint \vec{B}_S \cdot \hat{n} dS$ e SE $B_S = \mu_0 ni$, ENTÃO para uma amperiana circular, temos que os Campos Elétrico e Magnético serão constantes com respeito à área. SE os Campos são constantes, ENTÃO $(2\pi r)E = -\mu_0 i_0 n r \frac{d}{dt} \text{sen}(\omega t + \phi) \rightarrow -\frac{1}{2} \mu_0 n i_0 \omega \cos(\omega t + \phi) r$.

Inferências: Ao alterar o Campo Magnético através de um solenoide, temos Campo Elétrico induzido no espaço.

“Um solenoide tem um Campo Magnético no seu interior, devido a corrente que passa por ele. Como essa corrente varia, pois é uma função do seno, o Campo Magnético também vai varia, gerando um Campo Elétrico induzido”.

Estudante C (Estudo II – Tarefa I – Campo Eletromagnético – Questão 4)

Situação: Um solenoide muito comprido conduz uma corrente $i(t) = i_0 \text{sen}(\omega t + \varphi)$, como varia o Campo Magnético deste? O que podemos falar, qualitativamente, do Campo Elétrico no espaço?

Objetivos: Representar o Campo Eletromagnético

Conhecimentos-em-ação: *Campos Elétricos são induzidos por Campos Magnéticos \neq Campos Magnéticos são perpendiculares a Campos Elétricos*

Regras de ação: **SE** Existe um Campo Magnético variável no tempo, **ENTÃO** um Campo Elétrico é induzido no Espaço. **SE** Campos Elétricos são induzidos por Campos Magnéticos e **SE** Campos Elétricos são perpendiculares a Campos Magnéticos, **ENTÃO** o Campo Elétrico no solenoide irá oscilar perpendicularmente ao Campo Magnético.

Inferências: O Campo Elétrico é oscilatório e perpendicular ao Campo Magnético

“O Campo varia em função de t . O Campo Elétrico irá oscilarem uma direção perpendicular ao Campo Magnético, apresentando mesmo período”.

S.J.4. – Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação

Esta possível classe de Representação Interna (envolvendo o Esquema S.S.J.4 e o Modelo Mental M.S.J.4 possivelmente representa simbolicamente o Campo Eletromagnético como uma função do tempo, das distâncias entre pontos e Fontes, e das próprias fontes. Ela também parece usar o conceito de Fluxo Elétrico/Magnético como um indicador da direção do Campo Elétrico e das Fontes de Campo Eletromagnético. Ela considera, ainda, a Circulação Elétrica/Magnética como um indicador de um Campo representado por Linhas Fechadas.

Além dos teoremas-em-ação apresentados para a classe da Representação Simbólica, estão associados às possíveis Representações Internas inferidas os seguintes:

- O Fluxo Elétrico, por estar associado à Componente Normal do Campo Elétrico à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Elétrico;*
- O Fluxo Magnético, por estar associado à Componente Normal do Campo Magnético à Superfície Gaussiana, aponta a direção do Campo Magnético;*
- A Circulação Elétrica, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Elétrico, indica se o Campo Elétrico tem padrão Circular;*
- A Circulação Magnética, por estar associada à Componente Tangencial do Campo Magnético, indica se o Campo Magnético tem padrão Circular;*
- O Fluxo Elétrico é um indicador de Cargas Elétricas no Espaço;*

- f. *O Fluxo Magnético é um indicador da ausência de Monopolos Magnéticos;*
- g. *Campo Elétrico pode ser criado por Carga Elétrica monopolar;*
- h. *Campo Elétrico pode ser criado através da variação temporal de Campo Magnético no Espaço;*
- i. *Campo Magnético pode ser criado por Corrente Elétrica;*
- j. *Campo Magnético pode ser criado através da variação temporal de Campo Elétrico no Espaço;*
- k. *O Fluxo Elétrico por ser não nulo pode indicar Vetores apontando radialmente a partir das Fontes;*
- l. *O Fluxo Magnético pode ser nulo, indica Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares centradas nas Fontes.*
- m. *A Circulação Elétrica por ser não-nula pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares centradas nas Fontes.*
- n. *A Circulação Magnética por ser não-nula pode indicar Vetores apontando ao longo de Linhas Circulares centradas nas Fontes.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante D (Estudo III – Tarefa V – Campo Eletromagnético – Questão II)

Situações: Como a Lei de Faraday-Lenz $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$ pode ser comparada à de Ampère-Maxwell $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot \hat{n} dS$?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético

Conhecimentos-em-ação: A lei de Ampère-Maxwell explica a constituição de **Campos Magnéticos** no espaço a partir de **Campos Elétricos** variáveis no tempo e de **Corrente Elétrica** \neq A lei de Faraday-Lenz explica a constituição de **Campos Elétricos** a partir de **Campos Magnéticos** variáveis \neq **Campos** com **Circulação** não nula são Circulares.

Operações Recursivas: **SE** A lei de Ampère-Maxwell explica a constituição de Campos Magnéticos no espaço a partir de Correntes Elétricas e Campos Magnéticos e **SE** A lei de Faraday-Lenz explica a constituição de Campos Elétricos a partir de Campos Magnéticos variáveis, **ENTÃO** as leis se relacionam através da ligação existente com respeito à variação dos Campos Elétrico e Magnético no tempo. **SE** Campos com Circulação não nula são Circulares, **ENTÃO** ambos os Campos Elétrico e Magnético apresentam, linhas Circulares.

Inferências: Campos Elétricos e Magnéticos circulares são gerados mutuamente por variação temporal.

“Significa fisicamente que campos elétricos circulares podem ser criados por variação de campos magnéticos. De modo similar, a segunda parte da lei de Ampère-Maxwell “diz” que campos magnéticos circulares podem ser criados por campos elétricos variáveis”.

S.J.5. – Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético identificando o conceito de Fluxo ou o de Circulação ao de Campo Eletromagnético

Esta possível classe de Representações Internas inferidas (englobando os Esquemas S.S.J.5 e Modelos Mentais M.S.J.5) aparenta representar o Campo Eletromagnético como uma função do tempo, das distâncias do ponto às fontes e das próprias fontes. O Modelo Mental se apropria, no entanto, dos conceitos de Fluxo

Elétrica/Magnética e de Circulação Elétrica/Magnética como similares aos de Campo Elétrico e Magnético, pois ele carrega consigo a ideia de os conceitos de Fluxo Elétrico/Magnético e de Circulação Elétrica/Magnética como funções dos Campos Elétrico e Magnético, logo semelhantes a ele. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo Mental:

- a. *O Fluxo do Campo Elétrico está associado à Componente Normal do Campo Elétrico, por isto é igual ao mesmo;*
- b. *O Fluxo do Campo Magnético está associado à Componente Normal do Campo Magnético, por isto é igual ao mesmo;*
- c. *A Circulação do Campo Elétrico está associada à Componente Tangencial do Campo Elétrico e por isto é igual ao mesmo;*
- d. *A Circulação do Campo Magnético está associada à Componente Tangencial do Campo Magnético e por isto é igual ao mesmo.*

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante L (Estudo I – Tarefa I – Campo Eletromagnético – Questão I)

Situações: É possível apresentar um exemplo de situação na qual seja possível afirmar, seguramente, que: você tenha um Campo Elétrico induzido, devido a variação do Campo Magnético?

Objetivos: Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético

Conhecimentos-em-ação: Fluxo Magnético variável induz Corrente Elétrica $|\propto|$ Fluxo Magnético variável é semelhante a Campo Magnético variável

Operações Recursivas: SE ímã cria Campo Magnético no Espaço, SE o Fluxo das Linhas de Campo Magnético é alterado com o movimento do ímã SE Fluxo de Campo Magnético variável no tempo induz corrente, ENTÃO um ímã se movendo tem induz uma corrente elétrica em uma espira.

Inferências: Corrente Elétrica é induzida dentro de uma espira.

“Ao aproximarmos e afastarmos, em um movimento periódico, o ímã da espira, geramos a variação do Campo dentro da espira. Isso acontece quando aproximamos o ímã da espira, as linhas de campos ficam mais próximas aumentando o fluxo. Quando afastamos ocorre o contrário. Temos uma variação constante de fluxo que gera uma corrente induzida”.

Calcular Campos Eletromagnéticos (C.J.)

As Situações da classe C.J requerem o estabelecimento de referência de Esquemas ou de Modelos Mentais à obtenção de Equações descrevendo o Campo Eletromagnético no Espaço, ao longo do tempo. Os elementos das Situações podem variar, mas sempre será necessário descrever uma Função da posição e do tempo para o Campo Eletromagnético criado por uma determinada distribuição de Cargas Elétricas e ou Correntes Elétricas. Apresentaremos um exemplo desta classe de Situações abaixo:

“Suponha duas cargas pontuais q e $-q$ dispostas sobre o eixo x em $x = -a$ e $x = a$, com uma corrente $i = -dq/dt$ ao longo da linha entre elas. a) Que forma assume a expressão para a intensidade do Campo Magnético? Justifique conceitualmente em um ponto P sobre o eixo y , a

uma distância R desta linha? b) Qual o valor para a corrente total (de condução e de deslocamento).”

Para calcular Campos Eletromagnéticos, ou seja, para fazer referência à equação regendo o Campo Eletromagnético, é preciso:

- Identificar Cargas Elétricas, Correntes Elétricas e Campos Elétricos ou Magnéticos variáveis, as fontes do Campo Eletromagnético;
- Identificar a geometria da Fonte;
- Analisar a distância de pontos da fonte convenientemente escolhidos a um ponto no espaço;
- Aplicação das Equações para cálculo do Campo Eletromagnético;
- Obtenção do resultado.

Por estarem fora do escopo do curso soluções para as Equações de Ampère-Maxwell e de Faraday, nas quais se tomariam em conta regiões no interior das fontes de Campos Elétrico e Magnético, nos restringimos ao uso das leis na forma integral. Desta forma, somente sistemas altamente simétricos foram englobados nesta análise e no Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético.

Apresentamos duas classes de Representação Interna para cálculos de Campos Elétricos. A C.J.1 descreve os processos de Representação Interna sem a realização da referência a aspectos conceituais. São casos muito comuns no cálculo de Campos Elétricos e Magnéticos, especialmente no início dos cursos de Eletromagnetismo. A C.J.2 descreve estes processos fazendo referência aos aspectos conceituais.

C.J.1. – Calcular o Campo Eletromagnético sem fazer referência a aspectos conceituais

Esta possível classe de Representações Internas (englobando o Esquema S.C.J.1 e o Modelo Mental M.C.J.1) parece calcular o Campo Eletromagnético como uma função do tempo, da distância de um ponto conveniente nas fontes a um ponto no espaço e das próprias fontes, a saber, Carga Elétrica, da Corrente Elétrica, da variação temporal de Campos Elétricos e Magnéticos. O Modelo Mental (Esquema) usa os conceitos de Fluxo e de Circulação como regras operacionais de Cálculo de Campos Elétricos e Magnéticos, pois trabalha com a ideia da dependência do Campo Eletromagnético com as fontes e com a possibilidade de se conhece-lo a partir da expressão. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- A Lei de Gauss é dada por $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$;
- A Lei de Faraday-Lenz é dada por $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \Phi_B$
- A Lei de Ampère-Maxwell é dada por $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_E$
- O Campo Elétrico pode ser uma função da Carga Elétrica;
- O Campo Magnético pode ser uma função da Corrente Elétrica;

- f. O **Campo Elétrico** pode ser uma função da variação de **Campos Magnéticos**;
- g. O **Campo Magnético** pode ser uma função da variação de **Campos Elétricos**;
- h. O **Campo Elétrico** é uma função da **Distância** de pontos convenientemente escolhidos nas suas **Fontes** a pontos do Espaço;
- i. O **Campo Magnético** é uma função da **Distância** de pontos convenientemente escolhidos nas suas **Fontes** a pontos do Espaço;
- j. O **Campo Elétrico** é uma função do **tempo**;
- k. O **Campo Magnético** é uma função do **tempo**;
- l. O **Campo Elétrico** resultante no espaço é a soma dos **Campos Elétricos** calculados a partir das **fontes** envolvidas no problema;
- m. O **Campo Magnético** resultante no espaço é a soma dos **Campos Magnéticos** calculados a partir das **fontes** envolvidas no problema;

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante H (Estudo I – Tarefa II – Campo Eletromagnético – Questão II)

Situação: Suponha que você tenha três situações distintas. A figura abaixo mostra um Campo Magnético uniforme \vec{B} limitado a um volume cilíndrico de raio R . \vec{B} está decrescendo em intensidade a uma taxa constante. Qual a aceleração instantânea (direção, sentido e módulo) experimentada por um elétron posicionado em r_1 , em r_2 e no centro da circunferência?

Objetivos: Calcular Campos Eletromagnéticos

Conhecimentos-em-ação: $\oint \vec{E} \cdot \hat{n} dS = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$

Operações Recursivas: SE $\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$ e SE $\frac{d\vec{B}}{dt} = \alpha$, ENTÃO escolhendo uma gaussiana na qual os Campos são constantes, teremos $EA = -\frac{dB}{dt} \frac{A}{l} \rightarrow E = -\frac{dB}{dt} \frac{A}{l}$

Inferências: $E = -\frac{kr}{2}$

$$\llcorner \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \rightarrow E \oint dl = -\frac{d\Phi_B}{dt} \rightarrow \Phi_B = \frac{r^2}{R^2} \Phi' \rightarrow E = -\frac{kr}{2}$$

C.J.2. – Calcular o Campo Eletromagnético fazendo referência a aspectos conceituais

Esta possível classe de Representações (englobando o Modelo Mental M.C.J.2 e o Esquema S.C.J.2) calcula o Campo Eletromagnético como uma função do tempo, da distância de um ponto convenientemente escolhido nas fontes a um ponto no Espaço, e das próprias fontes, a saber, a Carga Elétrica, a Corrente Elétrica e a variação dos Campos Elétricos e Magnéticos. Ele usa os conceitos de Fluxo e de Circulação como regras operacionais e conceituais de Cálculo de Campos Elétricos e Magnéticos, pois trabalha com a ideia da dependência dos Campos Elétricos e Magnéticos com suas fontes e com a possibilidade de se conhecer o Campo Elétrico a partir da expressão. Podemos associar os seguintes teoremas-em-ação para este Modelo:

- a. A Lei de Gauss é dada por $\oint \vec{E}_R \cdot \hat{n} dS = \frac{q}{\epsilon_0}$;
- b. A Lei de Faraday-Lenz é dada por $\oint \vec{E}_R \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \Phi_{B_R}$
- c. A Lei de Ampère-Maxwell é dada por $\oint \vec{B}_R \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \Phi_{E_R}$
- d. O **Campo Elétrico** pode ser uma função da **Carga Elétrica**;
- e. O **Campo Magnético** pode ser uma função da **Corrente Elétrica**;
- f. O **Campo Elétrico** é uma função da **Distância** de pontos convenientemente escolhidos nas **Fontes** a pontos do **Espaço**;
- g. O **Campo Magnético** é uma função da **Distância** de pontos convenientemente escolhidos nas **Fontes** a pontos do **Espaço**;
- h. O **Campo Elétrico** é uma função do **tempo**;
- i. O **Campo Magnético** é uma função do **tempo**;
- j. O **Campo Elétrico** resultante no espaço é a soma dos **Campos Elétricos** calculados a partir das suas **fontes** envolvidas no problema;
- k. O **Campo Elétrico** resultante no espaço é a soma dos **Campos Elétricos** calculados a partir das suas **fontes** envolvidas no problema;
- l. O **Fluxo Elétrico** é relativo ao **Campo Elétrico** resultante devido a todas as **Cargas Elétricas** do problema;
- m. A **Circulação Elétrica** é relativa ao **Campo Elétrico** resultante devido a todas as fontes de **Campo Magnético** variável do problema;
- n. A **Circulação Magnética** é relativa ao **Campo Magnético** resultante devido a todas as fontes de **Campo Elétrico** variável do problema e a todas as **Correntes Elétricas** envolvidas no problema;
- o. O **Fluxo Elétrico** é relativo à **Carga Elétrica** no interior da **Superfície Gaussiana**;
- p. A **Circulação Elétrica** é relativa à variação temporal do **Fluxo Magnético** na Superfície envolta pela **Curva Amperiana**;
- q. A **Circulação Magnética** é relativa à variação temporal do **Fluxo Elétrico** na Superfície envolta pela **Curva Amperiana** e às **Correntes Elétricas** envoltas pela **Curva Amperiana**;
- r. A **Simetria** da distribuição de **Carga Elétrica** com respeito à **Gaussiana** leva a um **Fluxo Elétrico** constante;
- s. A **Superfície Gaussiana** tem formato arbitrário e é escolhida de acordo com a distribuição de **Carga Elétrica**.
- t. As **Curvas Amperianas** tem formato arbitrário e são escolhidas de acordo com a forma dos **Campos Elétricos** ou **Campos Magnéticos** no **Espaço**, bem como função das **Correntes Elétricas**.

Exemplo de Modelo Mental:

Estudante G (Estudo II – Avaliação somativa – Campo Eletromagnético – Questão I)

Situação: Suponha duas cargas puntuais q e $-q$ dispostas sobre o eixo x em $x = -a$ e $x = a$, com uma corrente $i = -dq/dt$ ao longo da linha entre elas. a) Que forma assume a expressão para a intensidade do Campo Magnético (requere-se: use a lei de Ampère-Maxwell)? Justifique conceitualmente

(não me pergunte a resposta! Não direi, pense!) em um ponto P sobre o eixo y , a uma distância R desta linha? b) Qual o valor para a corrente total (de condução e de deslocamento).

Objetivos: Calcular Campos Eletromagnéticos

Conhecimentos-em-ação: $\oint \vec{B}_R \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E}_R \cdot \hat{n} dS$ $|\cdot|$ $\oint \vec{E}(\vec{r}, t) \cdot \hat{n} dS = \frac{q(t)}{\epsilon_0}$ $|\cdot|$ $i_D = \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E}_R \cdot \hat{n} dS$ $|\cdot|$ $\vec{E}_R = \sum_j \vec{E}_j$.

Operações Recursivas: **SE** existem duas cargas ligadas por um fio, **ENTÃO** ocorre uma variação de Carga Elétrica. **SE** $\oint \vec{E}(\vec{r}, t) \cdot \hat{n} dS = \frac{q(t)}{\epsilon_0}$, **SE** temos duas Cargas Elétricas de simetria esférica, **SE** $\oint \vec{B}_R \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E}_R \cdot \hat{n} dS$ e **SE** $\vec{E}_R = \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 (R^2+a^2)} \hat{i} \rightarrow \cos\theta = \frac{a}{(R^2+a^2)^{1/2}}$, **ENTÃO** $i_d = \int_0^a \frac{2q}{4\pi\epsilon_0 (R^2+a^2)} \cos\theta dS$. **SE** se escolhe uma amperiana circular, **ENTÃO** $i_D = \mu_0 i a \left[\frac{1}{\sqrt{r^2+a^2}} - \frac{1}{a} \right]$. **SE** $i_T = i + i_d$, **ENTÃO** $i_T = \frac{\mu_0 i a}{\sqrt{r^2+a^2}}$.

Inferências: $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \frac{a}{\sqrt{r^2+a^2}}$ $|\cdot|$ $i_T = \frac{i a}{\sqrt{r^2+a^2}}$

[omitimos os cálculos e apresentamos o encadeamento das ideias do aluno] “temos que achar o campo elétrico \vec{E} para enquadrar na equação de Ampère-Maxwell... pelo princípio da superposição, tenho que somar duas componentes que não se anulam, para isto, usarei $\cos\theta = a/\sqrt{a^2+r^2}$... pela lei de Ampère-Maxwell calculamos o campo elétrico considerando a corrente de condução no fio e a variação do campo elétrico... $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r} \frac{a}{\sqrt{a^2+R^2}}$ ”

Análise das possíveis Operações de Pensamento usadas pelos estudantes no domínio de Situações

A seguir discutimos como foram distribuídas as frequências das possíveis Operações de Pensamento empregadas pelos estudantes ao longo das tarefas das UEPS, mas antes permita-nos apresentar a notação seguinte usada para fazer referência a aspectos sobre a conduta cognitiva dos estudantes em Situação. Pintaremos de azul (cinza escuro no caso de impressão em preto e branco) um possível Modelo Mental e de vermelho claro (cinza claro no caso de impressão em preto e branco) um possível Esquema usado pelo Estudante.

Quando houve direção de um Esquema ou Modelo Mental a uma Situação à qual ele não se adequa (Fixação Funcional) marcou-se o quadro relativo ao estudante com #. Quando se tratou de ocorrência de erros procedimentais⁸³ demarcou-se o quadro relativo ao estudante com \$. Quando a concepção do estudante foi usada por menos de um décimo da turma, consideramos esta atípica e apontaremos isto com uma exclamação (!). No caso de Redução Funcional, isto é, de reduzir a função de uma entidade à de outra, usamos um asterisco (*).

Foram assinaladas ainda relações de causalidade simples com %, inversão de causa e efeito com +, a ausência na aula em que foi proposta uma tarefa por –. Aos erros conceituais cometidos pelos alunos no uso de possíveis Representações Internas

⁸³ Ocorrentes devidos a distração, fadiga, ou outros fatores externos.

de Representações Externas cientificamente aceitas, atribuímos & e a questões incompletas, atribuímos o índice ?.

Quando o aluno usou dois Modelos Mentais ou Esquemas em questões diferentes ou algum dos procedimentos descritos acima, indexaremos seu “escaninho” com os números das questões nas quais foram usados os Modelos Mentais ou os procedimentos acima descritos. O intuito é apresentar maior detalhe acerca da conceitualização dos estudantes.

Os índices fazendo referência às possíveis Representações Internas dos estudantes adota a seguinte codificação com quatro dígitos na forma **1.2.3.4**. O primeiro índice classifica aquela possível Representação Interna em Esquema (S) ou Modelo Mental (M).

O segundo dígito está relacionado à grande classe de Situações ao qual a possível Representação Interna (Esquema ou Modelo Mental) se dirige, podendo se referir a descrição de Interações (I), Representação Simbólica (S), Representação Analógica (A) e Cálculo (C).

O terceiro dígito diz respeito ao conteúdo da Situação e, portanto, ao conteúdo presente nos Esquemas ou emprestado pelos Modelos Mentais, podendo se referir a Campo (nenhum dígito), Campo Elétrico (E), Campo Magnético (B) e Campo Eletromagnético (J).

O último dígito especifica qual possível Representação Interna estamos tratando. Tomando como exemplo o uso de um Esquema para calcular Campos Eletromagnéticos levando em conta elementos conceituais, temos S.C.J.2, isto é, a segunda possível classe de Representação Internas na lista. Abaixo construímos algumas tabelas explicitando a codificação usada com respeito às Situações envolvendo os conceitos de Campo, Campo Elétrico, Campo Magnético e Campo Eletromagnético. A primeira das tabelas, no entanto, apresenta as codificações mais específicas relativas aos símbolos usados para fazer referência a maiores especificidades na descrição dos possíveis processos de conceitualização.

Tabela 5: Códigos usados

Código	Significado
	Modelo Mental
	Esquema
#	Fixação Funcional
\$	Erros procedimentais
!	Resposta atípica
*	Redução Funcional
%	Causalidade Simples
+	Inversão de causa e efeito
-	Ausência na aula
&	Erros conceituais
?	Questão incompleta

Tabela 6: Códigos usados na análise de dados - conceito de Campo

Código	Significado
S.I.1	Esquema para <i>Descrever Interações Físicas</i> sem incluir o conceito de Campo na conceitualização.
M.I.1	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Físicas</i> sem incluir o conceito de Campo na conceitualização.
S.I.2.	Esquema para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo como entidade geral.
M.I.2.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo como entidade geral.
S.I.3.	Esquema para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos.
M.I.3.	Modelos Mentais para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos.
S.I.4.	Esquema para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos.
M.I.4.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos.
S.I.5.	Esquema para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
M.I.5.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Físicas</i> incluindo o conceito de Campo de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
S.S.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
M.S.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
S.S.2.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
M.S.2.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
S.S.3.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo.
M.S.3.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo.
S.S.4.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo.
M.S.4.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo.
S.A.1.	Esquema para <i>Representar Analogicamente o Campo</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
M.A.1.	Modelo Mental para <i>Representar Analogicamente o Campo</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
S.A.2.	Esquema para <i>Representar o Analogicamente o Campo</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
M.A.2.	Modelo Mental para <i>Representar o Analogicamente o Campo</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.

Abaixo apresentamos a tabela descritiva dos códigos usados para a análise das UEPS de Campo Elétrico.

Tabela 7: Códigos usados na análise de dados - conceito de Campo Elétrico

Código	Significado
S.I.E.1	Esquema para <i>Descrever Interações Elétricas</i> sem incluir o conceito de Campo Elétrico na conceitualização.

M.I.E.1	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Elétricas</i> sem incluir o conceito de Campo Elétrico na conceitualização.
S.I.E.2.	Esquema para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico como entidade geral.
M.I.E.2.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico como entidade geral.
S.I.E.3.	Esquema para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos Elétricos.
M.I.E.3.	Modelos Mentais para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos Elétricos.
S.I.E.4.	Esquema para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos Eletricamente Carregados.
M.I.E.4.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre objetos Eletricamente Carregados.
S.I.E.5.	Esquema para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
M.I.E.5.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Elétricas</i> incluindo o conceito de Campo Elétrico de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
S.S.E.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
M.S.E.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
S.S.E.2.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
M.S.E.2.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
S.S.E.3.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo Elétrico.
M.S.E.3.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo Elétrico.
S.S.E.4.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação.
M.S.E.4.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Elétrico através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação.
S.S.E.5.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo Elétrico.
M.S.E.5.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Elétrico</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo Elétrico.
S.A.E.1.	Esquema para <i>Representar Analogicamente o Campo Elétrico</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
M.A.E.1.	Modelo Mental para <i>Representar Analogicamente o Campo Elétrico</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
S.A.E.2.	Esquema para <i>Representar o Analogicamente o Campo Elétrico</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
M.A.E.2.	Modelo Mental para <i>Representar o Analogicamente o Campo Elétrico</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
S.C.E.1.	Esquema para <i>Calcular o Campo Elétrico</i> sem fazer referência a aspectos conceituais.
M.C.E.1.	Modelo Mental para <i>Calcular o Campo Elétrico</i> sem fazer referência a aspectos conceituais.
S.C.E.2.	Esquema para <i>Calcular o Campo Elétrico</i> fazendo referência a aspectos conceituais.
M.C.E.2.	Modelo Mental para <i>Calcular o Campo Elétrico</i> fazendo referência a aspectos conceituais.

Abaixo apresentamos a tabela descritiva dos códigos usados para a análise das UEPS de Campo Magnético.

Tabela 8: Códigos usados na análise de dados - conceito de Campo Magnético

Código	Significado
S.I.B.1	Esquema para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> sem incluir o conceito de Campo Magnético na conceitualização.
M.I.B.1	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> sem incluir o conceito de Campo Magnético na conceitualização.
S.I.B.2.	Esquema para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como entidade geral.
M.I.B.2.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como entidade geral.
S.I.B.3.	Esquema para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos Magnéticos.
M.I.B.3.	Modelos Mentais para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos Magnéticos.
S.I.B.4.	Esquema para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre Cargas Elétricas em movimento.
M.I.B.4.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre Cargas Elétricas em movimento.
S.I.B.5.	Esquema para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
M.I.B.5.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
S.I.B.6.	Esquema para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> igualando o conceito de Campo Magnético ao conceito de Campo Elétrico
M.I.B.6.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> igualando o conceito de Campo Magnético ao conceito de Campo Elétrico
S.S.B.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
M.S.B.1.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
S.S.B.2.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
M.S.B.2.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
S.S.B.3.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo Elétrico.
M.S.B.3.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo Magnético.
S.S.B.4.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação.
M.S.B.4.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Magnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação.
S.S.B.5.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo Magnético.

M.S.B.5.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo Magnético.
S.S.B.6.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> identificando ao de Campo Elétrico.
M.S.B.6	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> identificando ao de Campo Elétrico.
S.S.B.7.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> como uma característica intrínseca da matéria.
M.S.B.7	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Magnético</i> como uma característica intrínseca da matéria.
S.A.B.1.	Esquema para <i>Representar Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
M.A.B.1.	Modelo Mental para <i>Representar Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
S.A.B.2.	Esquema para <i>Representar o Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
M.A.B.2.	Modelo Mental para <i>Representar o Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
S.C.B.1.	Esquema para <i>Calcular o Campo Magnético</i> sem fazer referência a aspectos conceituais.
M.C.B.1.	Modelo Mental para <i>Calcular o Campo Magnético</i> sem fazer referência a aspectos conceituais.
S.C.B.2.	Esquema para <i>Calcular o Campo Magnético</i> fazendo referência a aspectos conceituais.
M.C.B.2.	Modelo Mental para <i>Calcular o Campo Magnético</i> fazendo referência a aspectos conceituais.

Tabela 9: Códigos usados na análise de dados - conceito de Campo Eletromagnético

Código	Significado
S.I.J.1	Esquema para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> sem incluir o conceito de Campo Eletromagnético na conceitualização.
M.I.J.1	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> sem incluir o conceito de Campo Eletromagnético na conceitualização.
S.I.J.2.	Esquema para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético como entidade geral.
M.I.J.2.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético como entidade geral.
S.I.J.3.	Esquema para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos Eletromagnéticos.
M.I.J.3.	Modelos Mentais para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético como um Fluido que medeia Interações através do Choque com outros Campos Eletromagnéticos.
S.I.J.4.	Esquema para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre Cargas Elétricas em estado arbitrário de movimento.
M.I.J.4.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Magnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Magnético como uma grandeza imaterial que serve de suporte para o transporte de Energia/Momentum entre Cargas Elétricas em estado arbitrário de movimento.
S.I.J.5.	Esquema para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
M.I.J.5.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos.
S.I.J.6.	Esquema para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos usando a abordagem macroscópica.
M.I.J.6.	Modelo Mental para <i>Descrever Interações Eletromagnéticas</i> incluindo o conceito de Campo Eletromagnético de acordo com o Modelo aceito de Interação entre Partículas e Campos usando a abordagem macroscópica
S.S.J.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> sem usar os conceitos

	de Fluxo e de Circulação
M.S.J.1.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> sem usar os conceitos de Fluxo e de Circulação
S.S.J.2.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
M.S.J.2.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> usando os conceitos de Fluxo como indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas Circulares.
S.S.J.3.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo Eletromagnético.
M.S.J.3.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> usando os conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores de fontes de Campo Eletromagnético.
S.S.J.4.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação.
M.S.J.4.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> fazendo referência ao aspecto geométrico do Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou do de Circulação e fazendo referência às Fontes de Campo Eletromagnético através do conceito de Fluxo ou ao conceito de Circulação.
S.S.J.5.	Esquema para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo Eletromagnético.
M.S.J.5.	Modelo Mental para <i>Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético</i> identificando o conceito de Fluxo ou o conceito de Circulação ao de Campo Eletromagnético.
S.A.J.1.	Esquema para <i>Representar Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
M.A.J.1.	Modelo Mental para <i>Representar Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo apenas no exterior das fontes.
S.A.J.2.	Esquema para <i>Representar o Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
M.A.J.2.	Modelo Mental para <i>Representar o Analogicamente o Campo Magnético</i> como existindo no interior e no exterior das fontes.
S.C.J.1.	Esquema para <i>Calcular o Campo Magnético</i> sem fazer referência a aspectos conceituais.
M.C.J.1.	Modelo Mental para <i>Calcular o Campo Magnético</i> sem fazer referência a aspectos conceituais.
S.C.J.2.	Esquema para <i>Calcular o Campo Magnético</i> fazendo referência a aspectos conceituais.
M.C.J.2.	Modelo Mental para <i>Calcular o Campo Magnético</i> fazendo referência a aspectos conceituais.

5.2. Primeiro estudo

No primeiro estudo, implementamos três UEPS, uma para trabalhar o conceito de Campo Elétrico (estático), uma para ensinar o conceito de Campo Magnético (estático) e outra para discutir os conceitos de Campo Eletromagnético (dinâmico) e de Indução Eletromagnética. Discutimos, em primeiro lugar, os esquemas adotados pelos estudantes ao se confrontarem com as situações apresentadas a eles.

Neste estudo, os alunos resolveram tarefas em grupo discutindo as soluções para os problemas e entregando uma folha de resolução por grupo. Colocamos convenientemente as Representações Internas possivelmente inferidas para cada um na tabela (muitas vezes correspondendo à Representação coletiva aparentando ser levantada pelo grupo), pois assim, levamos em conta a troca, algumas vezes constante, dos componentes de cada grupo.

O estudo reuniu 23 alunos cursando uma disciplina de Física III da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no primeiro semestre do ano de 2012.

UEPS de Campo Elétrico

Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Elétrico no primeiro estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho um pouco mais formal que conceitual.

Discutimos a seguir as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Elétrico no primeiro estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes concepções.

Tarefa 1 – Tarefa inicial

A tarefa inicial consistiu de um mapa mental distribuída aos estudantes. Visávamos ver quais as possíveis relações os estudantes apresentariam com respeito ao conteúdo de Eletromagnetismo. A tarefa foi importante para analisar quais os conceitos mais frequentes trazidos pelos alunos.

Para fazer a análise da tarefa, procuramos as possíveis relações estabelecidas pelos alunos entre a palavra Eletromagnetismo e outras palavras associadas pelos estudantes. Nesta busca, pareceram ocorrer algumas regularidades, mas adiantamos serem não tão sistematizadas. Por não termos fixado parâmetros e na tentativa de estabelecer um ambiente de liberdade, propusemos uma tarefa na qual cada estudante pudesse expressar seu conhecimento. Desta forma, justifica-se a forma bastante aproximada e não sistematizada da análise.

A relação estabelecida pelos alunos entre a palavra eletromagnetismo e a ideia de Campo Eletromagnético parece ser bastante variada e, portanto, muito ampla. É necessário atestar uma considerável ausência de alunos na primeira aula, a saber, a ausência de sete alunos nesta aula.

Dos 17 alunos fazendo a tarefa, 12 estabelecem a relação Eletromagnetismo e elementos de Circuitos Elétricos como, por exemplo, resistência, lei de Ohm, $V = Ri$, Capacitância, Indutância, entre outros. Dentre os alunos, 10 relacionam Eletromagnetismo a aparelhos como bobinas, espiras, motores, geradores, etc. A maioria dos alunos, portanto, parece associar Eletromagnetismo ao funcionamento de Circuitos Elétricos, ao invés de associar a palavra ao conceito de Campo.

Algumas das relações estabelecidas pelos alunos ainda se relacionam, em menor número, a outras ideias como, por exemplo, relações gerais com o conceito de Campo (oito alunos), relações mais específicas entre Campos e Fontes (seis alunos), Forças (cinco alunos), Lei de Coulomb (cinco alunos), experiências afetivas negativas (dois alunos) e Ondas Eletromagnéticas (dois alunos).

Em função do alto teor de generalidade da associação entre Eletromagnetismo e Campo, entendemos poder haver uma relação de redução funcional deste conceito ao de Força, conforme já assinalado categoricamente pela literatura (Martin e Solbes, 2001; Furió e Guisasola, 1997; Furió e Guisasola, 2001).

Tarefa 2 – O conceito de Campo

A tarefa 2 era relativa a uma aula abordando o conceito de Campo de maneira geral, conforme já mencionado na sequência da UEPS na metodologia. Apresentamos as características mais gerais do Campo nesta atividade.

-
1. De acordo com a Teoria da Gravitação Universal de Newton a Terra, a Lua, o Sol e os planetas exerciam-se forças mútuas sem nenhum contato, sem nenhum meio material entre eles. O conceito de "ação à distância" foi, então, usado para descrever este tipo de interação. No entanto, este conceito não foi facilmente aceito e alguma coisa chamada "éter" foi inventada para servir como meio de transmissão da interação gravitacional. O éter seria uma substância tênue que preencheria todo o espaço e teria uma densidade extremamente pequena para explicar o fato de que não poderia ser detectado no espaço vazio. O éter sobreviveu durante muitos anos mas acabou sendo abandonado. a) Você lembra por quê? b) Usando o conceito de Campo será que o vácuo é mesmo vazio? c) Ou, mudando a pergunta, será que o vácuo é preenchido por campos? d) Mas nesse caso apenas trocou-se éter por campo? Justifique.
 2. Se a força da gravidade age sobre todos os corpos em proporção às suas massas, por que um corpo pesado não cai mais rapidamente que um corpo leve?
 3. É comum dizer que quando se eleva um objeto a uma altura h acima da superfície da Terra ele adquire uma energia potencial gravitacional relativa à sua posição inicial. a) Mas será que o objeto realmente possui esta energia? b) Ou será que a Terra compartilha essa energia? c) Pensando em termos de Campo Gravitacional, dá para resolver esta dúvida? Como? d) Esta energia é modificada instantaneamente?
-

Após a primeira aula sobre o conceito de Campo, a maioria dos alunos possivelmente já começa a construir um Modelo Mental inicial para descrever Interações Eletromagnéticas usando o conceito. Partindo da ideia de Interação Gravitacional, aparentemente já conhecida pelos estudantes (do Ensino Médio e da disciplina de Física Geral II) e estabelecendo o mecanismo de Interação mediada pelo Campo durante a aula, parece ter sido possível facilitar a construção de um Modelo Mental bastante amplo enfocando a ideia de Interação Mediada por Campos.

Dos 23 alunos, 22 fizeram a tarefa e destes, 18 aparentam apresentar algum tipo de Modelo Mental para descrever as Interações usando o conceito de Campo. 11 alunos possivelmente apresentam o Modelo Mental M.I.2, descritivo de Interações Físicas com o uso do conceito de Campo de forma ampla. Evidências sugerem que os alunos trabalham com o conceito de Interação sem enfatizar o Campo como agente da mediação da Força ou da realização de trabalho sobre Objetos de prova.

Este é um ponto parcialmente positivo, pois na medida em que os alunos introduzem o conceito de Campo na explicação, eles parecem fazê-lo de uma forma operacional ao invés de conceitual. O ideal seria trabalharem desde o início o conceito em um viés mais conceitual, no entanto, sendo a primeira tarefa e a primeira aula, é

compreensível aparentarem uma conceitualização tímida com respeito a aspectos ontológicos do Campo.

Dos 18 alunos indicando a possível apresentação de algum tipo de Modelo Mental construído com o uso do conceito de Campo, cinco parecem apresentar Modelos Mentais do tipo Campo Fluido-Choquista. Uma das possíveis explicações para estas potenciais construções pode estar associada à confusão dos alunos com respeito à independência dos Campos criados por Fontes distintas⁸⁴. Como há Campos devidos a duas fontes coexistindo no Espaço, os alunos parecem entendê-los como entidades em colisão.

Dos 18 alunos supracitados, dois parecem apresentar Modelos Mentais do tipo Campo Transporte. Uma das possíveis explicações pode estar associada à ideia de o Campo ser uma entidade a transportar Energia e Momentum no Espaço. Os alunos parecem atribuir ao Campo mero caráter de transporte suporte desprovido de Energia. A atribuição de Energia somente aos Objetos e não a Campos e Objetos é, também, ponto limitante no entendimento dos estudantes.

Somente quatro dos alunos, ao descrever Interações, parecem fazer referência direta à Força sem estabelecer qualquer relação com o Campo. Estes alunos dão indícios de se referirem a Energias compartilhadas por Objetos e a Forças exercidas por Objetos sobre outros Objetos. São alunos que, provavelmente, se ancoram em seu conhecimento prévio da descrição de Interações sem o uso do conceito de Campo.

As Situações apresentadas aos alunos tinham caráter similar às trabalhadas nos cursos de Física Geral II tratando a Interação entre a Terra e Objetos em sua superfície, em especial, as Situações 2 e 3. A Situação I foi estruturada de forma a não mencionar massas de Objetos e enfocou uma questão mais ontológica a respeito do Campo.

Consideramos, pois, frutífera esta aula para a introdução do conceito de Campo. Indícios de conceitualizações iniciais usando a ideia de Campo e distinguindo-a da de Força, mesmo de uma maneira mais operacional que conceitual, para um primeiro encontro, podem ser considerados um passo positivo.

Segue abaixo uma tabela expondo tais resultados. Os quadros pintados de rosa (cinza claro) indicam possíveis Esquemas e os pintados de azul (cinza escuro). O aluno A, por exemplo, possivelmente usou o Modelo Mental M.I.2, já o aluno B possivelmente usou o Esquema S.I.1.

Tabela 10: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na segunda atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

<i>Possíveis Esquemas (S.I.) e Modelos Mentais (M.I) para descrever interações Físicas – I, II, III</i>																						
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W

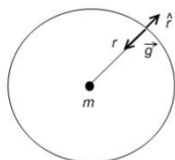
⁸⁴ Dois objetos com massa m_1 e m_2 interagem, segundo a teoria do Campo Gravitacional, através da geração de Campos Gravitacionais no Espaço. O objeto m_1 cria um Campo Gravitacional que exerce uma Força Gravitacional sobre o objeto 2. Da mesma forma, o objeto 2 cria um Campo Gravitacional que exerce uma Força sobre o objeto 1. Não existe interação entre os Campos Gravitacionais, até porque eles são tomados como imateriais.

5																				
N								-		-										

Tarefa 4 – Representando Campos

A quarta tarefa abordava as representações Analógica e Simbólica do Campo. Nesta aula, discutimos como representar o Campo usando os conceitos de Fluxo, de Circulação e usando Diagramas de Seta e Linhas de Campo. A tarefa é apresentada abaixo

1. Como é possível que o Fluxo de um Campo Vetorial através de uma superfície fechada seja nulo, sendo este campo não nulo? Você consegue descrever um exemplo que sustente sua resposta?
2. Você conseguiria estabelecer alguma relação entre o movimento dos planetas em torno do sol e as equações de campo para a gravitação? $\oint_V \vec{g} \cdot d\vec{l} = 0$ e $\oint_S \vec{g} \cdot \hat{n} dS = -4\pi Gm$
3. Você deve se lembrar dos estudos de gravitação que existe uma energia potencial associada à interação gravitacional. Dos estudos de mecânica deve se lembrar, também, que a energia potencial é devida ao sistema. Considere o campo gravitacional da Terra e sua interação com este campo. Quem é o sistema físico em questão? Qual a interação ocorrente? Como ocorre? Onde está, afinal, "localizada" a energia potencial gravitacional? Nos corpos ou no campo? Por que razão?
4. Considere ainda o campo gravitacional gerado pela Terra a uma distância muito grande (r), conforme visto na figura abaixo.



Calcule o Fluxo, $\oint_S \vec{g} \cdot \hat{n} dS = -4\pi Gm$, deste campo vetorial através de uma superfície esférica de raio r . Calcule, também, a circulação, $\oint_V \vec{g} \cdot d\vec{l} = 0$, ao longo de uma curva circular de raio r . O que significam estes valores? O que seria mudado na "natureza" se $\oint_V \vec{g} \cdot d\vec{l} = -4\pi G'm$ e se $\oint_S \vec{g} \cdot \hat{n} dS = 0$? OBS: as unidades de G' são unidades de G por unidades de comprimento.

Na tarefa 4 abordamos duas classes distintas de Situações. Os problemas 1 e 4 são Situações nas quais é preciso representar Simbolicamente o Campo, no caso, o Gravitacional. Os problemas 2 e 3 se enquadram na classe de Situações nas quais é preciso descrever uma Interação Física, no caso, Gravitacional.

Ambas as Situações englobam o conceito de Campo, porém de formas diferentes. A primeira classe de Situações, no entanto, requer referência à descrição do Campo no espaço enquanto a segunda requer referência à Interação mediada pelo Campo. É possível ver, portanto, diferenças na conceitualização, em especial, na primeira classe de Situações, nova para os estudantes.

Quanto à primeira classe de Situações, percebemos uma divisão na frequência dos possíveis Modelos Mentais inferidos para os estudantes, visto as Situações serem

novas. Dos 23 alunos, 13 possivelmente fazem referência direta ao Fluxo, no caso Gravitacional, como associado à Fonte do Campo Gravitacional (massa) e à Circulação como associada a um Campo Conservativo. Nove alunos parecem adotar o Modelo Mental M.S.2, considerando o Fluxo um indicador de Campos cujos vetores podem ser dispostos ao longo de linhas de Campo abertas e a Circulação como uma descrição de os vetores dispostos ao longo de Linhas circulares.

Alguns alunos, na descrição simbólica do Campo, indicam a procura por critérios mais analógicos, relacionando as ideias de Fluxo e Circulação à forma das Linhas de Campo, enquanto outros parecem procura critérios mais simbólicos como, por exemplo, a relação entre Componentes do Campo e Fontes do Campo. Entendemos que a maioria dos estudantes sugere adotar um critério mais simbólico. Isto pode estar associado à forma pela qual abordamos o conteúdo, mais formal, na primeira UEPS.

Um aluno, no entanto, parece ter construído um Modelo no qual o Fluxo Gravitacional e o Campo Gravitacional possuem o mesmo Significado, sendo, portanto, um reduzido ao outro. Não se trata de adoção de um Modelo Mental adequado, no qual, no processamento de informações, o estudante apresenta uma Operação Recursiva com viés cognitivo de Redução Funcional. Trata-se de um Modelo Mental cientificamente inadequado desde sua gênese.

Quanto à segunda classe de Situações, os alunos possivelmente permanecem usando o Modelo Mental M.I.5, enfocando o papel do Campo na interação como uma entidade possuindo Energia e Momentum e que troca Energia e Momentum com o objeto em relação ao qual interage. Dois alunos (I e K, formando um grupo na atividade), sugerem a apresentação de um Modelo Mental do tipo M.I.4, tratando o Campo como transportador de Energia. Não é um Modelo de ação contígua em um meio material, mas é um Modelo Mental no qual não é encontrada evidência de uso da ideia de Campo como associado à Energia.

Consideramos, mais uma vez, positiva a resposta da turma à atividade. A abordagem parece ter facilitado a Aprendizagem Significativa da descrição de Interações usando o conceito de Campo, uma vez que os alunos evidenciam ter apresentado a ideia de Campo em suas explicações majoritariamente de maneira adequada. Quanto à representação Simbólica, tanto a visão mais analógica como a menos analógica tem importância e o ideal é os alunos dominarem ambas (S.4), mas para um processo inicial de conceitualização, consideramos frutífera esta tarefa.

Abaixo apresentamos uma tabela dupla com os possíveis Modelos Mentais usados para dominar os Problemas apresentados. Quanto aos problemas da classe relativa à descrição das Interações Físicas, o aluno L, por exemplo, parece usar o Modelo Mental M.I.5. Com respeito aos problemas da classe relativa à Representação Simbólica do Campo o aluno D parece usar, por exemplo, um Modelo Mental do tipo

M.S.3. A partir daqui, confiamos que o leitor tenha entendido a regra de codificação das tabelas⁸⁵.

Tabela 12: Representações Internas usadas pelos alunos na quarta atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

<i>Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas – III</i>																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
N																							
<i>Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.S) para Representar simbolicamente o Campo – I, II, IV</i>																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
N																							

Tarefa 5 – Lei de Gauss para a eletrostática

A atividade 5 abordava o cálculo de Campos Elétricos devidos a distribuições de Cargas Elétricas conhecidas e com alto grau de simetria. Nesta aula, foi dada ênfase para a resolução de problemas envolvendo o Cálculo do Campo Elétrico. A tarefa é apresentada abaixo.

-
1. Qual a equação descrevendo o Campo Elétrico devido a duas cascas cilíndricas concêntricas de raio a e b e densidades de carga ρ e $-\rho$?
 2. Qual a equação descrevendo o Campo Elétrico devido a duas chapas muito extensas de densidades superficiais de carga σ ?
 3. Qual a equação descrevendo o Campo Elétrico devido a duas cascas esféricas concêntricas de raio a e b e densidades de carga ρ e $-\rho$?
-

Na aula relativa à Lei de Gauss para a Eletrostática, discutiram-se procedimentos para cálculo da Função descrevendo o Campo Elétrico. Apresentou-se a lei de Gauss e o cálculo de Campos Elétricos devidos a sistemas altamente simétricos como, por exemplo, a esfera, o cilindro, e o plano infinito de Cargas Elétricas. Nenhuma ênfase foi

⁸⁵ Caso ainda não esteja claro o entendimento, sugerimos a seguinte metodologia: 1) veja a cor do quadrinho e confira se é um possível Modelo Mental ou um possível Esquema. 2) olhe para os dois ou três primeiros códigos, expressos na identificação da tabela, associados à Representação Interna referida pela cor do quadrinho (rosa - Esquema: S, azul - Modelo Mental: M). 3) Complete a codificação com o número apresentado na primeira coluna. Seguindo esta metodologia, por exemplo, você poderá entender que na tabela na quarta atividade da UEPS de Campo Elétrico do Estudo I, o aluno H, que tem um quadrinho azul marcado na linha correspondente ao número cinco, possivelmente apresenta um Modelo Mental M.I.5. É como jogar batalha naval.

dada com relação ao princípio da Superposição nesta aula, somente em aulas posteriores.

Nesta aula, a tarefa abordava três Situações associadas à classe de Situações de cálculo de Campo Elétrico e se aproximavam mais de exercícios clássicos de livros-texto. Colocamos os exercícios na forma de perguntas, pois as entendemos com viés mais próximo dos problemas.

Os alunos parecem apresentar, com maior frequência nesta tarefa, conceitualização mais operacional que conceitual. 12 dos 23 alunos sugerem o uso do Modelo Mental M.C.E.1, enquanto 11 parecem usar o Modelo Mental M.C.E.2. Os alunos parecem ter compreendido inicialmente a ideia de simetria e de distribuição uniforme de Cargas Elétricas. E também indicam conseguirem entender o uso operacional da lei de Gauss. Eles não parecem, no entanto, usar explicitamente o princípio da Superposição, mas executam corretamente, a menos de alguns erros procedimentais (\$), os cálculos de Campos Elétricos.

Consideramos positiva esta abordagem, mas colocamos em questão a necessidade de se introduzir o princípio de Superposição logo no início do tratamento de Cálculos de Campos Elétricos. Foi algo feito nos estudos II e III. Segue uma tabela abaixo descrevendo a frequência do uso de Representações Internas nas Situações.

Tabela 13: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na quinta atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para o Cálculo do Campo Elétrico																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	■	■	■	■	■			■		■			■	■	■	■						■	
2						■	■		■		■	■					■	■	■	■	■		■
N																							

Tarefa 6 – Lei de Gauss e suas aplicações

A atividade 6 abordava interações Elétricas e aspectos da lei de Gauss. Nesta aula, foi dada ênfase para a resolução de problemas envolvendo o Cálculo do Campo Elétrico. A tarefa é apresentada abaixo

1. Uma pequena esfera cuja massa é de 1,12 mg tem uma carga $q = 19,7nC$. A esfera pende no campo gravitacional da Terra em uma linha de seda, fazendo um ângulo de 30° com uma lâmina grande, não-condutora e uniformemente carregada, indicada na figura abaixo. Que densidade de carga deve ter a placa para que ocorra a inclinação da linha?

2. Com que frequência angular oscila um elétron colocado inicialmente sobre um ponto P, sobre um eixo passando pelo centro de um anel de raio R, a uma distância z de forma que $z \ll R$? O elétron está oscilando. Como é possível reconciliar este fato com o de que em eletrostática, as fontes de campo devem estar em repouso?

3. Na lei de Gauss, $\oint_S \vec{E} \cdot \hat{n}dS = \frac{q}{\epsilon_0}$, \vec{E} é necessariamente o campo elétrico atribuível à carga q?

Para a realização da sexta tarefa, era necessário o emprego de duas ações cognitivas distintas: a descrição de Interações Elétricas e o cálculo de Campos Elétricos. Para resolver o primeiro problema, é necessário o cálculo do Campo Elétrico devido a um plano carregado muito extenso, bem como a descrição da interação entre o Campo Elétrico criado pelo plano e a Carga Elétrica, bem como aplicação da segunda lei de Newton.

Para resolver o segundo problema, era necessário usar o Campo Elétrico criado pelo anel para estudar a Interação Elétrica entre este Campo Elétrico e a Carga Elétrica de prova (um elétron). É fundamental usar a segunda lei de Newton e ignorar a Força Gravitacional. As duas situações guardavam, portanto, grande semelhança, pois os objetos possuíam Carga Elétrica dada, apresentando variações nos parâmetros das Situações, a saber, geometria da distribuição de Carga Elétrica, aplicação de outras Forças sobre a Carga Elétrica de prova e o tipo de dinâmica desta.

Os alunos apresentam evidências do possível uso de um Modelo Mental no qual explicitam o Campo Elétrico como o agente da mediação da Força Elétrica sobre a Carga Elétrica de prova sobre as partículas. Alguns erros procedimentais ocorreram como, por exemplo, o emprego inadequado da aproximação $R \gg z$ no caso da Situação envolvendo o Movimento Harmônico Simples do elétron nas adjacências do anel. Estes não invalidaram, no entanto, os Modelos Mentais possivelmente apresentados pelos estudantes, pois não afetam sua estrutura interna.

Quanto à terceira Situação e à primeira, associadas ao Cálculo de Campos Elétricos, os alunos (todos os 20 resolvendo a tarefa) conseguiram resolver os problemas usando a ideia de a Carga Elétrica na lei de Gauss ser devida à Carga Elétrica líquida no interior da Gaussiana. Na primeira Situação executaram corretamente o Cálculo do plano muito extenso de Cargas e na terceira Situação, explicitaram a ideia supracitada. Esta evidência e outras adotadas no cálculo, como por exemplo, a escolha adequada da Gaussiana e a referência acertada dos seus aspectos geométricos, sugerem que os alunos tenham usado um Modelo Mental do tipo M.C.E.2.

Consideramos, positiva esta tarefa e a aula para o domínio das Situações envolvendo Cálculos de Campos, bem como para a descrição de Interações Elétricas.

Tabela 14: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na sexta atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I, II																								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
N																								
Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para executar cálculos de Campos Elétricos – I, III																								

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
N							-										-			-			

Tarefa 7 – Fluxo e Lei de Gauss

A atividade 7 abordava interações Elétricas e aspectos da lei de Gauss. Nesta aula, foi dada ênfase para a resolução de problemas envolvendo interações Elétricas. A tarefa é apresentada abaixo

Robert Millikan em uma série de experimentos iniciados em 1906 (sec. XX) para medir a carga de um elétron, tomou dois discos circulares de raio R , separados por uma distância vertical z comum. Millikan os carregou com a mesma quantidade de cargas elétricas de sinais opostos e distribuídas uniformemente sobre suas superfícies.

- Quanto de carga q deve ser colocado em cada disco para manter suspensa uma minúscula gota de óleo de massa m e carga $-e$ em um ponto ao longo do eixo dos discos a meio caminho entre eles?
 - Suponha ser esta quantidade de carga $35 nC$. Quantos elétrons são necessários para carregar os discos?
-

Esta tarefa apresenta evidência dos caracteres provisório e situacional dos Modelos Mentais. Após uma apresentação de uma aula sobre o cálculo de Campos Elétricos para distribuições contínuas, após a qual não houve tarefa, os alunos indicam terem construído um Modelo Mental com aspecto mais operacional (M.I.2) que conceitual (M.I.5) para resolver a tarefa. Isto ilustra o aspecto provisório. O elemento situacional advém da forma da Situação apresentada, pois esta possui agora duas Cargas Elétricas de fonte interagindo via Campo Elétrico com uma Carga Elétrica de prova.

Todos os alunos fazem menção ao Campo Elétrico e a maioria deles usa a Força de Lorentz. Estes alunos, no entanto, não estabelecem qualquer referência à ideia do Campo Elétrico como agente da Força Elétrica. Não podemos evidenciar, desta forma, o uso do Modelo Mental M.I.5, mas é possível conjecturar a possibilidade do uso implícito de conceitos usados por ele. Evidência disto ser encontrada no de Situações apresentadas posteriormente, desta forma, permanecemos, nesta etapa com duas hipóteses:

- Possível uso do Modelo Mental M.I.2, influenciado pelo aumento da complexidade dos elementos da Situação: os alunos precisam estabelecer maiores referências aos Campos Elétricos criados pelos dois discos e, portanto, precisam usar o princípio da Superposição, enquanto focam-se operacionalmente em achar as condições para o Equilíbrio das Cargas Elétricas;
- Possível uso do Modelo Mental M.I.2 explicitamente, mas processamento implícito do Modelo Mental M.I.5: os alunos precisam estabelecer maiores referências aos Campos Elétricos criados pelos dois discos e, portanto,

processam implicitamente a ideia do Campo Elétrico exercer a Força Elétrica sobre as partículas, estabelecendo a referência somente à última.

Ponto positivo desta tarefa é a continuação do emprego da Força de Lorentz pelos estudantes. Alguns alunos sugeriram a Lei de Coulomb para cálculo do Campo dos discos. As menções à superposição, ademais, são feitas com respeito às Forças Elétricas e não aos Campos Elétricos. Estes elementos nos permitiram, portanto, levantar as duas hipóteses acima.

Quanto ao ponto apresentado acima, cabe ressaltar que a literatura atesta para grandes dificuldades dos estudantes de fazer referência ao conceito de Campo em virtude de, em muitas vezes, os estudantes apresentarem Fixação Funcional na Lei de Coulomb (Furió e Guisasola, 1997; Furió e Guisasola, 1999; Furió et al., 1998; Furió et al., 2003). Desta forma, podemos corroborar a ideia de o conceito de Campo Elétrico parecer estar sendo aprendido de forma Significativa.

Aproveitando a organização do trabalho, optaremos posteriormente por uma ou pelas duas hipóteses de acordo com evidências apresentadas. Fica, por outro lado, a evidência, já sustentada por Vergnaud (1983), da influência das Situações no processo de conceitualização. No caso da construção de Modelos Mentais, a plasticidade é maior do que no uso de Esquemas.

Tabela 15: Possíveis representações Internas usadas pelos alunos na sétima atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
N																							

Tarefa 8 – Tarefa individual

A atividade 8 abordava de forma geral o conteúdo tratado em sala de aula. Nesta aula, buscou-se maior variedade na disposição dos problemas. A tarefa é apresentada abaixo

1. Na estória "a viagem ao centro da Terra", de Júlio Verne, um geólogo, chamado Otto Lidenbrock, e seu sobrinho Axel, realizam uma grande viagem ao centro da Terra e durante a aventura passam por diversos obstáculos. Sabe-se que este feito seria de extrema dificuldade. No entanto, imaginemos que, por algum mecanismo, conseguíssemos cavar um buraco muito grande que levasse de um lado ao outro da Terra. Com que frequência angular oscilaríamos se, por acaso, caíssemos neste buraco? As equações de Campo para a Gravitação são semelhantes às equações de Campo para a eletrostática e são dadas abaixo a seguir

$$\oint \vec{g} \cdot d\vec{l} = 0 \text{ e } \oint \vec{g} \cdot \hat{n}dS = -4\pi Gm.$$

2. Em um artigo de 1911, Ernest Rutherford disse: "A fim de se ter uma noção das forças necessárias para defletir uma partícula α de um grande ângulo, considere um átomo [como] contendo uma carga pontual positiva Ze no seu centro, cercada por uma distribuição de eletricidade negativa $-Ze$ uniformemente distribuída no interior de uma esfera de raio R . O campo elétrico E ... a uma distância r do centro para um ponto no interior do átomo é $E = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left(1 - \frac{r^3}{R^3}\right)$

a) Faça um esquema pictórico (desenho) do modelo proposto por Rutherford. b) Verifique que esta equação é válida para o modelo proposto.

3. Considere um dipolo elétrico. a) Desenhe (e argumente sobre) pelo menos duas superfícies gaussianas diferentes através das quais o fluxo de campo elétrico seja nulo e duas através das quais o fluxo seja não nulo. b) Desenhe duas curvas diferentes mostrando que a circulação deste campo elétrico é nula.

4. Como você expressaria em termos de a) gráficos, b) linhas de campo, c) diagramas de seta, d) equações de Campo, o Campo gerado por: Uma casca esférica não-condutora carregada; uma casca cilíndrica não-condutora carregada.

5. Uma esfera sólida de raio R possui uma distribuição de carga não-uniforme com densidade volumétrica de carga dada por $\rho = \rho_s r/R$, onde ρ_s é uma constante e r é a distância ao centro da esfera. Mostre (a) que a carga total sobre a esfera é $Q = \pi\rho_s R^3$ e b) que dentro da esfera $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r^2}{R^2}$

Na atividade 8 apresentamos cinco Situações, nas quais visamos abordar quatro classes de Situações. Isto significa que algumas das Situações se enquadram na intersecção de duas classes, ou seja, elas são Situações mais complexas, pois exigem o domínio de mais de uma Classe de Situações para serem resolvidas.

A Situação 1 pode ser trabalhada com a referência a objetos de massa dada interagindo gravitacionalmente. Para resolvê-la, é preciso calcular o Campo Gravitacional devido à Terra em pontos no interior do seu volume. É preciso, ainda descrever a interação entre os dois usando a "Força de Lorentz⁸⁶" para a Gravitação $F = mg$. Esta Situação engloba, portanto, elementos das classes de Situações C e I, ou seja, calcular o Campo (no caso, Gravitacional) e descrever Interações Físicas (no caso, Gravitacional).

As Situações 2 e 5 podem ser trabalhadas com o estabelecimento da referência às Fontes dos Campos Elétricos e a Campos Elétricos no Espaço. Esta Situação requer certa manipulação conceitual, especialmente dos conceitos de Carga Elétrica Líquida e de Simetria (se usada a lei de Gauss), no entanto, somente um Esquema/Modelo Mental é necessário para resolvê-la. Esta Situação engloba, portanto, elementos das classes de Situações C.E (Cálculos de Campos Elétricos). As Situações são, no entanto, diferentes nos parâmetros, pois a Situação 2 envolve duas distribuições de Carga Elétrica conhecidas, porém constantes. A Situação 5 envolve uma distribuição de Carga Elétrica conhecida, porém variável ao longo do volume.

A Situação 3 requer tanto a Representação Simbólica, englobando, portanto, elementos das Situações S.E (Representação Simbólica), bem como a Representação

⁸⁶ Trata-se, obviamente de uma analogia.

Analógica, englobando, pois, elementos das Situações A.E (Representação Analógica). Ao mesmo tempo em que é necessário estabelecer Representações Analógicas do Campo Elétrico no Espaço, requer-se a apresentação de Representações Simbólicas do Campo Elétrico através dos conceitos de Fluxo e de Circulação.

A Situação 4 requer tanto a Representação Analógica, envolvendo, pois, elementos das Situações A, bem como o cálculo de Campos Elétricos, agrupando, então, elementos das Situações C.E. Deve-se, concomitantemente, calcular, representar analogicamente e calcular o Campo Elétrico devido a distribuições dadas e com alto grau de simetria, a saber, uma casca esférica não condutora e uma casca cilíndrica não condutora, ambas as distribuições possuindo Carga Elétrica q .

Quanto à Situação 1, da classe I.E (Descrição de Interações Elétricas), dos 20 alunos realizando a tarefa individual, onze a respondem sem fazer menção explícita ao Campo Gravitacional da Terra como agente da Força Gravitacional. Não se pode tomar qualquer conclusão mais incisiva sobre a decisão sobre as hipóteses levantadas na tarefa 7, pois os estudantes usam a Força como função de \vec{g} , um teorema-em-ação importante tanto nos Modelos M.I.2 como nos M.I.5. Ainda que consideremos M.I.2, é possível, ainda, um processamento implícito da referência ao Campo tanto como grandeza abstrata quanto como grandeza real agente da Força.

Este resultado é parcialmente satisfatório, pois somente quatro alunos usaram Esquemas no qual o Campo Gravitacional é irrelevante para a explicação do problema. Os alunos conseguem calcular também corretamente o Campo Gravitacional a partir da equação de Fluxo. Bastante evidente seria se os estudantes explicitassem estas Operações de Pensamento relativas à sua visão ontológica sobre o Campo Gravitacional. Somente cinco alunos não fizeram a tarefa.

Quanto à Situação 4, da Classe A.E (Representação Analógica do Campo Elétrico), dos 20 alunos fazendo a tarefa, 17 conseguem distinguir entre as regiões interna e externa e representar o Campo Elétrico tanto no interior como no exterior. Este ponto parece evidenciar entendimento dos estudantes com respeito à Representação Analógica com o possível uso do Modelo Mental M.A.E.2.

Com respeito à Situação 3, da Classe S.E (Representação Simbólica do Campo Elétrico), da totalidade dos alunos trabalhando na atividade, cinco parecem representar simbolicamente o Campo Elétrico fazendo referência à configuração geométrica do Campo com respeito à Gaussiana, 11 indicam para o estabelecimento desta relação com respeito às fontes de Campo Elétrico (Cargas Elétricas), três parecem usar um Modelo Mental extensivo à configuração geométrica e às fontes. Somente um aluno não apresenta uma tentativa de domínio da Situação.

Quanto a estas duas classes de Situações, os alunos parecem estar dominando-as progressivamente. Quanto à classe de Situações S.E, envolvendo Problemas nos quais é fundamental a Representação Simbólica de Campos Elétricos usando operadores Integrais, os estudantes parecem trabalhar com Modelos Mentais cada vez menos

análogicos e cada vez mais simbólicos. Alguns alunos já começam a articular os dois Modelos, o que consideramos o ponto mais adequado indicando possibilidade de Aprendizagem Significativa.

Quanto às Situações C.E, nas quais é fundamental calcular Campos Elétricos, a saber, as Situações 2 e 5, temos uma variação. Quanto à questão 2, 19 alunos indicam possível uso do Modelo Mental M.C.E.1, associado ao cálculo do Campo Elétrico com viés operacional. Destes, um comete um erro conceitual, pois usa a Lei de Coulomb para a resolução e a emprega de forma inadequada. Quanto à questão 5, 13 alunos (seis não dominam a Situação) sugerem possível apresentação de uma solução para o Problema, com dois alunos cometendo erros conceituais e um estudante empregando erro procedimental. Somente um aprendiz não trabalhou qualquer Situação.

Tabela 16: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na oitava tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.A.E) e Modelos Mentais (M.A.E) para Representar Analogicamente o Campo Elétrico – IV																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.S.E) e Modelos Mentais (M.S.E) para representar simbolicamente o Campo Elétrico (S.E.) – III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para calcular Campos Elétricos – II, V																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	25	25 §	2	25	25		25	25	2	25	2 &5	25	2	2				25	25	25	2	25 &	2
2																							
N																							

Tarefa 9 – Circulação e Potencial Elétrico

A atividade 9 abordava o conceito de Potencial Elétrico e estabelecia a relação com a Equação de Circulação. Nesta aula, apresentamos Situações de dois tipos, a saber, I e C. A tarefa 9 é apresentada abaixo

1. Qual a distinção entre a Diferença de Potencial e a Diferença de Energia Potencial? Dê exemplos das afirmações em que cada termo é usado apropriadamente.

2. A Diferença de Potencial entre dois pontos associa-se a uma quantidade de trabalho por unidade de carga de prova necessária para mover uma Carga Elétrica entre dois pontos. Este trabalho tinha o sinal oposto do trabalho realizado pela Força Elétrica devida ao Campo Elétrico sentido pela carga de prova. O que isto quer dizer? Como isto pode ser associado à ideia de Corrente Elétrica?

3. Qual a Diferença de Potencial entre dois pontos a e b , distantes de r_a e r_b ($r_b > r_a$):

a) do centro de uma esfera de raio $R > r_b$ (pontos internos da esfera)? b) do centro de uma esfera de raio $R < r_a$ (pontos externos da esfera)?

As Situações 1 e 2 para serem resolvidas precisam da ideia de Trabalho realizado pelo Campo Elétrico. Nesta questão foi possível ver quais alunos carregavam, nas tarefas 7 e 8 os Modelos M.I.5 ou M.I.2, pois alguns dos alunos fizeram referência à ideia do trabalho realizado pelo Campo Elétrico, associado à Força Elétrica. Estes Problemas se enquadram, portanto, na classe de Situações I.E.

Em ambas as Situações, não há menção a qualquer fonte de Carga Elétrica, deixando ao arbítrio do aprendiz esta escolha. Isto, a nosso ver, configura uma maior liberdade de pensamento ao estudante, bem como maior teor de generalidade e abstração. Vemos tomarem as respostas dos estudantes um viés mais conceitual que operacional.

A Situação 3 requer o cálculo da Diferença de Potencial entre dois pontos no Espaço devida a uma distribuição de Carga Elétrica conhecida e com alto grau de Simetria. É uma Situação na qual os estudantes precisam usar a lei de Gauss e, em seguida, a relação entre Potencial e Campo Elétrico para determinar a Diferença de Potencial no espaço.

Vemos que 13 alunos dos 22 a realizar a tarefa parecem apresentar um Modelo Mental mais voltado ao M.I.5, enquanto nove alunos indicam para possível uso de um Modelo Mental mais voltado ao M.I.2. É, portanto, um importante passo. Os estudantes evidenciam a distinção do Campo Elétrico tanto da ideia de Força Elétrica, como da de Potencial Elétrico e da de Energia Potencial Elétrico, associam a Energia e a realização de Trabalho ao Campo Elétrico. Os nove alunos apresentam coerência conceitual, porém não ressaltam este importante aspecto ontológico do conceito.

Quanto aos cálculos, os alunos os executam com perícia, no entanto, deixam implícitos ou não parecem considerar importante a ideia de Simetria, já discutida em sala de aula. Foi um dos pontos que nos preocupamos em solucionar no segundo e no terceiro estudos. Apresenta-se uma tabela resumido os resultados da implementação da atividade.

Tabela 17: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na nona tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I, II																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2		■	■	■						■		■	■		■	■							■
3																							
4																							
5	■				■	■	■	■	■		■			■				■	■	■			■
N																						■	
Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para calcular Campos Elétricos – III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■
2																							
N																						■	

Tarefa 10 – Condutores e Isolantes

A atividade 10 abordava a interação entre Campos Elétricos e materiais (Condutores e Dielétricos). Nesta aula, apresentamos Situações de um tipo, a saber, I. Deve-se ressaltar a escolha por Dielétricos lineares, isotrópicos e homogêneos e Condutores com Condutividade constante. A tarefa é apresentada abaixo.

1. Mantendo-se um bastão carregado próximo de uma das pontas de um bastão metálico isolado sem cargas como na figura abaixo, elétrons são arrastados para uma das pontas, como mostrado. Por que o movimento dos elétrons é interrompido? Há, afinal, quase um inesgotável suprimento destes no bastão metálico.
2. Esboce as Linhas de Campo Elétrico em uma região de Campo Elétrico uniforme na qual é introduzida um cilindro Dielétrico.

A Situação 1 envolve a Interação entre um objeto metálico e um bastão eletricamente carregado via Campo Elétrico. O objeto metálico está eletricamente neutro e o bastão está carregado com Carga Elétrica desconhecida (tanto a quantidade total como a forma pela qual está distribuída). São diversos elementos influenciando na conceitualização. Tal Situação se enquadra na classe de Situações I, aquelas para descrever a Interação Elétrica entre Campo Elétrico e Objetos portadores de Carga Elétrica.

A Situação 2, que preferimos não colocar na forma de pergunta, envolve duas classes de Situações, porém objetivamos investigar só a parcela associada às Interações Elétricas. A Situação envolve um Campo Elétrico criado por uma fonte de Carga Elétrica desconhecida e um Dielétrico. Tal Situação se enquadra na classe de Situações I, cuja finalidade requer a descrição de Interações Eletromagnéticas.

Esta tarefa é especial, pois os estudantes costumam possuir vários teoremas-em-ação alternativos com respeito aos Condutores e Isolantes. Shen e Linn (2011) ressaltam, por exemplo, relacionam os seguintes ao conhecimento-em-ação dos alunos:

a) apenas condutores podem conter Cargas Elétricas, b) o movimento de Cargas Elétricas em condutores cessa quando as Cargas Elétricas atingem mesmo módulo, c) Condutores e Isolantes são indistintos. De maneira geral, somente quatro estudantes (um grupo) evidenciaram o teorema-em-ação b.

Os alunos parecem ressaltar, pelo contrário, a Interação entre Campos Elétricos e portadores de Carga Elétrica nos Condutores e Isolantes ou a Interação entre Cargas. Deve-se destacar parecer ser a descrição carga-carga mais evidente quando há uma fonte de Campo Elétrico evidenciada pelo problema, pois os alunos voltam sua atenção à interação entre as Fontes. O Campo Elétrico assume, no entanto, um papel fundamental na descrição do processo, pois muitos estudantes o indicam através da apresentação da Força de Lorentz ou o conceito de Potencial Elétrico para falar sobre interações.

Na Situação do condutor, 13 dos 19 estudantes realizando a tarefa pareceram usar o Modelo Mental M.I.E.5. Dois alunos possivelmente usaram o Modelo Mental M.I.E.2 que trata a Interação Elétrica como associada ao Campo Elétrico, mas sem qualquer vínculo ontológico explícito e, talvez, implícito. Quatro alunos, no entanto, indicam evocação do Esquema de Assimilação S.I.E.1, que desconsidera o conceito de Campo Elétrico no trabalho das Interações e se apropria de uma ideia limitada e incorreta sobre o fim do Fluxo de Cargas Elétricas.

Na Situação do Isolante, o número diminui. Oito dos estudantes parecem apresentar o Modelo M.I.E.5, enquanto sete possivelmente usam o Modelo Mental M.I.E.2. Quatro alunos não apresentaram, no entanto, qualquer tipo de conceitualização. É possível verificar a importância da introdução do conceito de Campo Elétrico na descrição das Interações logo no começo da instrução e ao longo de toda a mesma.

A maioria dos alunos aborda as Interações Elétricas entre Cargas Elétricas e condutores de forma a enfatizar o papel do Campo Elétrico. É importante, portanto, apresentar possíveis entendimentos dos alunos com respeito aos problemas desta natureza.

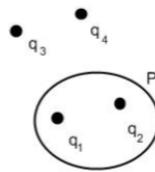
Tabela 18: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na décima tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – II, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1						2&						2&					2&				2&		
2	3				3				3	3	3				3	3							
3																							
4																							
5	2				2					2				2		2							
N						3		-				3					3	-	-		3		-

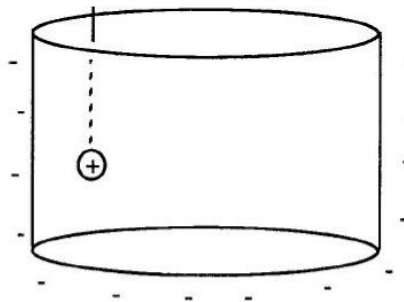
Avaliação Somativa

A avaliação somativa consistiu de oito questões sobre o conceito de Campo Elétrico. Foi possível estudar o domínio de Situações das quatro classes de Situações arroladas no trabalho. A avaliação somativa é apresentada abaixo:

1. Explique, detalhadamente, o que você entende pelo conceito de Campo Elétrico. Como você relacionaria este conceito ao de campo, ao de Força Elétrica, ao de carga e ao de Diferença de Potencial?
2. Um bastão negativamente eletrizado é trazido para perto de alguns pedacinhos de papel neutros. Os pedacinhos de papel são, então, atraídos ao bastão. Como você explicaria este fenômeno?
3. Considere a Superfície Gaussiana que envolve parte da distribuição de cargas mostrada na figura abaixo. A) Qual das cargas contribui para o Campo Elétrico no ponto P? b) Quais cargas contribuem para o Fluxo do Campo Elétrico através da Superfície? Justifique



4. Suponha um dipolo elétrico colocado entre duas placas carregadas com sinais contrários. O seu momento de dipolo forma um ângulo θ em relação à direção do Campo Elétrico. Descreva qualitativamente e quantitativamente o que ocorre com este dipolo.
5. Uma cavidade cilíndrica condutora é carregada com carga Q , conforme a figura abaixo. Uma pequena esfera carregada com carga q , pendurada por um fio isolante, é introduzida na cavidade sem encostar-se a esta, conforme a figura abaixo. O que acontece dentro da cavidade?



6. Um modelo muito grosseiro de um nêutron supõe que ele consiste de um núcleo inteiro de carga positiva e de uma camada externa negativamente carregada. Nesse modelo o núcleo interno seria esférico e uma carga $+e$ estaria uniformemente distribuída nessa esfera, enquanto que uma carga $-e$ estaria uniformemente distribuída sobre uma casca esférica concêntrica. Qual seria nesse modelo o campo elétrico \vec{E} em função do raio r , para $r < a$, $a < r < b$ e $r > b$?
7. Uma esfera condutora de raio R é carregada com carga Q . Mostre em um gráfico como varia a) a intensidade do Campo Elétrico e b) o Potencial Elétrico em função da distância r ao centro da esfera, para pontos internos e externos a ela.
8. Uma esfera de raio R é colocada em um Campo Elétrico uniforme $\vec{E} = E_0\hat{z}$. a) como podemos representar usando diagramas, desenhos, gráficos o Campo Elétrico resultante no Espaço? b) O Potencial Elétrico em um ponto qualquer no exterior da esfera é dado em função da distância r ao longo de um eixo normal à superfície da esfera (um eixo paralelo ao raio da esfera) e pelo ângulo polar (ângulo formado entre o eixo z e o eixo paralelo ao raio da esfera) θ .

$$V(r, \theta) = -E_0 r \cos\theta + \frac{E_0 R^3 \cos\theta}{r^2}$$

O primeiro termo expressa o Potencial Elétrico devido a um campo uniforme e o segundo termo expressa o potencial devido a um dipolo elétrico. Como você explicaria fisicamente a forma quantitativa para o potencial V?

As Situações 2,4 e 5 podem ser classificadas no grupo daquelas nas quais é necessário descrever uma Interação Elétrica usando o conceito de Campo Elétrico. A Situação 2 envolve uma distribuição de Cargas Elétricas dada e um Isolante, a 4 envolve duas distribuições de Cargas Elétricas dadas e a 5 envolve uma distribuição de Cargas Elétricas dada no interior de um Condutor com Carga Elétrica conhecida (mas cuja distribuição de Carga Elétrica é desconhecida).

As Situações 7⁸⁷ e 8 requerem a Representação Analógica (através de diagramas de seta ou linhas de campo) de um Campo Elétrico no espaço. Esta Situação se enquadra na classe de Situações A.

A Situação 3 requer, por estar na classe de Representação Simbólica do Campo Elétrico no Espaço, esta ação de apresentar as características conceituais de Representação Simbólica do Campo Elétrico. A Situação 4 requer a descrição da Interação Elétrica entre um Campo Elétrico e um dipolo Elétrico.

A Situação 6 requer o cálculo de um Campo Elétrico. Os elementos envolvidos na Situação são a presença de duas distribuições de Carga Elétrica conhecidas, dispostas em uma esfera maciça e em uma esfera oca, isto é, ao longo do volume e da superfície de duas formas geométricas distintas.

Com respeito à classe de Situações I, dos 23 alunos 18 parecem usar o Modelo Mental M.I.E.5. Tal Modelo Mental para 16 dos alunos é um candidato a Esquema de Assimilação, pois é usado em três Situações distintas, o que compõe uma evidência de estabilização. Para um aluno (R), ainda há uma possível variação entre M.I.E.2 e M.I.E.5 e para outro (O), um caso mais preocupante, pois há a possível coexistência de um Modelo Mental e de um Esquema. Desta forma, o aluno parece tender a usar o Esquema em detrimento do Modelo Mental (e a desconsideração da causalidade múltipla sugere isto).

Três alunos parecem não conseguir usar senão o Esquema para descrever Interações Elétricas sem usar o conceito de Campo. Isto conta como uma pequena minoria, levando em conta os 24 alunos envolvidos no estudo. Isto é um dos possíveis indicadores da eficiência da UEPS e, ao mesmo tempo, uma evidência da existência de alunos que possivelmente não dominam Situações nas quais se devam estudar Interações Elétricas.

⁸⁷ Pode-se, na verdade, argumentar que esta Situação pode ser enquadrada tanto na Classe de Situações de Cálculo do Campo Elétrico como de Representação Analógica. Sim, isto é verdade, no entanto, decidimos explorar a Representação Analógica, por isto organizamos a Situação para enfatizar este tipo de conduta cognitiva.

Consideramos ponto positivo este número atingindo quase a totalidade dos alunos. Isto parece evidenciar Aprendizagem Significativa, pois associado a isto está ao possível domínio contínuo de Situações em grupo e individualmente.

Com respeito à classe de Situações A.E (Representação Analógica do Campo Elétrico), dos 23 alunos, 21 parecem representar o Campo Elétrico analogicamente, de forma adequada, dentro e fora das Fontes. Isto é importante ser ressaltado, pois no início, muitos alunos apenas indicavam um possível estabelecimento de Representações fora das Fontes. Três alunos, no entanto, não parecem apresentar uma resposta ao Problema proposto.

Com respeito à classe de Situações S.E (Representação Simbólica do Campo Elétrico), um aluno indica confusão entre Fluxo do Campo Elétrico e Campo Elétrico. Dez abordam o Campo Elétrico de uma forma mais geométrica, enquanto sete aproximam-se de uma visão mais algébrica e relacional do Campo Elétrico através dos conceitos de Fluxo e de Circulação. Uma visão mais integrada foi um ponto que tentamos levar em conta nos dois outros estudos. Os estudantes, no entanto, parecem adotar dois Modelos Mentais, candidatos a Esquemas, que possuem coerência com o conteúdo.

Com respeito às classes de Situações C.E (Cálculo do Campo Elétrico), os estudantes parecem construir, cada vez mais, Modelos Mentais para calcular o Campo Elétrico conceitualmente. Ainda se parece ter, no entanto, alguns alunos focando mais o cálculo operacional do Campo Elétrico que o cálculo voltado às considerações conceituais. É um ponto que pode estar associado à ideia de formalidade das primeiras UEPS, mas ainda visamos dar uma resposta para as hipóteses de ser este tratamento operacional inicialmente natural e, posteriormente, conduzido a um aspecto conceitual, ou de ter sido o tratamento operacional induzido pela UEPS.

Tabela 19: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação somativa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever interações Elétricas - II, IV, V																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1															45								
2			24															24					24
3																							
4																							
5				3											2			6					
N			6																				
Possíveis Esquemas (S.A.E) Modelos Mentais (M.A.E) para representar analogicamente o Campo Elétrico - IX																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.S.E) e Modelos Mentais (M.S.E) para representar simbolicamente o Campo Elétrico - III, VIII																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W

4. Um estudante afirma que, na situação da figura, o ímã e a esfera de poliestireno, carregada com uma carga Q negativa, sofreriam repulsão mútua. Você concorda com tal afirmação? Justifique detalhadamente sua resposta.

As situações 2 e 3 apresentadas referem-se à Classe de Situações S.B, na qual requer-se a Representação Simbólica do Campo Magnético, ou seja, requer descrição do Campo Magnético fazendo referência às entidades Físicas que o criam, à sua forma no Espaço. Ambas as questões referem-se às fontes como sendo ímãs, visto serem muitos teoremas-em-ação alternativos oriundos da conceitualização sobre ímãs.

A situação 4 está enquadrada na Classe de Situações I.B, na qual é preciso descrever a Interação Magnética entre um Campo Magnético e um Objeto eletricamente carregado. A presença do ímã propicia o uso de teoremas-em-ação relacionando pólos de ímãs a Cargas Elétricas. Dada a ênfase dada por Guisasola et al. (1998, 2004) e Brandamante e Viennot (2007) às ideias sustentadas por alunos infantis, inclusive, sobre o caráter dos ímãs, entendemos este conhecimento como prévio aos alunos.

A construção de um mapa conceitual não é necessariamente uma Situação Problema, e tampouco se enquadra em uma ou outra classe de Situações, senão que pode estar associada a todas elas, em especial às classes S e I.

Para responder à Situação 4, 14 alunos parecem usar o Esquema S.I.B.6 que trata o Campo Magnético como semelhante ao Campo Elétrico, inclusive apresentando indícios de entendimento das fontes de Campo Magnético como Cargas Elétricas e do Campo Magnético como agente mediador de Forças sobre Cargas Elétricas em repouso.

Dois alunos possivelmente apresentam o Modelo Mental incorporando aspectos substancialistas/choquistas (Bachelard, 1996) no qual os Campos Elétrico e Magnético se chocam, resultando daí a interação⁸⁸. Sete alunos parecem apresentar uma forma adequada para a explicação das Interações Magnéticas de forma ampla, isto é, sem ressaltar o papel do Campo Magnético como agente Interação.

Para responder às Situações da Classe S, a saber, 2 e 3, os alunos, em sua grande maioria, indicam possível ativação de um Esquema do tipo S.I.B.7 no qual tratam as fontes do Campo Magnético como intrínsecas à matéria (Brandamante e Viennot, 2007; Guisasola et al, 1998, 2004). Isto nos mostra ser o conhecimento prévio dos estudantes, no mínimo, bastante fragmentado, ou mesmo, fortemente alternativo no que tange ao conceito de Campo Magnético.

A seguir descrevemos as condutas cognitivas dos estudantes na segunda tarefa das UEPS.

Tabela 20: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na avaliação de conhecimento prévio em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.B) para descrever Interações Magnéticas – IV																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W

⁸⁸ O que pode ser interpretado como Fixação Funcional.

Este resultado sugere compreensão e construção de Modelo Mental para Representar o Campo Magnético e indica uma possível compreensão adequada da maioria com respeito ao conceito de Campo Magnético. O conceito de Fluxo, cujos aspectos gerais já haviam sido tratados na UEPS de Campo Elétrico, é adaptado rapidamente ao conceito de Fluxo Magnético, levando uma quantidade considerável de alunos à Representação mais adequada do Campo Magnético.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Magnético, a maioria dos alunos (15) parece representar Simbolicamente o Campo Magnético usando a ideia de Fluxo Magnético de forma adequada, isto é, associando o Campo Magnético a fontes não-monopolares cujas Linhas de Campo Magnético são fechadas. Quatro alunos usam exclusivamente o caráter monopolar do Campo Magnético como teorema-em-ação fundamental para construir a inferência. Um aluno em uma questão parece usar o Modelo Mental M.S.B.2 em uma questão (terceira) e o Modelo Mental M.S.B.3 em outra (segunda).

O conceito de Fluxo Magnético parece ter sido inicialmente compreendido pelos estudantes sob uma perspectiva tanto relacional como geométrica. O uso destes Modelos Mentais não garante, no entanto, a estabilização dos mesmos. Mais informações são dadas na descrição das próximas tarefas.

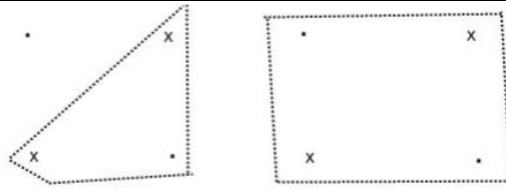
Tabela 21: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na segunda tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.A.B) Modelos Mentais (M.A.B) para representar analogicamente o Campo Magnético (A.B) – I, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para representar simbolicamente o Campo Magnético – II, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
N																							

Tarefa 3 – Circulação Magnética e Lei de Ampère para a Magnetostática

Na tarefa 3, visamos estudar como os estudantes representam simbolicamente o Campo Magnético, enfocando a ideia de Circulação. Apresentamos a tarefa abaixo.

1. Cada um dos quatro condutores indicados na figura abaixo conduz uma corrente i no sentido para dentro ou para fora da página. Dois caminhos estão indicados para a circulação. Qual o valor da circulação para a) o caminho da esquerda e b) o caminho da direita?



Qual o Campo Magnético em a) e em b)? Justifique.

2. Explique como um ímã pode ser comparado a um condutor de corrente elétrica. Faça as aproximações necessárias e as explicitite.

As duas Situações requerem a Representação Simbólica do Campo Magnético. Ambas requerem o conceito de Circulação do Campo Magnético e o entendimento da lei de Ampère Magnética. A diferença básica entre os elementos da Situação está no fato de na Situação 1, trabalharmos diretamente com Corrente Elétrica e na Situação 2 trabalharmos com Ímãs. A Situação 1 trabalha de forma mais explícita a relação entre Circulação e Campo Magnético.

19 dos 21 alunos fazendo a tarefa pareceram estabelecer a representação enfatizando a fonte do Campo Magnético como sendo a Corrente Elétrica. Dois alunos indicam, porém, possível confusão na questão 1 entre os conceitos de Circulação e de Campo Magnético (Guisasola et al., 2008), um ponto crítico, a nosso ver. Parece, no entanto, ter havido uma compreensão cientificamente adequada dos conceitos pela maioria dos estudantes.

Tabela 22: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na terceira tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para representar simbolicamente o Campo Magnético – I, II																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3									2		2												
4																							
5									1		1												
6																							
7																							
N																							

Tarefa 4 – Uso da Lei de Ampère para o cálculo de Campos Magnéticos

Na tarefa 4, visamos estudar como os estudantes calculam Campos Magnéticos. Apresentamos a tarefa abaixo.

Para a resolução da tarefa, considere os seguintes Sistemas a) Fio muito comprido, b) Solenóide muito comprido, c) Bobina toroidal a) Um fio muito comprido, conduzindo uma corrente i e tendo raio R , possui expressões para o Campo Magnético da forma:

$$B_{int} = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2}$$

$$B_{ext} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

b) Um solenoide muito longo, composto de n espiras por quantidade de comprimento, conduz uma corrente i . As expressões para o Campo Magnético para o solenoide, para pontos no interior e no exterior do mesmo, são:

$$B_{int} = \mu_0 n i$$

$$B_{ext} = 0$$

c) Uma bobina toroidal, constituída de N espiras, é percorrida por uma corrente i . As expressões para o Campo Magnético da bobina toroidal são:

$$B_{int} = \frac{\mu_0 N i}{2\pi R}$$

$$B_{ext} = 0$$

1. Descreva o vetor Campo Magnético (direção, intensidade e sentido) para cada um dos sistemas.
2. Mostre que as expressões dadas (para os campos não nulos, obviamente) satisfazem à lei de Ampère. Obviamente, você terá que escolher uma amperiana particular, pois para uma superfície arbitrária você terá muita dificuldade.
3. Mostre que as expressões dadas (para os campos não nulos, obviamente) satisfazem à lei de Gauss para o magnetismo. Obviamente, você terá que escolher uma gaussiana particular, pois para uma superfície arbitrária você terá muita dificuldade.

As Situações 1, 2 e 3, a princípio, requerem Representação Simbólica e Cálculo de Campo Magnético. Focamo-nos em analisar como os estudantes executam estes cálculos para três sistemas de geometria diferente, a saber, um fio longo conduzindo corrente na direção paralela ao seu comprimento, um solenoide muito longo e uma bobina toroidal.

Conforme esperado e baseado no conhecimento prévio possivelmente desenvolvido na UEPS de Campo Elétrico, os estudantes começam a usar a lei de Ampère para o cálculo de Campos Magnéticos embasados na ideia de Simetria das distribuições de Carga Elétrica, bem como usando a distinção entre Corrente Elétrica englobada pela Amperiana e Corrente Elétrica total. Há indícios de os estudantes possivelmente conseguirem compreender ser a Circulação relativa ao Campo Magnético resultante devido a todas as Correntes Elétricas no Espaço, embora a Circulação esteja ligada diretamente à Corrente Elétrica englobada pela Amperiana.

Tabela 23: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quarta tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.C.B) e Modelos Mentais (M.C.B) para calcular Campos Magnéticos – I, II, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
N																			-				

Tarefa 5 – Força Magnética sobre Carga Elétrica em movimento/ Força Magnética sobre fios de Corrente Elétrica

Na tarefa 5, visamos estudar como os estudantes descrevem Interações o Campo Magnético. Apresentamos a tarefa abaixo.

1. Suponha que você coloque um fio de formato arbitrário em um Campo Magnético $\vec{B}(\vec{r})$. Discuta fisicamente, com base na expressão $\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$, o mecanismo necessário para conhecermos a força resultante neste fio.

2. Um segmento de fio reto de cobre carrega uma corrente i , cuja densidade de massa é dada por λ . a) Como você pode fazê-lo flutuar usando um Campo Magnético? b) Apresente um modelo esquemático da situação. c) Apresente um modelo matemático da mesma.

3. Suponha que um elétron seja lançado no plano (x, y) , com velocidade de intensidade v_0 , em uma direção que forme um ângulo θ com o semi-eixo positivo de x . No instante $t = 0$, o elétron está localizado na posição $\vec{r}(0) = R \hat{k}$. Considere, ainda, que exista um Campo Magnético constante ao longo da direção y . Responda aos itens abaixo: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) Qual a direção, o sentido e intensidade, da força magnética exercida sobre o elétron? c) Certamente este elétron está acelerado se $\theta \neq \pi/2$ ou $\theta \neq -\pi/2$. Sabe-se, pela fórmula de Larmor para a eletrodinâmica, que carga acelerada emite radiação. No entanto, estamos estudando magnetostática, uma teoria que não lida com emissão de radiação ou ondas eletromagnéticas. Como você reconciliaria esta aparente contradição? d) Que trajetória é seguida pelo elétron? Obs: a realização de cálculos para este item é opcional. No entanto, deve ser justificada fisicamente. Obs: Para quem quiser executar o modelo matemático para a questão, as equações de movimento são dadas abaixo $\vec{r}(t) = R[\sin(\omega t)\hat{i} + \cos(\omega t)\hat{k}] + v_0 t \sin\theta \hat{j}$. $v(t) = \omega R[\cos(\omega t)\hat{i} - \sin(\omega t)\hat{k}] + v_0 \sin\theta \hat{j}$. As equações diferenciais são do tipo:

$$m\ddot{x} = -q\dot{z}B, m\ddot{y} = 0, m\ddot{z} = q\dot{x}B.$$

Lembro novamente. A questão pede a trajetória explicada fisicamente. A matematização é opcional.

As três Situações requerem a descrição de Interações Magnéticas entre Campos Magnéticos devidos a fontes omitidas e Correntes Elétricas ou Cargas Elétricas pontuais em movimento. As Situações 1 e 2 referem-se a Interações entre Campos Magnéticos e Correntes Elétricas. A Situação 3 refere-se a Interações entre Campos Magnéticos e uma Carga Elétrica pontual em movimento.

Os estudantes parecem incorporar o Campo Magnético na explicação, porém de forma ampla e geral. Isto é, não fazem pronunciamentos explícitos ou mesmo explicitáveis acerca do papel de agente da Força Magnética por parte do Campo Magnético. 21 dos 23 alunos (dois não fizeram a tarefa) parecem construir um Modelo Mental do tipo M.I.B.2. Este passo inicial na conceitualização usando o Campo Magnético pode nos dar dois indicativos:

- Os estudantes, por já estarem familiarizados com o conceito de Campo Magnético indicam a possível construção de um Modelo Mental do tipo M.I.B.5, mas na verdade explicitam o Campo Magnético como instrumento para calcular a Força Magnética;

- Os estudantes possivelmente usam o Modelo M.I.B.2 e consideram o conceito de Campo Magnético como importante, mas o usam de uma perspectiva mais operacional, sem muitas preocupações com a ontologia do conceito de Campo.

Tabela 24: Representações internas usadas pelos estudantes na quinta tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – I, II, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
N									-														

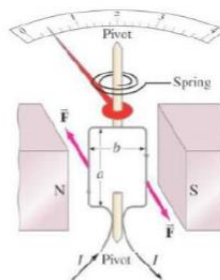
Tarefa 6 – Torque sobre uma espira de Corrente Elétrica

Na tarefa 6, visamos estudar como os estudantes descrevem Interações o Campo Magnético, mais precisamente, como objetos com momento magnético dado interagem com o Campo Magnético. Apresentamos a tarefa abaixo.

1. Considere que a espira que sofre a ação de um torque devido a um Campo Magnético externo seja constituída de N enrolamentos de fio. Argumente fisicamente sobre a razão de escrevermos o torque sobre a espira segundo a forma

$$\vec{\tau} = N \vec{\mu} \times \vec{B}$$

2. O componente básico de medidores analógicos (aqueles de ponteiro), incluindo amperímetros, voltímetros e ohmímetros analógicos, é o galvanômetro. Um galvanômetro é composto de uma bobina de fio (acoplado a um ponteiro) suspenso no Campo Magnético de um magneto permanente (ímã). Associada ao eixo de rotação da bobina há uma mola de constante de torção κ , conforme a figura abaixo.



Pergunta-se: a) Se quiséssemos calcular o ângulo de giro do ponteiro no galvanômetro, que quantidades físicas seriam necessárias para tal? b) Que aproximações você faria no problema? c) Apresente uma expressão para o ângulo de giro do ponteiro, discutindo fisicamente as etapas do processo.

3. Construa um modelo físico (conceitual) para a imantação de um pedaço de clipe por um magneto permanente. Dica: considere os átomos como pequenas espiras de corrente. Que variáveis você considerou neste modelo?

As três questões requerem a descrição da Interação Magnética entre uma espira de Corrente Elétrica e um Campo Magnético. Nesta tarefa, temos um fator importante. Na segunda questão temos um ímã e a ele os estudantes associam o status de fonte de Campo Magnético. Desta forma, os alunos conseguem compreender a interação entre um ímã e uma corrente, o que indica uma distinção entre Ímãs e Cargas Elétricas, bem como o entendimento das Interações Magnéticas.

É importante mencionar que a terceira questão dá evidências acerca da hipótese levantada acima. 21 dos 23 alunos usa a ideia do Campo Magnético como agente da Força Magnética na terceira questão e usa o Modelo Mental M.I.B.2 nas outras. Isto pode indicar tanto:

- O possível uso do Modelo Mental M.I.B.5 com a ideia do Campo Magnético como agente da Força Magnética como implícita na explicação;
- Possível coexistência de dois Modelos Mentais, a saber, M.I.B.2 na explicação e dependência da forma pela qual a Situação é apresentada.

Quanto à segunda hipótese, a ideia de Campo Magnético é somente um acessório para construir inferências e, por isto, o aluno possivelmente constrói um Modelo Mental enfocando as variáveis a serem encontradas. Quando é preciso focar na Interação Magnética entre Campos Magnéticos e Correntes Elétricas ou outros Objetos de prova para o Campo Magnético, os estudantes possuem maior critério para descrevê-las. Discutiremos mais à frente, com maior suporte de dados, esta aparente ambiguidade.

Tabela 25: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sétima tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – I, II, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3	3	3	3
6																							
N																							

Tarefa 7 – Comparação entre os Campos Elétrico e Magnético

Na tarefa 7, pedimos que os alunos apresentassem um mapa conceitual no qual pudessem comparar os Campos Elétrico e Magnético. Apresentamos a tarefa abaixo.

1. Construa um mapa conceitual a partir da palavra eletromagnetismo no qual você possa comparar os Campos Elétrico e Magnético.

A análise dos mapas constituiu ponto fundamental para o esclarecimento de aspectos concernentes à relação estabelecida pelos alunos entre as Fontes de Campo e o

próprio Campo e está, por isto, associada à Representação Simbólica do Campo. Outra relação importante foi estabelecida com respeito ao papel do Campo na interação. Desta forma, usamos este mapa conceitual como mais evidências sobre a conceitualização dos estudantes, de forma que suas informações, já diluídas nas informações sobre as possíveis Representações Internas inferidas como adotadas pelos estudantes, seriam redundantes aqui.

Tarefa 8 – Diamagnéticos x Paramagnéticos

Na tarefa 8 requer-se a descrição de Interações Magnéticas, mais precisamente entre Campos Magnéticos e materiais magnéticos. Apresentamos a tarefa abaixo.

-
1. Um Campo Magnético de 0,50T é aplicado a um gás cujos átomos tem momento de dipolo magnético intrínseco de $1,2 \times 10^{-23} \text{J/T}$. Sabe-se que o torque sobre os átomos deste material é dado por $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$. Percebe-se que τ independe da velocidade dos objetos e, assim, podemos escrever, para este caso, em particular, uma energia de interação entre o Campo Magnético e os átomos como $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$. Cada um destes átomos com momento magnético está livre para se mover e tem uma velocidade \vec{v} . Pelo conhecido teorema de equipartição de energia, a energia cinética média dos componentes do gás supracitado, tem uma contribuição de 1,2kT para cada grau de liberdade do movimento. Pede-se que/pergunta-se: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) O material em questão é diamagnético ou paramagnético? Justifique. c) Qual a temperatura para a qual a energia cinética dos átomos será igual à energia necessária para inverter de 180° estes dipolos neste Campo Magnético. d) Que influências têm o Campo e a Temperatura neste modelo? Você saberia expressar o domínio de validade do mesmo?
-

A Situação 1 envolve a interação de um material Paramagnético com uma fonte de Campo Magnético. A situação não menciona ser o material Paramagnético, mas menciona ter o material Momento de Dipolo Magnético, desta forma, requer a referência ao conceito de Momento de Dipolo Magnético e, ainda, a relação deste com o conceito de paramagnetismo.

Vemos uma divisão do número de alunos pendente mais para o possível modelo M.I.B.5. Este fator nos apresenta um panorama um pouco mais preciso acerca da consideração ontológica do papel do Campo Magnético. 11 dos 17 alunos realizando a tarefa, apontam para uma possível conceitualização da interação atribuindo papel de agente mediador ao Campo Magnético. Este é um ponto importante.

Com este dado, podemos evidenciar que parte minoritária dos alunos parece usar em certas Situações o Modelo Mental M.I.B.2, com maior frequência, e em outras, possivelmente usa o Modelo Mental M.I.B.5. Uma parte majoritária parece usar o Modelo M.I.B.5 como se fosse o Modelo Mental M.I.B.2, visto estar implícita a ideia do Campo Magnético como agente da Força. Nenhum aluno indica possível uso do Modelo Mental M.I.B.2 unicamente ao longo das tarefas, algo sugerindo rota de estabilização para alguns na acomodação dos dois Modelos. Deve-se destacar, no entanto, a facilitação da construção de Modelos Mentais para todos, embora uma parte não esteja em processo de transformação em Esquema.

Podemos associar os dois casos ao efeito das Situações. Quando o estudante usa um Modelo Mental tomando o Campo Magnético como uma grandeza operacional, a razão pode ser dupla. Para o caso dos estudantes que possivelmente usam distintos Modelos Mentais, de fato, a razão pode ser a variação no processo construtivo oriunda de dúvida ou de desconsideração não deliberada desta ideia. Para o caso dos estudantes parecendo usar continuamente o mesmo Modelo Mental, isto é, em rota de estabilização é possível ocorrer uma orientação diferente da conceitualização que carregue implicitamente a ideia.

É um passo muito importante, pois o Campo Magnético parece ser compreendido de forma altamente alternativa pelos estudantes no começo da UEPS de Campo Magnético. Vemos uma evolução dos estudantes neste sentido.

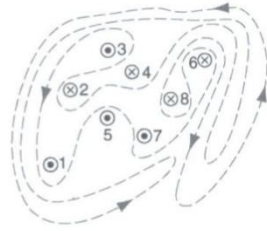
Tabela 26: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na nona tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – I																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2		■	■		■				■		■				■	■							
3																							
4																							
5	■			■		■	■			■			■					■	■	■		■	
6																							
N									-				-				-	-				-	-

Avaliação Somativa

Na avaliação somativa requer-se o domínio de diversas habilidades. Apresentamos a tarefa abaixo.

1. Explique, detalhadamente, o que você entende pelo conceito de Campo Magnético. Como você relacionaria este conceito ao de Campo, ao de Força Magnética, ao de corrente e ao de Carga Elétrica?
2. Explique por que a lei de Gauss para o Magnetismo é compatível com o Modelo de átomos como pequenas espiras de corrente.
3. Por que a limalha de ferro se alinha com o Campo Magnético? Afinal, ela não é intrinsecamente magnetizada.
4. Oito fios cortam a página perpendicularmente nos pontos mostrados na figura abaixo. Um fio marcado com o inteiro k ($k=1,2,3,4,\dots,8$) conduz a corrente ki_0 . Para aqueles com k ímpar, a corrente está para fora da página; para aqueles com k par ela está entrando na página. a) Quais correntes contribuem para o Campo Magnético em um ponto dentro da espira amperiana? b) Quais correntes contribuem para a circulação do Campo Magnético ao longo da curva? Justifique suas respostas.



5. Suponha que uma pequena espira de corrente seja colocada em um solenóide muito comprido. O seu momento de dipolo magnético forma um ângulo θ em relação à direção do Campo Magnético. Descreva qualitativamente e quantitativamente (não precisa deduzir toda a expressão) o que ocorre com esta espira de corrente.
6. Imagine que você está sentado em uma sala com as suas costas voltadas para uma parede e que um feixe de elétrons, movimentando-se, na horizontal, da parede atrás de você para a sua frente, é defletido para a direita. Qual o sentido do Campo Magnético uniforme que existe na sala?
7. Um condutor horizontal em uma linha de transmissão conduz uma corrente de $5,12 \text{ kA}$ do sul para o norte. O Campo Magnético da Terra nas vizinhanças da linha é de $58 \mu\text{T}$ e está direcionado para o norte, com uma inclinação para baixo de 70 graus em relação à horizontal. Determine a intensidade e o sentido da Força Magnética sobre 100 m do condutor, devido ao campo da Terra.
8. Calcule o Campo Magnético devido a um solenóide muito comprido. O solenóide tem n espiras por unidade de comprimento e cada uma das espiras conduz corrente i . Discuta fisicamente cada passo da dedução para que não seja penalizado.

A primeira questão visa à descrição em termos gerais do entendimento do conceito de Campo Magnético por parte dos alunos. É importante para dirimir algumas dúvidas sobre o processo de conceitualização. Não a enquadrámos em nenhuma das classes de Situações apresentadas, pois cremos dar liberdade para uma conceitualização mais diversa.

A segunda e a quarta Situações estão associadas à classe de Situações nas quais é fundamental a Representação Simbólica do Campo Magnético. A segunda classe requer o uso do conceito de Fluxo e a quarta, o conceito de Circulação. Desta forma, é possível analisar como os estudantes trabalham individualmente (e em condição de pressão, o que aumenta o limiar de disponibilidade e interfere no processo rememorativo) ambos os conceitos.

A terceira, a quinta, a sexta e a sétima questão estão associadas à classe de Situações nas quais é fundamental a descrição de Interações Magnéticas. A Situação 3 aborda a interação entre Campos Magnéticos e materiais ferromagnéticos. A Situação 5 aborda a interação entre dois condutores de Corrente Elétrica mediada por um Campo Magnético. As Situações 6 e 7 discorrem sobre a Interação entre Correntes Elétricas e Campos Magnéticos devidos a distribuições de Corrente Elétrica ocultas.

A oitava questão está associada à classe de Situações envolvendo o cálculo do Campo Magnético. Temos como elemento principal da Situação um Solenoide muito comprido, ou seja, uma distribuição uniforme de Corrente Elétrica com alto grau de Simetria.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Magnético, dos 23 estudantes 14 estudantes fazem referência aos conceitos de Fluxo e de Circulação como indicadores do formato do mapa dos Vetores Campo Magnético, estando estes dispostos ao longo de linhas fechadas. Três estudantes fizeram referência exclusiva à inexistência de monopólos magnéticos.

Três alunos fizeram referência ao formato do mapa dos Vetores de Campo Magnético e à inexistência de Monopólos Magnéticos. Um aluno faz referência à inexistência de monopólos Magnéticos e conceitualiza parecendo confundir as ideias de Campo Magnético e Circulação. Um aluno somente parece confundir os conceitos de Campo Magnético com os de Fluxo e de Circulação (Guisasola et al., 2008).

Um aluno sugere possível confusão entre os Campos Elétricos e Campos Magnéticos na descrição do Fluxo Magnético (talvez por falar-se de Lei de Gauss) e na quarta questão parece confundir Circulação e Campo Magnético (op.cit). Consideramos exitosa a influência da UEPS no domínio deste conceito, mas cremos ser necessário explicitar a integração entre as duas interpretações.

Quanto à descrição das Interações Magnéticas, a maioria dos estudantes parece apresentar tanto o Modelo Mental M.I.B.5 como o Modelo Mental M.I.B.2. Dois alunos sugerem possível trabalho com o Modelo Mental M.I.B.5, enquanto sete alunos parecem apresentar o Modelo Mental M.I.B.2. Esta variação é compatível com o caráter reconstrutivo e não reconstitutivo dos Modelos Mentais, ou seja, ao se confrontar com uma Situação, o Modelo Mental possivelmente é usado e depois parcialmente descartado tendo que ser reconstruído em outra Situação da mesma classe.

Um aluno indica possível uso do Esquema de descrição das Interações Magnéticas sem usar o Campo Magnético, algo que já demonstrou no início do curso. Na questão cinco, ele parece usar o Modelo Mental M.I.B.2. Um aluno possivelmente usa simultaneamente o Modelo Mental M.I.B.2 e o Modelo M.I.B.6, que considera o Campo Magnético semelhante ao Campo Elétrico.

A grande maioria dos alunos parece apresentar a coexistência dos Modelos Mentais M.I.B.2 e M.I.B.5, com exceção dos alunos P e U, que indicam possível uso da ideia de o Campo Magnético ser agente mediador da Força Magnética e dos alunos (M.I.5), C, K e R, que usam o Campo Magnético a partir de uma visão mais operacional. Isto é importante, mas não completamente, pois os alunos podem, sem maior ênfase desconsiderar a ideia do Campo Magnético como real e como agente das trocas de momentum.

Tabela 27: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação somativa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais para Representar Simbolicamente o Campo Magnético – II, IV																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2								4		2	2	2		2			4						

omitida no Problema. Os estudantes devem calcular explicitamente o Campo Elétrico induzido no Espaço pelo Campo Magnético variável.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético, notamos que a maioria dos Estudantes estabelece a referência com respeito às fontes. O uso preferencial da ideia de que Campo Magnético variável induz um Campo Elétrico no Espaço é bastante usado na argumentação. Cinco dos 22 alunos apresentam, no entanto, na terceira questão, ocorre a identificação entre variação do Fluxo Magnético e Campo Magnético. Uma possibilidade deste desentendimento por parte da parcela majoritária seja a novidade do fator tempo na discussão.

Quanto à descrição da Interação Eletromagnética, 14 alunos usaram a ideia de o Campo Eletromagnético (inicialmente o Elétrico, no caso da partícula carregada em repouso), ser o agente da Interação Eletromagnética. Um aluno usa o Campo Eletromagnético de uma perspectiva mais operacional, enquanto sete não respondem à questão.

Quanto ao cálculo do Campo Elétrico induzido, sete o realizam adequadamente e de uma perspectiva conceitual. A maioria (11 alunos) realiza, no entanto, o cálculo de maneira pouco conceitual e de maneira a possivelmente realizar fixação funcional, sugerindo possível uso do Modelo Mental M.C.J.1. A possível Operação Recursiva “Se no ponto não há Campo Magnético, então não há Campo Elétrico.” faz com que os alunos pensem não haver Campo Elétrico nesta região e se apresenta como um ponto a ser levado em consideração com maior profundidade na discussão. Ressalte-se que Thong e Gunstone (2008) apresentam casos de alunos possivelmente usando concepções semelhantes.

Tabela 28: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a primeira atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – I, III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5						3		3				3					3				3		
6																							
N									-														
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a Interação Eletromagnética - II																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para executar cálculos de Campo																							

Eletromagnético - II																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	*	*	*	*				*					*		*			*	*			*	*
2																							
N									-														

Tarefa 2 – Lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas por variação de Fluxo Magnético

É apresentada abaixo a segunda tarefa da UEPS de Campo Eletromagnético do estudo I.

-
1. Existe alguma diferença entre os conceitos de Campo Elétrico induzido no espaço e corrente elétrica induzida em um circuito? Isto é, um destes conceitos é mais geral que o outro ou difere do outro em natureza? Explique.
 2. Uma espira retangular de fio com comprimento a , largura b e resistência R é posicionada perto de um fio infinitamente longo onde passa a corrente i , sendo o comprimento da espira paralelo ao do fio. D é a distância do fio longo à espira. Qual a) a intensidade do Fluxo Magnético através da espira? b) a Corrente na espira à medida que se move para longo do fio largo com velocidade v .
 3. Uma barra metálica horizontal PQ de comprimento l e massa m escorrega com atrito desprezível sobre dois trilhos verticais unidos por uma haste horizontal fixa de resistência R . A resistência da barra e dos trilhos pode ser desprezada em confronto com R . O conjunto está situado num Campo Magnético horizontal uniforme entrando no plano da página. a) Qual é o sentido da corrente induzida? b) Qual é a aceleração da barra? c) com que velocidade terminal v_0 ela cai? d) Qual é o valor correspondente da corrente? e) Discuta o balanço de energia na situação terminal.
-

A Situação 1 requer a Representação Simbólica do Campo Eletromagnético e para a realização do processo de conceitualização, é fundamental a distinção entre os conceitos de Campo Elétrico, FEM e Corrente Elétrica. Nenhuma fonte é explicitada, cabe ao aluno leva-las em consideração.

As Situações 2 e 3 estão associadas à Interação Eletromagnética entre Campos Magnéticos e Objetos em movimento. Microscopicamente, a Corrente Elétrica induzida é efeito de uma Força Magnética e macroscopicamente, relaciona-se à variação do Fluxo Magnético. Dois elementos mais notáveis podem ser destacados nas Situações. Na segunda, temos explicitada uma fonte de Campo Magnético não uniforme (f_e e $\vec{B}[\vec{r}]$). Na terceira, temos não explicitada uma fonte de Campo Magnético uniforme (f_o e \vec{B}).

É possível notar que 18 alunos indicam possível estabelecimento da Representação Simbólica a partir das fontes de Campo Eletromagnético. Eles parecem relacionar o Campo Elétrico no Espaço à variação de Campo Magnético e a Corrente Elétrica ao efeito da variação do Fluxo Magnético, distinguindo os dois conceitos pela relação de causa-efeito (Campo Elétrico pode gerar Corrente Elétrica) ou pela relação

de existência no Espaço (Correntes só existem em materiais condutores⁸⁹). Nenhuma menção à relação entre a forma Circular do mapa de Vetores Campo Elétrico e da Força Elétrica ou da Força Magnética quando um condutor está em movimento numa região de \vec{B} parece ser feita.

Nota-se a frequência de 21 alunos dos 23 a discutir as Situações 2 e 3 adequadamente,, porém do ponto de vista macroscópico. Apesar da importância do estabelecimento adequado da relação entre variação do Fluxo Magnético e FEM induzida pelos alunos, mais importante é a compreensão da distinção entre os Campos Elétricos e Magnéticos e o efeito das Forças Magnética ou Elétrica no estabelecimento da Corrente Elétrica. Resolvemos corroborar este ponto no estudo II e tentamos mudá-lo no estudo III.

Entendemos ser positivo o avanço dos estudantes, porém, recomendamos discutir a Corrente Elétrica induzida de forma microscópica, isto é, abordando o efeito dos Campos Elétricos ou Magnéticos sobre as Cargas Elétricas dos condutores. Nesta aula, é recomendado discutir-se os dois tipos de Situação e integrá-las sob a ideia da Variação de Fluxo Magnético.

Tabela 29: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a segunda atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – I																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a interação Eletromagnética – II e III																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
N																							

Tarefa 3 – Geradores e Motores

É apresentada a terceira atividade da UEPS de Campo Eletromagnético.

-
1. Construa um mapa conceitual do conceito de indução eletromagnética.
-

⁸⁹ Sem levar em conta, obviamente a ruptura de rigidez dielétrica.

A análise dos mapas constituiu ponto fundamental para o esclarecimento de aspectos concernentes à relação estabelecida pelos alunos entre as Fontes de Campo Eletromagnético e o próprio Campo Eletromagnético e está, por isto, associada à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. Outra relação importante parece ter sido estabelecida com respeito ao papel do Campo na interação, ou seja, a associação à Descrição de Interações Eletromagnéticas.

Desta forma, usamos este mapa conceitual como mais evidências sobre a conceitualização dos estudantes, de forma que suas informações, já diluídas nas informações sobre as Representações Internas adotadas pelos estudantes, seriam redundantes aqui.

Tarefa 4 – Indutância

1. Mostre que a indutância de um toróide de seção retangular é dada por $L = \frac{\mu_0 N^2 H}{2\pi} \ln \left[\frac{b}{a} \right]$. Que considerações físicas devem ser feitas no cálculo?

A Situação 1 pode ser enquadrada na classe de Situações C, na qual é necessário o cálculo do Campo Magnético e, por consequência, o cálculo do Fluxo Magnético. As duas fontes de Campos Magnéticos são solenoides, ou seja, fontes conhecidas.

Nesta tarefa, todos os alunos usaram elementos conceituais para realizar o Cálculo do Campo Magnético necessário para obter uma fórmula para a indutância. Eles computam adequadamente o Fluxo Magnético devido a uma fonte sobre a Superfície de um Objeto.

Tabela 30: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a quinta atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.C.B) e Modelos Mentais (M.C.B) para calcular Campos Magnéticos – I																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
N							-													-			

Tarefa 5 – Interação Eletromagnética e Conservação da Carga Elétrica

Apresentamos abaixo a quinta tarefa relativa à UEPS de Campo Eletromagnético.

1. Uma das consequências mais notáveis das equações de Maxwell é a previsão de um atraso na interação eletromagnética, devido à propagação do Campo Eletromagnético e isto tem implicações importantes na Força de Lorentz. Suponha uma distribuição de cargas $Q(t)$ (variante com o tempo) e uma carga puntual q em duas situações a) muito próximas uma da outra, b) muito distantes uma da outra. Supondo que haja uma variação na distribuição de carga esfericamente simétrica, o que pode ser inferido sobre o atraso na Força exercida na carga de prova? Se a carga de prova estiver parada, o que se pode inferir sobre a Força Magnética sobre ela?

2. Suponha duas cargas pontuais q e $-q$ dispostas sobre o eixo x em $x = -a$ e $x = a$, com uma corrente $i = -dq/dt$ ao longo da linha entre elas. a) Que forma assume a expressão para a intensidade do Campo Magnético (requere-se: use a lei de Ampère-Maxwell)? Justifique conceitualmente em um ponto P sobre o eixo y , a uma distância R desta linha? b) Qual o valor para a corrente total (de condução e de deslocamento).

A Situação 1 envolve a descrição de uma Interação Eletromagnética entre um Campo Eletromagnético gerado por uma distribuição de Cargas Elétricas arbitrária, variável no tempo, explicitada no problema e uma Objeto pontual eletricamente carregado com carga q .

A Situação 2 requer o cálculo do Campo Magnético induzido pela variação de Campo Elétrico e criado por uma Corrente Elétrica de condução, usando a lei de Ampère-Maxwell. É uma questão complexa, pois sem o uso da ideia de Fluxo do Campo Elétrico resultante devido a todas as Cargas Elétricas do problema na aplicação da lei de Ampère-Maxwell, o estudante não procede na resolução do problema. Então o prosseguimento do cálculo leva em conta esta consideração. Por esta e por outras razões, os estudantes constroem, em sua maioria, um Modelo Mental para o cálculo do Campo Magnético levando com viés conceitual.

Para a Situação 1, os alunos parecem apresentar Modelos Mentais M.I.J.5, que tomam como ideia fundamental a interação entre Campo Elétrico (Magnético) com Cargas Elétricas (Cargas Elétricas em movimento). Os 22 alunos indicam possível uso adequado dos teoremas-em-ação para descrever o atraso na Interação Eletromagnética. Martin e Solbes (2001) destacam ser esta ideia bastante difícil para os alunos assimilarem.

Para a Situação 2, 16 dos 23 alunos parecem apresentar Modelos Mentais do tipo M.C.J.2, através dos quais calculam Campos Magnéticos de forma mais conceitual. Quatro alunos, no entanto, possivelmente usam um procedimento de fixação funcional na lei de Biot-Savart e calculam o Campo Magnético de um fio. Eles não apresentam, além disto, qualquer explicação para executar o Cálculo do Campo Magnético desta forma.

Desta forma, os alunos parecem compreender as ideias de Campo Eletromagnético como agente das Interações Eletromagnéticas e conseguem calcular Campos Magnéticos usando elementos e justificativas conceituais para tal. É uma evidência de Aprendizagem Significativa.

Tabela 31: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a sexta atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a interação Eletromagnética – I																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							

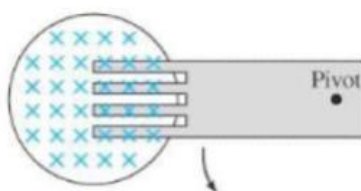
Tabela 32: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a sétima atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético no espaço devido a uma fonte desconhecida – I																								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
N																								
Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para calcular o Campo Eletromagnético – III																								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1																								
2																								
N																								

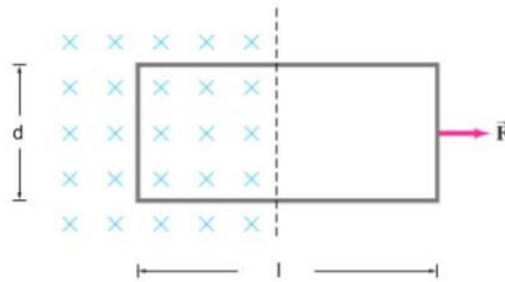
Avaliação Somativa

Apresentamos, a seguir, a avaliação somativa da UEPS de Campo Eletromagnético no Estudo I.

1. Explique, detalhadamente, o que você entende pelo conceito de Campo Eletromagnético. Como você relacionaria este conceito ao de Campo, ao de Força Eletromagnética e ao de Indução Eletromagnética?
2. Suponha que você esteja segurando um anel circular de fio condutor e, de repente, aproxima o pólo sul do ímã do centro da espira mencionada. a) Existe uma corrente induzida nesta espira? b) em caso de resposta positiva no item anterior, qual o sentido da corrente? Existe corrente se o ímã estiver parado? Justifique
3. A barra de metal com ranhuras na figura abaixo cai muito mais rápido através de um Campo Magnético do que uma barra sólida. Explique por que.



4. Se uma lâmina de alumínio é colocada entre os pólos de uma larga barra magnética, é necessária certa Força para puxá-la para fora da região de Campo Magnético mesmo que a folha não seja ferromagnética ou toque as faces da barra magnética. Explique.
5. Parte de uma bobina retangular simples com dimensões mostradas na figura abaixo é situada em uma região de Campo Magnético de intensidade B . A resistência total da bobina é r . Calcule a Força necessária para retirar a bobina do Campo (para a direita) a uma velocidade constante v . Desconsidere a gravidade.



6. Quando você liga um interruptor, a luz se propaga imediatamente? Explique.
7. Se o sol desaparecesse ou de alguma forma mudasse rapidamente, explique por que demoraria para que percebessemos esta variação somente oito minutos depois. Quer dizer que agora estamos vendo luz do passado?
8. Descreva o significado do vetor de Poynting com suas próprias palavras.
9. Um capacitor de placas paralelas é formado por dois discos circulares de raio a separados por uma distância $d \ll a$, no vácuo. As placas estão ligadas a um gerador AC que produz uma carga elétrica no capacitor $q(t) = q_0 \text{sen} \omega t$. Admita que o Campo \vec{E} entre as placas é uniforme, desprezando os efeitos de borda e tomando o eixo z ao longo do eixo do capacitor. Qual a expressão matemática descrevendo o Campo Magnético \vec{B} entre as placas, a uma distância ρ do eixo?

As Situações 2, 3, 4 e 5 são situações nas quais se requer a descrição de uma Interação Eletromagnética. As Situações 3, 4 e 5 são relativamente parecidas, a menos de que o movimento é sob ação da Força Gravitacional na Situação 3, o movimento é arbitrário na Situação 4 e na Situação 5 é exigido o movimento com velocidade constante. Outra diferença diz respeito às fontes. Nas Situações 3 e 5, as fontes são Campos Magnéticos uniformes devido a fontes ocultas. Na Situação 4 a fonte de Campo Magnético é um conjunto de polos de ímãs.

Na Situação 2, há a variação de um Campo Magnético no Espaço. A fonte é apresentada como sendo um ímã em movimento arbitrário na frente de uma espira. A referência é feita com respeito a Interações Eletromagnéticas, no entanto, elas diferem ligeiramente.

Nas Situações 6, 7 e 8 é preciso apresentar explicações envolvendo Representações Simbólicas do Campo Eletromagnético. A Situação 6 envolve o estabelecimento de um Campo Elétrico em um Circuito e a propagação da Luz no Espaço, na Situação 7, há o Sol como fonte do Campo Eletromagnético e a relação com o atraso de um sinal eletromagnético ao longo do tempo. A questão 8, bastante aberta requer aos alunos a descrição do vetor de Poynting, sem a menção a qualquer fonte.

Na Situação 9, requer-se o cálculo do Campo Eletromagnético no Espaço. Requer-se o uso da lei de Gauss para o cálculo do Campo Elétrico e da lei de Ampère-Maxwell para o cálculo do Campo Magnético no espaço. Desta forma, é possível observar o tipo de conceitualização empregada no cálculo.

Quanto às Situações da Classe S.J (Representações Simbólicas do Campo Eletromagnético), temos possível evidência de construção de Representações Internas

mais relacionais e simbólicas que geométricas. Os alunos associam de forma bastante clara os processos de Indução Eletromagnética à variação de Campos Elétricos e Campos Magnéticos. Este é um padrão para os estudantes, pois 22 deles indicam possível conceitualização desta forma. Uma explicação possível para este tipo de associação é a diminuição da frequência da proposição de Situações nas quais seria preciso estabelecer Representação Analógica do Campo Eletromagnético (A.J).

Quanto à Classe de Situações C.J, 13 dos 23 alunos parecem apresentar uma solução usando elementos conceituais para descrever o Campo Magnético no Espaço devido ao Campo Elétrico variável no tempo devido a um capacitor de placas paralelas com Carga Elétrica variável (último problema). Consideramos positivo o resultado, pois se tratava da última questão de uma prova extensa, na qual os alunos já estavam praticamente aprovados.

A questão acima descrita não é trivial e necessita de um aporte conceitual considerável para resolvê-la, tal como a escolha da Gaussiana, a escolha da Amperiana, o cálculo da área envolta pela Amperiana, distinguir entre Carga Elétrica total e Carga Elétrica envolta pela Gaussiana, identificar a inexistência de corrente de Condução, levar em conta um Campo Elétrico variável, enfim. Um grande conjunto de conhecimentos-em-ação é necessário para dominar esta Situação.

Quanto à classe de Situações I, parece ter ocorrido uma flutuação entre os possíveis Modelos Mentais M.I.J.2, M.I.J.5 e M.I.J.6. Para a Segunda Situação, a maior parte dos alunos usa a abordagem microscópica e para as outras Situações, a abordagem macroscópica. O fator Situação possui elementos diferentes. O Campo Magnético estacionário possivelmente faz com que os alunos se voltem à variação do Fluxo Magnético (grandeza que varia com o tempo) e o Campo Magnético variável faz com que os alunos se voltem ao próprio Campo Magnético.

É importante ressaltar que isto, também, é influência da forma pela qual foi tratado o assunto. Discutiu-se esse tipo de Situação através da variação do Fluxo Magnético e microscopicamente quando o Campo Magnético variava no Espaço, “causando” um Campo Elétrico no Espaço.

Tabela 33: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a avaliação somativa da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – I, VI VII, VIII																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
N																							
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a interação Eletromagnética – II, III, IV, V																							

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2					4*	4#		\$	4#		\$				3\$ 2	4#				\$			4#
3																2							
4																							
5	2	2	2		2			2	2	2		2	2										
6	4*		4*	4#B							2			23 *			2			2			2
N																							
Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para calcular o Campo Eletromagnético – IX																							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1																							
2														\$									
N																							

5.3. Segundo estudo

No segundo estudo implementamos quatro UEPS, uma para discutir o conceito de Campo de maneira geral em Física (Pantoja e Moreira, 2015), uma para discutir o conceito de Campo Elétrico (estático), uma para discutir o conceito de Campo Magnético (estático) e outra para discutir os conceitos de Campo Eletromagnética (dinâmico) e de Indução Eletromagnética.

Neste estudo, os alunos resolveram tarefas em grupo discutindo as soluções para os problemas e entregando cada um a sua folha de resolução. O estudo reuniu 17 alunos cursando uma disciplina de Física III da Universidade Federal do Rio Grande do Sul no segundo semestre do ano de 2012.

UEPS de Campo

A UEPS de Campo teve seis aulas, como já apresentado na seção de metodologia. A seguir, discutimos como ocorre a interação entre os Esquemas/Modelos Mentais (Representações Internas) e as Situações. Subentende-se que neste processo sejam desenvolvidas ações cognitivas, isto é, Operações de Pensamento para encaminhamento deste.

Apresentamos a evolução do uso das Representações Internas dos estudantes durante as tarefas. Como de costume, a cada estudante associamos uma letra para manter sua identidade desconhecida. A cada Esquema ou Modelo Mental associamos um número para melhor se enquadrar na tabela. Vale lembrar ter apresentado esta UEPS um viés mais conceitual que formal.

Tarefa 1 – Avaliação de conhecimento prévio

Apresentamos abaixo as questões apresentadas na primeira tarefa.

1. De acordo com a Teoria da Gravitação Universal de Newton a Terra, a Lua, o Sol e os planetas exerciam-se forças mútuas sem nenhum contato, sem nenhum meio material entre eles. O conceito de "ação à distância" foi, então, usado para descrever este tipo de interação. No entanto, este conceito não foi

facilmente aceito e alguma coisa chamada "éter" foi inventada para servir como meio de transmissão da interação gravitacional. O éter seria uma substância tênue que preencheria todo o espaço e teria uma densidade extremamente pequena para explicar o fato de que não poderia ser detectado no espaço vazio. O éter sobreviveu durante muitos anos mas acabou sendo abandonado. a) Você lembra por que? b) Usando o conceito de Campo será que o vácuo é mesmo vazio? c) Ou, mudando a pergunta, será que o vácuo é preenchido por campos? d) Mas nesse caso apenas trocou-se éter por campo? Justifique.

2. Se a força da gravidade age sobre todos os corpos em proporção às suas massas, por que um corpo pesado não cai mais rapidamente que um corpo leve?

3. É comum dizer que quando se eleva um objeto a uma altura h acima da superfície da Terra ele adquire uma energia potencial gravitacional relativa à sua posição inicial. a) Mas será que o objeto realmente possui esta energia? b) Ou será que a Terra compartilha essa energia? c) Pensando em termos de Campo Gravitacional, dá para resolver esta dúvida? Como? d) Esta energia é modificada instantaneamente?

As Situações 1, 2 e 3 requerem a descrição de Interações Físicas e foi tomado o Campo Gravitacional como referência, pois julgamos ser o conhecimento mais próximo do de Campo de Interações conhecido pelos alunos. As Situações 2 e 3 envolvem massas explicitadas no enunciado. Já a Situação 1 não faz referência a estas massas.

Como esperado, a maioria dos estudantes (11 de 17) pareceu apresentar um Esquema para descrever interações que não incluem o conceito de Campo (S.I.1.). Embora eles já tivessem estudado o Campo Gravitacional, eles pareciam não saber explicar a situação usando o conceito de Campo, atribuindo a este um caráter meramente abstrato/matemático. Cinco estudantes usaram o Esquema para descrever interações usando o conceito de Campo, mas de forma bastante geral. É possível que seu conhecimento prévio com o conceito de Campo tenha tornado isto possível.

Tabela 34: Possíveis Representações internas apresentadas pelos estudantes na avaliação inicial de conhecimento prévio da UEPS de Campo (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I) para descrever Interações Físicas (I.) – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
N																	

O número 1 significa S.I.1. (descrição das Interações sem uso do conceito de Campo), o número 2 significa S.I.2. (descrição das Interações usando o conceito de Campo de maneira geral). A etiqueta 3 significa S.I.3. (Descrever os Campos como entidades que transferem energia através da colisão com outros Campos – concepção choquista), o índice 4 se liga a S.I.4. (Descrever o Campo como possuindo Energia), o

índice 5 se refere a S.I.5. (descrever o Campo baseado na ideia de interação do Campo com objetos) e o índice N está associado a S.I.N.⁹⁰ (sem conceitualização).

Conforme também esperado, a maioria dos estudantes (13 de 17) possivelmente não usa o conceito de Campo na conceitualização ou não conceitualiza. Isto corrobora a ausência do conceito de Campo nas Estruturas Cognitivas da maioria dos estudantes (Martin e Solbes, 2001; Llancacqueo, 2003).

Tarefa 2 – O conceito de Campo

A segunda tarefa abordava o conceito de Campo de uma forma geral, conforme apresentado na sequência na metodologia. Nós apresentamos os atributos mais gerais do Campo e nesta aula nós enfatizamos a característica do Campo como uma entidade Física exercendo Forças ou realizando trabalho sobre partículas.

Apresentamos abaixo as questões apresentadas na segunda tarefa

-
1. Você deve lembrar dos estudos de gravitação que existe uma energia potencial associada à interação gravitacional. Dos estudos de mecânica deve lembrar, também, que a energia potencial é devida ao sistema. Considere o Campo Gravitacional da Terra e a interação da Lua com este Campo. a) Qual é o sistema físico em questão? b) Qual interação ocorrente? c) Onde está "localizada" a energia potencial gravitacional? Nos corpos ou no campo? Por que razão?
 2. A luz solar demora oito minutos para chegar à superfície terrestre. Portanto, quando você olha para o Sol, está o vendo como era na sua versão de oito minutos atrás? Como você explica esta diferença?
 3. Considere que, por alguma razão, todos os planetas e estrelas sumissem e permanecesse somente a Terra, no universo. a) O que você afirmaria sobre a força gravitacional? b) E sobre o Campo Gravitacional? Justifique.
-

As Situações 1, 2 e 3 requerem a descrição de Interações Físicas. As Situações 1 e 3 envolvem o Campo Gravitacional e dois ou mais objetos massivos explicitados (a Terra e a Lua na Situação 1 e a Terra e o restante dos planetas do Universo na Situação 2). A Situação 2 envolve a descrição em termos gerais da Interação Eletromagnética entre a Terra e o Sol, por meio de um Campo Eletromagnético. As Situações diferem, basicamente, em três pontos: *explicitação dos objetos interagentes, natureza das interações, números de objetos interagentes.*

Depois da primeira aula, todos os estudantes pareceram conceitualizar as interações entre o conceito de Campo, mas esta conceitualização era construída pela construção de um Modelo Mental cuja função era enquadrar o conceito de Modelo Mental em um Esquema de Interação. Isto indica que nossa primeira aula e os problemas pareceram facilitar a construção do sentido (construção de Esquemas ou Modelos Mentais para resolver as situações) do conceito de Campo para estes estudantes.

⁹⁰ Não é pecado não conceitualizar. Nem acreditamos nesta noção de pecado (é só para descontrair, agora que você passou um pouco da metade do texto. Boa leitura).

Tabela 35: Possíveis Representações internas apresentadas pelos estudantes na segunda tarefa da UEPS de Campo (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	

Quanto ao uso do conceito de Campo na explicação das interações, poucos estudantes conceitualizaram de maneira geral. Seis (de 17) indicam basearam-se na ideia do Campo carregar energia e desenvolveram um Modelo Mental que coloca o Campo como “entregador” de Energia para outras massas possuintes de Energia. Desta forma estes alunos parecem localizar a energia nos corpos (um teorema-em-ação presente na conceitualização prévia).

Nove estudantes parecem abordaram a ideia mais aceita de que o Campo possui energia e a transporta para executar uma troca de Energia com uma partícula. Este resultado é, no entanto, interessante, porque indica para a tentativa dos estudantes de desenvolver Modelos Mentais para enquadrar o conceito de Campo no esquema descrevendo interações.

Tarefa 3 – Fontes de Campo

Apresentamos abaixo as questões apresentadas na Terceira questão.

Nesta atividade, você irá modelar um objeto de massa m (um apagador, por exemplo) sendo atraído pela Terra de massa M . Suponha que ela caia de uma altura $h = 1,70\text{m}$, partindo do repouso. Dados $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$, $R_T = 6400\text{km}$, $M_T = 5,98 \times 10^{24}$.

Sobre o Sistema Terra-apagador, modelado na atividade, responda:

1. Que elementos relevantes temos no modelo? Que aproximações/idealizações foram feitas na construção do Modelo?
 2. Qual a massa enumerada como fonte do Campo Gravitacional? Qual a massa de prova enumerada para a interação? Como você explicaria a transferência de momentum e energia pelo Campo Gravitacional neste caso?
 3. Suponha que você queira computar a influência do Campo Gravitacional da Lua, além da influência do Campo Gravitacional da Terra, sobre o apagador. Que alterações você adotaria no modelo Matemático? Que resultados você espera obter?
-

Na terceira tarefa, as questões enfatizaram a Modelagem da queda livre de um objeto leve (apagador de quadro negro) na superfície da Terra. Enfatizamos tanto a

interação da Massa com o Campo Gravitacional como os conceitos de Massa de prova e Massa de fonte.

Nas três Situações requer-se a referência às Interações Físicas (gravitacionais, no caso). Todas as Situações explicitam os Objetos, com a Situação 3 apresentando 3 elementos. São estabelecidos diferentes tipos de referência nas três Situações. A primeira faz referência aos objetos interagentes, a segunda aos mecanismos envolvidos na troca de Energia/Momentum entre Campo e massa, e a terceira faz referência à influência de outros objetos na dinâmica do Sistema.

A seguir apresentamos uma tabela contendo as representações internas adotadas pelos estudantes.

Tabela 36: Possíveis Representações Internas usadas na terceira tarefa da UEPS de Campo (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1												!					
2																	
3																	
4																	
5																	
N																	

Podemos observar o que Vergnaud (1997) chama de retrocesso. Um estudante parou de conceitualizar o Campo em uma situação mais próxima de estabelecer referência mediata a Objetos do mundo suposto real. É uma importante evidência de possível Aprendizagem Significativa, no entanto, a tentativa dos estudantes de representar o sistema usando uma teoria de Campo. 7 estudantes parecem conceitualizar interações descrevendo-as através do uso do conceito de Campo (M.I.5).

Uma possibilidade para explicar a variação, com respeito às atividades prévias, na construção de possíveis Modelos Mentais é a grande plasticidade inerente à estrutura destas entidades. Esquemas possuem maior organização e invariância na estruturação da conduta, já os Modelos Mentais apropriam-se de diversos conhecimentos-em-ação para serem construídos sem esta sistematização característica do Esquema. Esta reconstrução variável de possíveis Modelos Mentais a cada atividade pode evidenciar tentativas recursivas de apreensão de Significados mais adequados para o conceito de Campo.

As possíveis Representações Internas dos estudantes parecem variar, como podemos ver. Esta mudança possivelmente é positiva para sete estudantes que parecem alcançar um nível de conceitualização mais próximo do aceito cientificamente (seis deles parecem mudar de M.I.2. para M.I.5. e um mudou de M.I.4. para M.I.5). Este padrão de conceitualização enfatiza a transferência de Energia entre Objeto e Campo, além de localizar a Energia no Campo.

Observamos, no entanto, quatro estudantes possivelmente usando o Modelo Mental M.I.4. (que atribui uma característica de suporte de transporte de Energia ao

Campo). Estes estudantes parecem desenvolver uma estrutura mais estável para entender a Energia como estando nos Objetos e transportada pelo meio onde estes Campos existem. Estes estudantes parecem não ter conseguido superar o teorema-em-ação “a Energia está somente nos objetos” para um mais completo, a saber, “a Energia Cinética está localizada nos corpos, mas a Energia de interação está localizada no Campo” (Pantoja e Moreira, 2015).

Tarefa 4 – Interações da Natureza

Na quarta tarefa nós visamos implementar uma reconciliação integradora do conteúdo apresentado. Os estudantes tiveram de construir um mapa conceitual relacionando interações e desenhar um texto apresentando as características mais fundamentais de Campos e Forças da natureza.

Apresentamos abaixo as questões apresentadas na quarta tarefa.

-
1. Distinga entre as quatro interações da natureza com suas palavras dando ênfase ao seu entendimento sobre os Mecanismos de transferência de Momentum e de Energia para cada uma.
 2. Desenhe um mapa conceitual para o conceito de Campo.
-

As questões da tarefa 4 são altamente amplas e fazem com que o próprio aluno possa escolher os exemplos aos quais pode estabelecer a referência. Mapas conceituais não se enquadram em nenhuma das três classes de Situações.

Novamente os estudantes parecem apresentar um Esquema incluindo o conceito de Campo. Para um estudante (L), que possivelmente retornou a dar mostras do uso deste Modelo Mental, nós podemos entender o aparente avanço devido a um efeito de interação Esquema-Situação. Os estudantes indicam ficar de alguma forma, “engatilhados” a usar o conceito de Campo quando eles o leem ou escutam-no. A situação mencionou explicitamente o conceito de Campo e isto pode ter facilitado o processo.

Tabela 37: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quarta tarefa da UEPS de Campo (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
N																	

Quanto aos Modelos Mentais, é o caso mais difícil de explicar nas UEPS. Tivemos que delinear cinco possíveis explicações para entender porque os alunos constroem diferentes Modelos Mentais para enfrentar a situação excessivamente geral, algo que induz a um esforço para a procura de conhecimentos-em-ação úteis para

resolver a situação. A situação mais geral se aproxima da rememoração, um processo cognitivo reconstrutivo, o que explicaria a variação. Descrevemos cinco razões para encontrar estas variações:

- Desenvolvimento do Modelo Mental: alunos K e L. Estes estudantes possivelmente apresentavam Modelos Mentais alternativos ou Modelos Mentais cientificamente inadequados para descrever Situações e agora parecem apresentar um Modelo Mental mais próximo da explicação cientificamente aceita. Nós atribuímos a isto um ponto positivo para a Aprendizagem Significativa apresentada pelos estudantes.
- Estabilização de Modelo Mental:
 - Estabilidade (3→3): Estudantes A,O,P e Q. Os alunos possivelmente continuam usando o Modelo choquista. Isto evidencia possível estabilidade desta concepção. Existe um ponto negativo para a Aprendizagem Significativa apresentada pelos estudantes, uma vez que eles parecem apresentar agora um Modelo Mental mais estável;
 - Estabilidade (5 → 5): Estudantes C e G. Os estudantes possivelmente continuam usando o Modelo Mental escolhido como mais próximo do Modelo cientificamente aceito. Isto é um ponto positivo, pois pode evidenciar Aprendizagem Significativa apresentada por estudantes;
 - Estabilidade (2 →2): Aluno D. O aluno possivelmente mantém um Modelo Mental atribuindo a Energia aos corpos e usando o Campo como um mero transferente de Energia. Isto é um aspecto negativo, uma vez que não pudemos perceber evolução no Modelo Mental deste Estudante.
- Retrocesso: estudantes I, N e E. Este é um ponto negativo, porque não evidencia sequer possibilidade de Aprendizagem Significativa além da apresentada para incluir o conceito de Campo na explicação. Eles parecem apresentar antes uma concepção avançada e nesta tarefa possivelmente apresentaram um largo retrocesso a um Modelo que mesmo em sua forma implícita não apresenta evidência de complexidade na conceitualização;
- Uso de conhecimento implícito: Alunos F, B, H, M. É um ponto natural mostrar uma conduta sendo automatizada. A conceitualização possivelmente começa a se tornar implícita. Estudantes conceitualizam o Campo, mas não parecem fazer menção ao Campo em uma forma que traga teoremas-em-ação que relacionam o Campo a forças exercidas em corpos. Isto sugere a manutenção das ideias mais importantes próximas da conceitualização científica, porém implicitamente. É um ponto positivo.
- Consolidação: Estudante J. Este estudante parece seguir a mesma trilha na conceitualização seguida por A, O, P e Q. O possível Modelo Mental inicial deles parecia carregar teoremas-em-ação atribuindo Energia apenas aos corpos e interpretava o Campo como um mero transferente de Energia. Esta consolidação pareceu ocorrer quando o estudante construiu um Modelo Mental mais complexo, porém incorreto. Isto evidencia a possibilidade de Aprendizagem Significativa de uma ideia alternativa.

Em suma, nove estudantes pareceram apresentar possíveis processos de Aprendizagem Significativa considerados positivos, enquanto nove pareceram apresentar possíveis processos de Aprendizagem Significativa considerado negativos. Com este, reconsideramos a mudança de tarefa ou a mudança para a ênfase nas interações de natureza Gravitacional (Pantoja e Moreira, 2015).

Tarefa 5 – Representando Campos através de Diagramas de Seta e de Linhas de Campo

Apresentamos abaixo a tarefa 5 da UEPS de Campo no Estudo II

Para todas as questões apresente um modelo esquemático da situação.

1. Uma placa retangular muito extensa, carregada eletricamente com carga negativa, gera um Campo Elétrico \vec{E} no espaço segundo a forma

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{t}$$

Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

2. O Campo Gravitacional gerado por um disco de massa M e raio a em um ponto (a uma distância z) sobre o eixo passando pelo centro do disco é dado pela expressão abaixo

$$\vec{g} = -2G \frac{M}{a^2} \left[1 - \frac{z}{(a^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \hat{k}$$

Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

3. Um planeta esféricamente simétrico, com massa m distribuída uniformemente e raio R , gera um Campo Gravitacional \vec{g} , segundo a forma

$$\vec{g} = -\frac{Gm}{r^2} \hat{r}$$

para pontos no seu exterior e

$$\vec{g} = -\frac{Gmr}{R^3} \hat{r}$$

para pontos no seu interior. Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

A Tarefa 5 requer a Representação Analógica do Campo. Os pontos distinguindo as Situações são, basicamente, *geometria das fontes e natureza do Campo*. As Situações 2 e 3 abordam o Campo Gravitacional, enquanto a Situação 1 aborda o Campo Elétrico. As três Situações abordam geometrias diferentes, a saber, Chapas, Disco e Esfera.

Nesta tarefa os estudantes precisavam representar analogicamente Campos (fossem elétricos ou gravitacionais) devidos a três tipos de fontes, a saber, o Campo Elétrico gerado por uma placa carregada infinita, o Campo Gravitacional gerado por um disco de raio a e o Campo Gravitacional gerado por uma esfera de raio R .

Devemos destacar ter sido o Campo fora das fontes representado de maneira correta por todos os estudantes respondentes à tarefa. 16 dos 17 estudantes pareceram representar corretamente fora das fontes, mas metade deles não possivelmente levou em conta a existência do Campo no interior da fonte. Ao dominar a situação do Campo em uma esfera, alunos apresentaram argumentos de simetria para justificar a forma radial do Campo, mas não representaram analogicamente o Campo no interior das fontes.

Por outro lado, na primeira tarefa envolvendo representações analógicas do Campo, os estudantes puderam representa-las de forma apropriada, pelo menos fora da fonte. É necessário enfatizar o papel do Campo no interior das fontes, caso contrário os estudantes pensaram na existência do Campo somente no espaço exterior às fontes no qual. Outro ponto a ser destacado é o fazimento de sentido: estudantes pareceram delinear rapidamente um possível Modelo Mental para representar analogicamente o Campo (Pantoja e Moreira, 2015).

Tabela 38: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quinta tarefa da UEPS de Campo (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.A) e Modelos Mentais (M.A) para representar analogicamente o Campo																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		■	■		■				■	■			■	■			■
2	■			■		■	■	■			■				■	■	
N												■					

O índice 1 significa M.A.1. (representar o Campo existindo fora e dentro das fontes), o índice 2 significa M.A.2. (representar o Campo dentro e fora da fonte), o índice N está associado aos estudantes que não entregaram a tarefa.

Tarefa 6 – Representando o Campo por Equações

Nesta tarefa, talvez a tarefa mais complexa apresentada na UEPS, nós pedimos aos estudantes para modelar o Campo Gravitacional da Terra. Em uma das questões destacamos que os estudantes deveriam discutir o papel do Fluxo e da Circulação na representação matemática do Campo.

As questões apresentadas aos estudantes estão dispostas abaixo:

Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação abaixo

$$\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm,$$

e

$$\oint \vec{g} \cdot \hat{t} dl = 0.$$

1. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para predizer qualitativamente o Campo?
 2. Que aspectos podem complicar e melhorar a precisão deste Modelo? Como eles fazem isto?
 3. Que simplificações podem ser feitas sem comprometer a validade do modelo?
-

A tarefa 6 requer a Representação Simbólica do Campo, no caso o Gravitacional. A Situação apresenta uma distribuição de Massa explícita, a saber, a Terra. É estimulado o pensamento com respeito a diversos aspectos como, por exemplo, a referência aos conceitos de Fluxo e de Circulação, muito importantes para a descrição do Campo.

Apenas quatro estudantes (dos 17 que entregaram a tarefa) pareceram não conseguir usar os conceitos de Fluxo ou de Circulação para a descrição do Campo. Dois alunos possivelmente usaram o Modelo Mental M.S.2. para entender a Circulação e o Fluxo como projeções do Campo em uma Curva fechada imaginária e em uma Superfície fechada imaginária. Isto é um ponto interessante.

Quando discutimos estes conceitos pela primeira vez, os estudantes pareceram construir um Modelo Mental “alinhado” ao conhecimento científico. O mais interessante é, no entanto, o Modelo Mental M.S.3, passível de ser usado para entender tanto o Fluxo e a Circulação de uma forma mais analógica, usando um possível Modelo Mental identificando o Fluxo como uma característica escalar associada à direção do Campo e à Fonte (no caso do Campo Gravitacional), e a Circulação como um indicador de Linhas de Campo como Curvas fechadas ou abertas (as últimas no caso do Campo Gravitacional).

É importante destacar a visão mais conceitual atribuída ao conceito, dada aos estudantes, pela possível construção do Modelo Mental M.S.3. Obviamente pode ser um Modelo Mental muito mais frutífero para dominar Situações em comparação com um Modelo Mental entendendo Fluxo e Circulação como projeções abstratas dos Vetores em Superfícies ou Curvas (Pantoja e Moreira, 2015).

Nós destacamos que o possível Modelo Mental M.S.4. identificando o Fluxo e a Circulação ao Campo foi usado somente para um estudante. Furió e Guisasaola (1998) ressaltam ser esta uma Representação Interna comum. Os alunos fazendo uma disciplina usual de Eletromagnetismo não conseguem facilmente distinguir, em geral, os três conceitos, conforme indicado pelos autores.

Nós entendemos que esta distinção feita entre M.S.2 (dois de 17) e M.S.3 (dez de 17) pode ser interpretada como possível evidencia de Aprendizagem Significativa associada a uma visão próxima do conhecimento científico, uma vez que temos construção de Modelos Mentais de acordo com o que a Física entende como Fluxo e Circulação. É uma importante evidencia de a UEPS ter alcançado a meta planejada.

Tabela 39: Possíveis Representações internas construídas pelos estudantes na sexta tarefa da UEPS de Campo (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.S) e Modelos Mentais (M.S) para representar simbolicamente o Campo usando os conceitos de Fluxo e de Circulação																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	

3																			
4																			
N																			

O índice 1 significa S.1. (representar o Campo matematicamente sem usar os conceitos de Fluxo e de circulação), o índice 2 refere-se a S.2. (representar o Campo Matematicamente usando o conceito de Fluxo como uma projeção normal do Campo sobre uma Superfície Gaussiana e o conceito de Circulação como uma projeção tangencial sobre uma Curva Amperiana), o índice 3 significa M.S.3. (representar o Campo Matematicamente usando o conceito de Fluxo como um indicador da direção do Campo e o conceito de Circulação como um indicador de Linhas de Campo circulares fechadas), o índice 4 se refere a M.S.4. (representar o Campo Matematicamente identificando o conceito de Fluxo ao conceito de Campo) e o índice N se associa aos estudantes que não entregaram a tarefa.

UEPS de Campo Elétrico

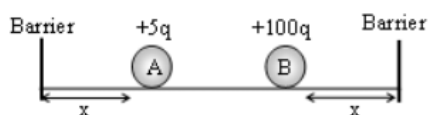
Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Elétrico no primeiro estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho um pouco mais conceitual que formal.

Discutimos na sequência as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Elétrico (estático) no segundo estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes Representações Internas para processar suas Operações de Pensamento. Buscamos levar em conta o conhecimento prévio adquirido pelos estudantes nas UEPS de Campo Elétrico e de Campo Magnético.

Tarefa 1 – Tarefa inicial

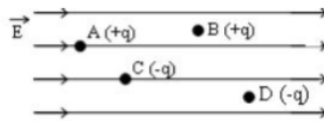
A tarefa inicial para sondagem de conhecimento prévio é apresentada abaixo.

Informação para os itens 1 e 2: dois objetos de mesma massa são colocados à mesma distância de duas barreiras descarregadas e idênticas. O objeto A tem Carga Elétrica $5C$ e o objeto B tem Carga Elétrica de $100C$.



- Se os soltarmos ao mesmo tempo, qual dos dois atinge, primeiramente, a barreira? A) O objeto A atinge, primeiramente, a barreira. b) O objeto B atinge, primeiramente, a barreira. c) Eles atingem a barreira ao mesmo tempo. d) Eles não se movem.
- Se a massa do objeto A é dobrada, qual dos dois atinge, primeiramente, a barreira? a) O objeto A atinge, primeiramente, a barreira. b) O objeto B atinge, primeiramente, a barreira. c) Eles atingem a barreira ao mesmo tempo. d) Eles não se movem.

Informações para as questões 3, 4 e 5: considere que os objetos A e B com carga $+q$ e os objetos C e D com carga $-q$ sejam postos em um Campo Elétrico uniforme, conforme a figura abaixo. Suponha que todos os objetos tenham a mesma massa e que a interação elétrica entre eles seja desprezível

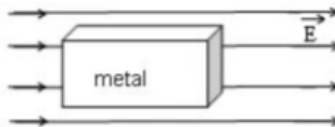


3. Qual opção está relacionada ao movimento dos objetos após eles serem liberados? a) Os objetos A e B começam a se mover, mas os objetos C e D permanecem parados. b) Os objetos A e B ficam parados, mas os objetos C e D começam a se mover. c) Os objetos A e C começam a se mover, mas os objetos B e D permanecem parados. d) Todos os objetos começam a se mover.

4. Qual opção está relacionada à direção e ao sentido do movimento dos objetos? a) Os objetos A e B se movem na mesma direção e sentido do Campo Elétrico, os objetos C e D movem-se na mesma direção, mas sentido oposto ao do Campo Elétrico. b) Os objetos A e B permanecem parados e os objetos C e D se movem na mesma direção do Campo Elétrico, mas no sentido oposto. c) O objeto A se move na mesma direção e sentido do Campo Elétrico e o objeto C se move na mesma direção, mas no sentido oposto ao do Campo Elétrico. Os objetos B e D permanecem parados. d) Todos os objetos se movem na mesma direção e sentido do Campo.

5. Qual opção corresponde à forma de movimento dos objetos quando eles são liberados? a) Os objetos A e B aceleram, mas os objetos C e D permanecem parados. b) Todos os objetos se movem com velocidade constante. c) Os objetos C e D aceleram, mas os objetos A e B permanecem parados. d) Todos os objetos movimentam-se de forma acelerada.

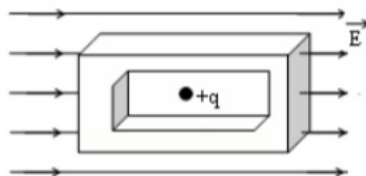
Informações para os itens 6,7 e 8: Um bloco metálico neutro é colocado em um Campo Elétrico (externo) uniforme representado pelas linhas de Campo conforme o diagrama abaixo



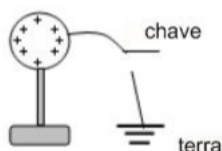
6. Qual das alternativas está relacionada ao Campo Elétrico no interior do bloco? a) O Campo Elétrico interno tem a mesma magnitude e direção do Campo Externo. b) O Campo Elétrico interno tem a mesma direção, mas é menor que o Campo Externo. c) O Campo Elétrico interno tem sentido oposto ao Campo Elétrico externo e é menor que este. d) O Campo Elétrico interno é nulo.

7. Considere que coloquemos, no lugar do bloco condutor, um bloco feito de madeira (isolante). Qual das alternativas está relacionada à descrição do Campo Elétrico no interior do isolante? a) O Campo Elétrico interno tem a mesma magnitude e direção do Campo externo. b) O Campo Elétrico interno tem a mesma direção e sentido, mas menor intensidade que o Campo externo. c) O Campo Elétrico interno tem mesma direção, mas sentido oposto e menor intensidade que o Campo externo. d) O Campo Elétrico interno é nulo.

8. Uma caixa metálica com uma carga positiva q em seu interior é colocada em um Campo Elétrico, conforme mostrado na figura abaixo. Desconsiderando a gravidade, qual das opções melhor descreve o movimento da carga? a) A partícula acelera na mesma direção e sentido do Campo Elétrico externo. b) A partícula se move com velocidade constante na mesma direção e sentido do Campo Elétrico externo. c) A partícula acelera na mesma direção, mas no sentido oposto ao do Campo Elétrico externo. d) A partícula permanece parada.



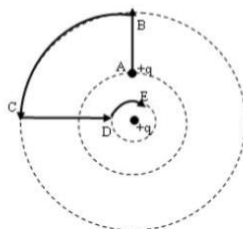
Informações para os itens 9 e 10: Uma esfera condutora com carga q é colocada em uma vara isolante e conectada à Terra com um fio condutor acoplado a uma chave que está aberta.



9. Considere que a chave seja fechada. Qual das alternativas corresponde à carga da esfera? a) Todas as cargas positivas da esfera vão para a Terra e a esfera fica neutra. b) Cargas negativas vão da Terra para a esfera e a esfera se torna neutra. c) Uma parcela de cargas negativas vão da esfera para a Terra e a esfera fica carregada positivamente. d) Não haverá transferência de carga, portanto a carga da esfera permanece a mesma.

10. Considere que a esfera neutra é substituída por uma esfera condutora metálica com carga $-q$. Qual das alternativas melhor se relaciona à carga na esfera, quando a chave é fechada? a) Cargas negativas da esfera vão para a Terra e a esfera fica neutra. b) Cargas positivas vão do chão para a esfera e esta se torna neutra. c) Uma parcela de carga negativa da esfera vai para a Terra e esta ainda permanece negativamente carregada. d) Não haverá transferência de carga.

Informação para as questões 11 e 12: Um objeto carregado com carga q é colocado em um ponto em um Campo Elétrico. As linhas equipotenciais são apresentadas por linhas pontilhadas na figura abaixo. Outra carga q é movida ao longo do caminho ABCDE (desconsidere a gravidade).



11. Ao longo de que caminho a Energia Potencial Elétrica das partículas em movimento aumenta? a) No caminho entre os pontos A e B. b) No caminho entre os pontos B e C. c) No caminho entre os pontos C e D. d) No caminho entre os pontos D e E.

12. Em que caminho ou caminhos há realização de trabalho pela Força Elétrica? a) Nos caminhos indo de A a B e de C a D. b) Nos caminhos indo de B a C e de D a E. c) Em todos os caminhos. d) Não há realização de trabalho em qualquer dos caminhos.

Todas as questões abordam a Interação Elétrica entre um Campo Elétrico criado por um Objeto Eleticamente carregado e um Campo Elétrico. As Situações 1 e 2 só mudam por parâmetros (massa dos objetos). As Situações 3, 4 e 5 também são muito parecidas entre si, bem como os grupos de questões formados pelas questões 6, 7 e 8, das questões 9 e 10, e das questões 11 e 12.

As questões 1 e 2 explicitam os objetos interagentes, duas Cargas Elétricas pontuais. As Situações 3, 4 e 5 não explicitam os Objetos Eletricamente carregados criando o Campo Elétrico, mas somente o Objeto sofrendo a ação deste Campo Elétrico. Há mudança com respeito à referência à classificação de aspectos relativos ao movimento dos objetos.

As questões 6, 7 e 8 abordam a interação de um Campo Elétrico devido a uma fonte não explicitada com materiais. As Situações 6 e 8 envolvem condutores, enquanto a Situação 7 envolve isolantes. São diferenças que são significativas, no entanto, na conceitualização, mas possíveis de serem subsumidas sob este ponto de vista apresentado.

As Situações 9 e 10 abordam a Interação entre Objetos Eletricamente Carregados e Campos Elétricos, envolvendo trocas de Cargas Elétricas. Chegamos à conclusão de ser este o tipo de Situação mais difícil de ser resolvido pelos estudantes dentro desta Classe de Situações. Só há, entre elas, mudança nos parâmetros, a saber, os valores das Cargas Elétricas.

As Situações 11 e 12 abordam a Interação entre dois Objetos Eletricamente Carregados e Campos Elétricos. Estas Situações enfocam a ideia de transferência de Energia com maior ênfase do que as outras, pois envolvem o conceito de Trabalho realizado pelo Campo Elétrico.

Quanto ao grupo 1 de questões, a saber, as Situações 1 e 2, vemos que a maioria dos estudantes possivelmente descreve a Interação Elétrica sem fazer referência ao conceito de Campo Elétrico. Todos os 16 alunos usam justificativas como “positivos se repelem com Forças de mesma intensidade”. Martin e Solbes (2001), bem como os trabalhos de Furió e Guisasaola (1998) e Furió et al (2003), por exemplo, já ressaltam o pouco uso por parte dos alunos do conceito de Campo Elétrico. Outro fator complicante é a explicitação dos dois objetos interagentes sem menção ao Campo Elétrico.

Quanto ao grupo 2 de Situações, a saber, os Problemas 3, 4 e 5, 12 alunos parecem aplicar possíveis Operações de Pensamento baseadas nas Representações Internas S.I.E.2. Dois alunos parecem usar os Esquemas S.I.E.5 e dois possivelmente descrevem a Interação sem usar o conceito de Campo Elétrico, isto é, usando o Esquema S.I.E.1. Isto pode estar associado à explicitação do Campo Elétrico sem explicitar as fontes. Isto, no entanto, pode evidenciar um uso meramente operacional do Campo Elétrico.

Quanto ao grupo 3 de Situações, a saber, os Problemas 6, 7 e 8, 14 alunos parecem tratar o Campo Elétrico como uma entidade que passa por corpos como se fosse um fluido. Dois alunos possivelmente usam o Esquema S.I.E.2 para descrever o Campo Elétrico de maneira geral. Isto evidencia a influência de Situações cujos elementos envolvam condutores altera a conceitualização dos estudantes. Deve-se ressaltar, ainda, a fragmentação das Representações Internas dos estudantes, pois dentro

da mesma classe de Situações, mudando-se a estrutura das mesmas, a conceitualização pode ser processada de distintas formas.

Para o grupo 4 de Situações, 11 dos 16 alunos descrevem a Situação sem usar o conceito de Campo Elétrico. Uma semelhança entre o grupo de Situações 1 é a explicitação dos Objetos interagentes e destaque para a ação direta das Forças Elétricas. Quatro alunos possivelmente não conceitualizam e 1 parece usar o Esquema S.I.E.2. Conforme já discutido anteriormente, é mais uma evidência corroborando a ideia de os alunos não dominarem a ideia de Campo Elétrico.

Para o grupo de Situações 5, oito dos estudantes possivelmente usam o Esquema S.I.E.1. Seis dos alunos parecem usar o Esquema S.I.E.2, em função do conhecimento prévio do conceito de Superfície Equipotencial e sua relação com o conceito de Trabalho. Ainda assim, isto evidencia que, embora alguns estudantes usem o conceito-em-ação de Campo Elétrico para descrever Interações Elétricas, eles possuem pouco ou quase nenhum teorema-em-ação no qual ele esteja vinculado adequadamente de um ponto operacional e ontológico.

Os estudantes B, L, M e N tiveram marcados as suas Representações Internas como Esquemas, pois na primeira tarefa do curso evidenciaram usar o conceito de Campo de forma geral. É arrazoado pensar numa estabilidade para esta ideia, visto compor seu conhecimento prévio.

Tabela 40: Possíveis Representações internas usadas pelos alunos na avaliação inicial do conhecimento prévio da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.E) Modelos Mentais (M.I.E) para descrição de Interações Elétricas (I.E) – Todas as questões																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	1		14	14	15	14&	14	14,5	1*4	14&5	14	1&	1	145	1245	12&45	1
2	2		25	25	2*	5	5	2	25*	2	25	245	25	2	3%	3	2
3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			3
4																	
5						2	2										
N	4,5	-			4								4				4,5

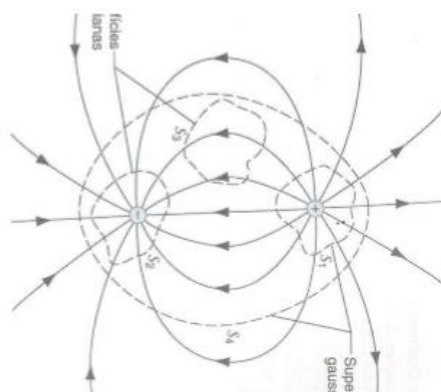
Tarefa 2 – Fluxo e Lei de Gauss para a eletrostática

A seguir, apresentamos a segunda tarefa da UEPS de Campo Elétrico.

1. Qual o Fluxo do Campo Elétrico gerado por uma placa muito extensa, com densidade superficial de carga uniforme σ , através de uma superfície cilíndrica fechada de raio R cujo eixo longitudinal está orientado paralelamente a este Campo? Represente a situação esquematicamente.

2. Qual o Fluxo do Campo Elétrico gerado por uma esfera carregada uniformemente com carga $-q$, através de uma superfície esférica de raio R ? Considere que o centro da superfície coincida com o da esfera carregada. Represente a situação esquematicamente.

3. Suponha a figura abaixo com quatro superfícies gaussianas apresentadas para o caso do dipolo elétrico.
a) Qual o Fluxo através de cada uma das superfícies? b) Como você justificaria o uso do Campo Elétrico para resolver o problema?



As três Situações requerem a Representação Simbólica do Campo Elétrico no Espaço. A Tarefa 2 requer a referência ao conceito de Fluxo Elétrico para o estabelecimento desta Representação. As três Situações variam com respeito aos seguintes pontos, a saber, *o número de fontes de Campo Elétrico e a geometria das Fontes de Campo Elétrico*. Nas três Situações é preciso, no entanto, representar simbolicamente o Campo Elétrico, ou seja, apresentar asserções sobre seu comportamento.

No que tange à Representação Analógica do Campo Elétrico, todos os alunos possivelmente representam o Campo Elétrico adequadamente, porém só o fazem de forma adequada no exterior das fontes de Campo Elétrico. Na primeira aula argumentamos sobre a existência do Campo Elétrico no espaço, mas não explicitamos o aspecto de o espaço incluir o interior das fontes. Pareceu-nos ser evidente este aspecto, no entanto, a análise das possíveis Operações de Pensamento dos estudantes indicou ser importante a explicitação desta característica.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Elétrico, temos maior variedade na conceitualização. A maioria dos estudantes (13) possivelmente usa um Modelo Mental compatível com M.S.E.2, voltado à representação por mapas dos vetores Campo Elétrico e descrição simbólica destes. Dois alunos parecem usar Modelos Mentais do tipo M.S.E.4, equivalentes à descrição tanto geométrica dos mapas de Campos Elétricos como em termos das fontes. Um aluno parece ter usado, no entanto, uma representação adequada em dois problemas, mas parece “tatear” significados para o conceito de Fluxo Elétrico, findando por igualar o mesmo ao próprio Campo Elétrico.

Para um processo inicial de conceitualização, entendemos ser um passo considerável. Os alunos apresentam de acordo com a literatura, em geral, grandes dificuldades com o conceito de Fluxo Elétrico (lei de Gauss), conforme apontam Guisasola et al. (2008).

Tabela 41: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na segunda atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.A.E) e Modelos Mentais (M.A.E) para representar analogicamente o Campo Elétrico – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
N																	
Possíveis Esquemas (S.S.E) Modelos Mentais (M.S.E) para Representar Simbolicamente o Campo Elétrico – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	1,2	1,2	1,2,3	1,2,3	1,8,3	1,2,3	1,3	1,2	1,2,3	1,2,3	1,2,3	1,2,3		1	1,2,3	1,2,3	1,2,3
3																	
4		3					2										
5								3									
N																	

Tarefa 3 – Aplicações da Lei de Gauss

Apresentamos abaixo a tarefa sobre aplicações da Lei de Gauss do Estudo II.

-
- Dois longos e cilindros concêntricos de raios a e b ($a < b$) possuem cargas iguais e opostas por unidade de comprimento. Qual é a forma para o Campo Elétrico para pontos $r < a$, $a < r < b$, $r > b$?
 - Duas chapas não condutoras grandes e paralelas, com distribuições idênticas de cargas positivas. Que expressão descreve o Campo Elétrico para a) pontos à esquerda das chapas, b) entre elas e c) à direita delas? Justifique suas respostas.
 - Uma esfera maciça de raio a e carga q uniformemente distribuída através de seu volume, concêntrica com uma casca esférica não condutora de raio interno b e raio externo c . A casca tem uma carga $-q$. Determine \vec{E} em função do raio para a) $r < a$, $a < r < b$, $b < r < c$ e $r > c$.
-

As três Situações requerem o Cálculo do Campo Elétrico no Espaço. A Tarefa 3 requer a referência aos conceitos de Carga Elétrica e de Campo Elétrico para a realização do cálculo. As três Situações variam com respeito à *geometria das Fontes de Campo Elétrico*. Nas três Situações é preciso, no entanto, calcular o Campo Elétrico, ou seja, apresentar asserções sobre seu comportamento.

Oito dos 14 alunos realizando a tarefa conseguiram dominar Situações parecendo usar o Modelo Mental M.C.E.2, que apresenta um viés mais conceitual e se apropria de conhecimentos-em-ação facilitadora do estabelecimento de referência em relação aos Objetos Eletricamente carregados e suas propriedades.

Quatro alunos parecendo usar o Modelo Mental M.C.E.1, conseguem realizar os cálculos de Campo Elétrico, mas de uma maneira aparentemente bem menos significativa do ponto de vista da compreensão dos conceitos chaves relacionados ao Campo Elétrico. Um aluno não deu indícios de conseguir dominar as Situações e outro

possivelmente apresentou Modelos Mentais mistos, ou seja, distintos Modelos Mentais em problemas diferentes.

Percebe-se, desta forma, um aspecto positivo da aula na capacidade de calcular Campos Elétricos, desenvolvida através de Modelos Mentais por grande parte dos estudantes. Os Modelos Mentais M.C.E.1 estão mais próximos do polo mecânico da Aprendizagem enquanto os Modelos Mentais M.C.E.2 estão mais próximos do polo significativo da Aprendizagem.

Tabela 42: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na terceira atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Modelos Mentais para calcular Campos Elétricos (C.E)																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1							1.2.3							1	1.2.3	1.2.3	
2	1.2	1.3.2&	1.2	1		1.2			1.2.3	1.2.3	1.2.3			2			
N					-			-					-	3			1.2.3

Tarefa 4 – Circulação e Lei de Gauss para a Eletrostática

Apresentamos abaixo a tarefa 4 sobre Circulação e Lei de Gauss para a Eletrostática.

-
1. Faça a distinção entre a Diferença de Potencial e a Diferença de Energia Potencial. Dê exemplos das afirmações em que cada termo é usado apropriadamente.
 2. Qual a Diferença de Potencial entre dois pontos a e b , distantes de r_a e r_b ($r_b > r_a$):
 - a) do centro de uma esfera de raio $R > r_b$ (pontos internos da esfera)?
 - b) do centro de uma esfera de raio $R < r_a$ (pontos externos da esfera)?
-

A atividade 4 envolve dois tipos de Situação. A primeira envolve a descrição de Interações Elétricas entre Objetos arbitrários não mencionados. O uso dos conceitos de Campo Elétrico e de Potencial Elétrico é fundamental para trabalhar as ideias de Força e de Energia Potencial Elétricas. A segunda envolve o cálculo de Campos Elétricos e de Potenciais Elétricos.

A tarefa tem um aspecto importante: até então, os alunos pareciam ter uma visão mais conceitual do Campo Elétrico, mas quando as Situações começam a abordar o conceito de Potencial Elétrico que, a princípio, seria uma forma de descrever as trocas de Energia entre Campo Elétrico e Cargas Elétricas, os alunos começam a apresentar uma visão mais operacional do conceito.

Uma possível razão para isto derive de os alunos conceberem o Potencial Elétrico como mera forma alternativa de computar ou descrever o Campo Elétrico. É importante distinguirmos as coisas, e o fizemos. O Potencial Elétrico não é somente um Campo escalar para descrever o Campo Elétrico, como alguns livros apresentam. O Potencial Elétrico (e, em especial, a Diferença de Potencial Elétrico) está associado ao

movimento de Cargas Elétricas, uma vez que se associa à DDP uma variação de Energia Potencial por unidade de Carga Elétrica.

Dos 15 estudantes trabalhando nesta tarefa, sete possivelmente usam o Modelo Mental M.I.E.2, enquanto 6 possivelmente usam o Modelo Mental M.I.E.5. Dois estudantes parecem recorrer ao Esquema S.I.E.1, componente do conhecimento prévio dos estudantes. Estes alunos operam bem com os conceitos e equações, bem como com o estabelecimento de referência, porém, esta parece ser mais operacional que relativa à ontologia do Campo Elétrico. Para uma conceitualização inicial, parece, no entanto, um passo relativamente importante, mas não último.

Quanto ao cálculo do Potencial Elétrico a partir do Campo Elétrico, 12 alunos o fazem possivelmente usando o Modelo Mental M.C.E.1, enquanto somente 2 o parecem fazer usando o possível Modelo Mental M.C.E.2. Uma maneira de problematizar o conceito de Potencial Elétrico é falando sobre transferência de Cargas Elétricas ou mesmo discutindo o problema histórico da garrafa de Leyden. A ênfase no problema do desfibrilador é importante, mas as tarefas devem requerer maior aprofundamento no aspecto conceitual do Potencial Elétrico.

Abaixo apresentamos uma tabela com as informações acerca da conceitualização dos estudantes.

Tabela 43: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na quarta atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1					1							1					
2							1	1									1
3																	
4																	
5						1				1	1						
6																	
N		-			1				-								
Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para Calcular Campos Elétricos – II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
N		-							-								

Tarefa 5 – Potencial Elétrico e Campo Elétrico

Apresentamos abaixo a tarefa 5 da UEPS de Campo Elétrico do Estudo II, sobre Potencial Elétrico e Campo Elétrico.

1. Compare a energia cinética ganha por um próton ($q = e$) com a energia cinética ganha por uma partícula alfa ($q = 2e$) colocadas entre duas placas paralelas carregadas, separadas por uma distância d , com densidades superficiais de carga σ de sinais contrários.

2. Para podermos ligar um aparelho elétrico, é preciso ligarmos este a uma fonte de energia. Isto é óbvio, mas como você explicaria esta necessidade usando o conceito de Potencial Elétrico? Existe alguma característica destas "fontes de energia" que justifique o funcionamento do aparelho?

As duas Situações envolvem a descrição de Interações Elétricas entre Campos Elétricos e Objetos Eletricamente carregados. Ambas as Situações mencionam os Objetos. Situação 1 é, no entanto, mais explícita.

Percebemos nesta tarefa, também, aparente predominância de uso adequado dos conceitos, porém de uma perspectiva mais operacional que conceitual. É importante atentar para este evento. Quando se introduz o conceito de Potencial Elétrico, os alunos retomam ao aspecto mais matemático. A forma de conceber as Interações talvez seja inicialmente mais matemática. O desenvolvimento da conceitualização ocorre ao longo do tempo, obviamente. O possível Modelo Mental M.I.E.2 é adequado do ponto de vista técnico, mas não do ponto de vista filosófico, por isto chamamos atenção.

Outra possibilidade talvez seja a de os alunos compreenderem mais facilmente o conceito de Força que o de Energia. Como começamos com Representações Simbólicas e Cálculos, esta foi a primeira oportunidade dos estudantes de lidar com Situações envolvendo Interações Elétricas. Deve-se observar o uso das Operações de Pensamento nas tarefas seguintes.

Tabela 44: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na oitava tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1,2					
2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2		1,2	1,2	1,2	1,2	2
3																	
4																	
5					1	2						1					1
N																	

Tarefa 6 – Forças Elétricas

Apresentamos a tarefa 6 da UEPS de Campo Elétrico do Estudo II. A temática da tarefa é de Forças Elétricas.

1. Com que frequência angular oscila um elétron colocado inicialmente sobre um ponto P , sobre um eixo passando pelo centro de um anel de raio R , a uma distância z de forma que $z \ll R$? O elétron está oscilando. Como é possível reconciliar este fato com o de que em Eletrostática as Cargas Elétricas devem estar em repouso?

2. Uma pequena esfera com carga igual à do elétron é colocada a uma altura h sobre um disco negativamente carregado (uniformemente) de raio R muito grande. A placa é fixada sobre um ponto na superfície do planeta Terra, onde temos, obviamente, atmosfera composta por nitrogênio, oxigênio e outros gases como o gás carbônico e gases nobres. Sob que condição (condições) a esfera descreverá movimento uniforme?

As duas Situações requerem a descrição da Interação Elétrica entre Campos Elétricos e Objetos Eletricamente Carregados. As Situações pertencem à mesma Classe e somente variam com respeito à geometria das fontes, bem como à presença de outras Forças distintas da Força Elétrica mais relevante⁹¹.

A tarefa 6 corrobora a hipótese levantada acerca das Operações de Pensamento desenvolvidas pelos alunos ao longo da UEPS. Quando se aborda o conceito de Força Elétrica exercida pelo Campo Elétrico, o salto na conceitualização é considerável. Dos 17 alunos, 10 possivelmente usam o Modelo Mental M.I.E.5, que coloca o Campo Elétrico como agente da Interação. Os estudantes parecem relacionar Campos Elétricos a Cargas Elétricas de fonte e o consideram, em sua maioria, como agentes da Força Elétrica sobre a Carga Elétrica de prova.

Quanto aos sete alunos restantes, um deles aparente usar somente o Esquema S.I.E.1 (L), três possivelmente usam o Modelo Mental M.I.E.2, demonstrando perícia conceitual e matemática sobre as Interações, mas considerando o Campo Elétrico desde uma perspectiva mais operacional que ontológica. Dois alunos parecem usar o Modelo Mental M.I.E.2 e o Esquema S.I.E.1 para descrever Interações, evidenciando, portanto, uma visão do Campo Elétrico como um instrumento facilitador de cálculos e potencialmente confundível com o de Força Elétrica.

Os alunos M e N parecem continuar usando suas concepções de Campo Elétrico como entidade geral. O aluno M dá possíveis indícios de regredir, inclusive, ao uso da Força Elétrica sem considerar o Campo Elétrico, usando explicitamente a lei de Coulomb e falando sobre a ação da Força Elétrica exercida pela chapa sobre a Carga Elétrica de prova.

Embora a maioria dos alunos possivelmente tenha apresentado avanço, parece haver retrocessos nos processos de Aprendizagem, ou seja, a não linearidade no domínio de Situações através da construção de Operações de Pensamento desde o uso de Representações internas construídas pelos Estudantes parece ser evidenciada.

Tabela 45: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sexta tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrição de Interações Elétricas – I, II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1								2				1,2	1				
2							1,2	1			1,2		2	1,2			
3																	
4																	
5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2			1,2	1,2					1,2	1,2	
N																	-

⁹¹ A Força de resistência do ar é uma Força de origem eletromagnética, no entanto, em geral, não se é levado em conta este fator.

Tarefa 7 – Condutores

Apresentamos a sétima tarefa da UEPS de Campo Elétrico. A temática da tarefa é a resposta de condutores a Campos Elétricos.

-
1. Uma esfera carregada com carga positiva q é colocada no interior de uma caixa condutora com carga $-Q$. A caixa tem formato cúbico, tendo comprimento d , altura h e largura l . A esfera está pendurada por um fio de poliestireno e é colocada a uma distância x da extremidade esquerda da caixa. A esfera está a uma distância $l/2$ de ambas as placas, com respeito ao plano yz e a uma distância $h/2$ das placas do plano xy . O que acontecerá com a esfera carregada? Descreva conceitualmente por que chegou a esta resposta? Esboce um modelo esquemático da situação.
 2. Que diferença temos entre um circuito elétrico condutor de corrente (ligado a uma bateria) e um condutor elétrico fechado, descarregado sob a ação de um Campo Elétrico? Descreva, usando o conceito de Diferença de Potencial, ambas as situações.
 3. Como pode ser explicado o fenômeno da blindagem Eletrostática (gaiola de Faraday) usando a lei de Gauss?
-

A tarefa 7 apresenta três Situações. A primeira faz referência a ambos os Objetos Interagentes e deixa para o aprendiz o papel de estabelecer a referência à Interação entre Campo Elétrico e Carga Elétrica. A segunda faz algo parecido, porém com o Campo Elétrico ressaltado e sua fonte omitida. A terceira questão é completamente aberta e omite inclusive as Cargas Elétricas.

Conforme vimos na tarefa inicial, o conhecimento dos estudantes significativo para o domínio de Situações envolvendo Condutores estaria associado a um possível Esquema S.I.E.3, ou seja, que trataria o Campo Elétrico como fluido na interação com condutores. Com as discussões sobre a natureza do Campo Elétrico, é possível que os estudantes tenham evitado usar esta possível Representação Interna.

A questão 1 parece induzir facilmente os estudantes à causalidade simples. Os estudantes consideram somente as Cargas Elétricas dos Objetos e desconsideram a geometria e a mobilidade de Cargas Elétricas do condutor (Furió e Guisasola, 1998). Não é o caso destes alunos. Muitos deles parecem usar a lei de Coulomb (relacionando as Cargas) e o princípio da Superposição, chegando à ideia adequada de que a bolinha no interior da caixa não se move.

O único aluno indicando possibilidade de apresentar a causalidade simples é o aluno K. Este aluno apresentou dificuldades em outras questões. Ele apresentou uma explicação mais operacional para a segunda questão e não parece ter conseguido constituir inferências na terceira.

Sete estudante possivelmente apresentam este viés de usar o possível Modelo Mental M.I.E.5 em algumas Situações (em especial na 2 e na 3) e o possível Esquema S.I.E.1. Seis alunos parecem usar o Modelo Mental M.I.E.5 nas três Situações. Dois alunos indicam possibilidade de aplicação de um pensamento mais formal na tarefa ao aparentarem usar o Modelo Mental M.I.E.2. Um aluno somente evidenciou uma conceitualização pobre para o conceito de Campo Elétrico.

Julgamos positivos os resultados dadas as concepções prévias dos estudantes. Consideramos mais importante, no entanto, o visível desequilíbrio cognitivo causado sobre os estudantes, tarefa após tarefa. Os alunos parecem evidenciar compreensão de Significados. Algumas vezes este entendimento ocorre de maneira fragmentada. Comparando, no entanto, com a fragmentação do conhecimento no início do curso, percebe-se estar esta diminuindo.

O aluno M parece ir na contramão da turma e possivelmente começa a construir Modelos Mentais nos quais as Interações Elétricas não precisam do Campo Elétrico para ocorrer. Certas vezes o aluno N também parece fazê-lo. Este aluno é um caso particular e precisaria ser estudado com maior cuidado.

Tabela 46: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sétima tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrição de Interações Elétricas – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	1			2	2	1		1		1	1%		1	1			
2							1,2		1,2		2			2&			
3																	
4																	
5	2%3	123	123	13	1*	2,3		3		3%			2		1,2,3	1,2,3	1,2,3
N					3			2			3	-					

Tarefa 8 – Isolantes

Colocamos abaixo à oitava tarefa sobre isolantes, proposta na UEPS de Campo Elétrico no Estudo I.

1. Um cilindro dielétrico/isolante (linear) é inserido em um Campo Elétrico uniforme. Esboce as linhas de campo. Justifique sua representação.

2. Como é possível descrever o processo de Indução Eletrostática da água usando a ideia de polarização?

A tarefa 8 apresenta duas Situações. A primeira faz referência aos Objetos sofrendo a Força devida ao Campo Elétrico e deixa para o aprendiz o papel de estabelecer a referência à Interação entre Campo Elétrico e Carga Elétrica, explicitando o Campo Elétrico. A segunda questão é completamente aberta e omite inclusive as Cargas Elétricas.

A tarefa 8 apresenta duas Situações. A primeira faz referência aos Objetos sofrendo a Força devida ao Campo Elétrico e deixa para o aprendiz o papel de estabelecer a referência à Interação entre Campo Elétrico e Carga Elétrica, explicitando o Campo Elétrico. A segunda questão é completamente aberta e omite inclusive as Cargas Elétricas.

Há um ponto interessante na tarefa. A maioria dos estudantes aponta para o possível uso de Modelos Mentais formalmente corretos. Seis alunos parecem usar o Modelo Mental M.I.E.5. Seis alunos possivelmente usam exclusivamente o Modelo

Mental M.I.E.2. Isto pode ser contado como possível progressividade na conceitualização.

O aluno L parece apresentar um retorno parcial às suas concepções iniciais e o aluno K um avanço no entorno de uma possível conceitualização possivelmente usando o Modelo Mental M.I.E.2. Temos, ainda, um salto positivo do aluno N que possivelmente usa o Modelo Mental M.I.E.5 e o Esquema prévio S.I.E.2. O aluno H parece apresentar um salto na conceitualização, pois começa a não mais parecer usar o Esquema S.I.E.1 e indica começar a usar intermitentemente os Modelos Mentais M.I.E.2 e M.I.E.5.

Tabela 47: Possíveis Representações Internas usadas para descrever Interações Elétricas na oitava tarefa da UEPS de Campo Elétrico

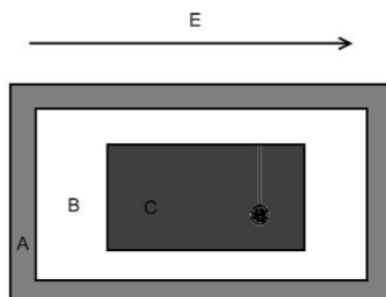
Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrição de Interações Elétricas – I, II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1											1	1					
2							1,2,3	3		1	2	2	1	1,3	1,2	1,2	2
3																	
4																	
5	1,2	1,2	1,2	1,2		1,2		1	1,2,3			2					
N					-												1

Avaliação Somativa

Apresentamos abaixo a avaliação Somativa da UEPS de Campo Elétrico no Estudo II.

1. Em um artigo de 1911, Ernest Rutherford disse: "A fim de se ter uma noção das Forças necessárias para defletir uma partícula α de um grande ângulo, considere um átomo [como] contendo uma carga pontual positiva Ze no seu centro, cercada por uma distribuição de eletricidade negativa $-Ze$ uniformemente distribuída no interior de uma esfera de raio R . O Campo Elétrico \vec{E} ... a uma distância r do centro para um ponto no *interior* do átomo [é] $E = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left(1 - \frac{r^3}{R^3}\right)$ a) Faça um esquema pictórico (desenho) do modelo proposto por Rutherford. b) Verifique que esta equação é válida para o modelo proposto.

2. Um arranjo, semelhante ao exposto na figura 1, é composto de uma caixa de plástico oca com uma caixa condutora, no interior da qual há um pêndulo eletrostático (esfera carregada ligada por um fio isolante ao teto da caixa). A caixa é colocada no interior de um Campo Elétrico uniforme. Pede-se que: a) seja descrito o Campo Elétrico em todos os pontos do espaço. b) descreva o que ocorrerá com a bolinha



3. Uma esfera condutora de carga q e raio R_1 é ligada por um fio condutor a uma esfera condutora de raio $R_2 > R_1$ descarregada. a) Sob que condição findará o fluxo de cargas através do fio condutor? b) Ao final do Fluxo de cargas, as esferas estarão com Cargas Finais iguais (caso seja esta a sua resposta, qual a fração da carga total em cada esfera?) ou diferentes (caso seja esta a sua resposta, qual das esferas fica com maior carga)? c) Se no lugar da segunda esfera fosse posto um cone, a densidade de cargas final neste seria homogênea ou não homogênea? Justifique.
 4. Uma casca cilíndrica não-condutora, grossa, de comprimento infinito, raio interno a e raio externo b , tem densidade volumétrica de carga uniforme ρ . Determine o Campo Elétrico para um ponto qualquer (no interior da casca, na casca e no exterior da casca).
 5. Discorra sobre a lei de Gauss, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de circulação para a eletrostática (e esta ao conceito de Potencial Elétrico), bem como à lei de Coulomb.
 6. Construa um mapa conceitual tendo o conceito de Campo Elétrico como o conceito principal. Capriche no mapa, pois serão verificadas a quantidade de conceitos e a qualidade das ligações. Se você não estabelecer-las, perderá pontos, afinal não conseguirei saber como você entende a relação entre os conceitos.
-

A avaliação somativa explora três classes de Situações, a *Representação Simbólica do Campo Elétrico*, a *Descrição de Interações Elétricas*, e o *Cálculo de Campos Elétricos*. A Situação 5 aborda a Representação Simbólica, as Situações 2 e 3 abordam a Descrição de Interações Elétricas e as Situações 1 e 4, o Cálculo de Campos Elétricos.

A Situação 5 não identifica fontes, é bastante geral e requer ao estudante que discorra sobre a lei de Gauss e a relação dela com o Eletromagnetismo. Podemos ver, a partir de uma linha de pensamento espontânea, como o estudante prossegue na conceitualização da Situação.

As Situações 1 e 4 são ligeiramente diferentes na geometria das Fontes de Campo Elétrico. A Situação 1 trabalha com uma Carga Elétrica Puntual e uma Esfera maciça. Já a Situação 4 trabalha com uma casca Cilíndrica. Os alunos apresentam maior dificuldade com a quarta.

As Situações 2 e 3 tem relação com a Descrição de Interações Elétricas. A Situação 2 envolve a Interação entre Condutores, Isolantes e Campos Elétricos devidos a fontes desconhecidas. O Problema 3 envolve Interações Elétricas entre duas fontes de Cargas Elétricas conhecidas, num processo de transferência de Cargas Elétricas. Nesta questão, a maioria dos alunos não conseguiu uma descrição usando o conceito de Campo Elétrico.

A avaliação somativa é uma amostra da complexidade dos possíveis processos de conceitualização. Sozinhos, lidando com Situações mais complexas e sob pressão da realização da prova, os alunos tendem a apresentar maior variação na conceitualização. Alguma coerência notável é, no entanto, apresentada.

Quanto às Situações envolvendo a descrição de Interações Elétricas, quatro alunos parecem usar o possível Modelo Mental M.I.E.3. O aluno C, em função de seu

desempenho nas tarefas anteriores demonstra possíveis evidências da construção de um possível Esquema de assimilação S.I.E.5. O aluno I indica um possível Modelo Mental em rota de estabilização, por isto destacamos em verde seu possível Modelo Mental. Este aluno parece vir variando intermitentemente entre os Modelos Mentais M.I.E.5 e M.I.E.2.

Ainda nesta classe de Situações, quatro alunos possivelmente conceitualizam de acordo com a Representação Interna I.E.2. Destes, os alunos L e M parecem manter os Esquemas originais sobre as Interações Elétricas. Os outros apresentam uma evolução do não uso do conceito de Campo Elétrico para seu uso operacional durante a prova. Vale ressaltar que os alunos.

Quatro alunos apresentam possíveis Esquemas S.I.E.1, apresentando ainda influências deste, afinal é uma Representação Interna de longo prazo, e usando o possível Modelo Mental M.I.E.5. Um passo bastante positivo do ponto de vista da Aprendizagem Significativa, pois se apresenta como uma modificação da Estrutura Cognitiva.

Três alunos parecem apresentar retrocessos. O aluno A parece fazer uso dos Modelos Mentais M.I.E.3 (Modelo Fluido-Choquista) e M.I.E.4 (Modelo Campo Transporte). Os alunos Q e E indicam possível apresentação do Modelo Mental M.I.E.3 em duas Situações. São casos pontuais, mas uma aproximação destes alunos teve de ser feita na UEPS de Campo Magnético.

Quanto ao Cálculo de Campo Elétrico, a maioria dos alunos parece conseguir executar. Cinco alunos possivelmente o fazem de forma mais conceitual (B, C, E, F, I), usando o Modelo Mental M.C.E.2. Com exceção do aluno E, estes outros quatro alunos parecem ter compreendido melhor as Interações Elétricas e a Representação Simbólica do Campo Elétrico. O domínio de outras classes de Situação, obviamente facilita o cálculo de Campos Elétrico.

Oito alunos parecem usar o Modelo Mental M.C.E.1 nas duas questões relativas à Classe de Situações nas quais é preciso calcular um Campo Elétrico. Dois alunos possivelmente usam os Modelos Mentais M.C.E.1 e M.C.E.2, e um aluno parece apresentar erro de causalidade simples na quarta Situação (A). Há indícios de influência do Modelo Mental M.I.E.3 nas Operações de Pensamento dos estudantes, que toma o Campo Elétrico como um fluido. Uma das Operações Recursivas possivelmente usada pelo aluno é “**SE** Campo Elétrico não passa por objetos, **ENTÃO** o Campo Elétrico no interior da e na casca cilíndrica é nulo”.

Vemos, com respeito à representação Simbólica do Campo Elétrico, que boa parte dos alunos parece usar Modelos Mentais adequados. Quatro alunos parecem usar o Modelo Mental M.S.E.4 (relacional e geométrico), enquanto seis possivelmente trabalham com o Modelo Mental M.S.E.3 (mais relacional que geométrico). Um aluno (A) parece confundir os conceitos de Fluxo Elétrico e de Campo Elétrico, um estudante

(E) possivelmente não usa o conceito de Fluxo Elétrico em uma das Situações e na outra o considera semelhante ao Campo Elétrico.

Um aprendiz parece não usar em qualquer das Situações os conceitos de Fluxo Elétrico ou de Circulação. Dois alunos possivelmente usam, no entanto, o Esquema S.S.E.1 e dois alunos parecem usar este Esquema em uma Situação e o Modelo Mental M.S.E.3 em outra.

Do ponto de vista da Aprendizagem Significativa, usar Esquemas S.S.E.1 evidencia possível Aprendizagem Mecânica dos conceitos de Fluxo Elétrico e de Circulação Elétrica do ponto de vista da habilidade de Representação Simbólica. Guisasola et al. (2008) apontam terem os alunos uma ideia de as equações de Campo serem meramente operacionais.

O possível uso de Esquemas S.S.E.5 pode estar associado à redução funcional, ou seja, reduzir instâncias diferentes à mesma coisa. Isto é frequente com os conceitos de Campo Elétrico e Força Elétrica, porém Guisasola et al. (op cit.) e Araujo et al. (2007) apontam ser comum este raciocínio com respeito às Equações de Campo Elétrico.

Ainda sob a óptica da Aprendizagem Significativa, é importante entender que o possível uso de Modelos Mentais M.S.E.2, M.S.E.3 e M.S.E.4 são muito importantes. Os possíveis Modelos Mentais M.S.E.2 (mais geométricos que relacionais) e M.S.E.3 (mais relacionais que geométricos) não são excludentes, mas podem representar conhecimentos cientificamente aceitos. É fundamental facilitar a aquisição do Modelo M.S.E.4 (geométrico e relacional) que junta conhecimentos-em-ação incorporados na ação por dois possíveis Modelos Mentais anteriores. Consideramos, portanto, positiva a avaliação somativa, pois é possível evidenciar um progresso dos estudantes em direção à conceitualização mais adequada do Campo Elétrico.

É importante perceber ser, como fala Vergnaud, a conceitualização um processo complexo e a aprendizagem de um conceito, como o de Campo Elétrico, outro ocorrente ao longo de um largo período de tempo. A UEPS envolveu, no entanto, aproximadamente três semanas de aula e isto pode sugerir possível facilitação da Aprendizagem Significativa para maior parte dos alunos neste período de tempo. Isto pode indicar, em certo grau, a eficiência da abordagem.

Tabela 48: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação somativa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		3		3%		1%		3		3	3						
2											2	2,3		2,3	2,3	2,3	
3	4				2					4							4,2
4	2																
5		2	2,3	2&		2	2,3	2	2				2				
N	3				3				3								

Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para calcular Campo Magnético – II, IV																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	4%			1			1,4	1,4		4*	1,4	1,4	1	1,4	1,4	1,4	1,4
2	1	1,4	1,4	4	1	1,4			1				4				
N					4				4								
Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para representar Simbolicamente o Campo Elétrico – II, V																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1					3&		3&	5							5	5	3&
2																	
3							2,5	2		5,2	2,5	5,2	2	2,5			
4				5													
5	5				2												
N													5				5

Realizada a análise dos dados da UEPS de Campo Elétrico, trabalharemos a análise dos dados da UEPS de Campo Magnético.

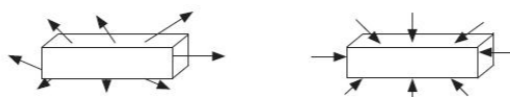
UEPS de Campo Magnético

Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Magnético no segundo estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho mais conceitual que formal.

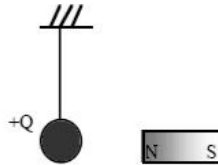
Discutimos a seguir as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Magnético (estático) no segundo estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes concepções. Buscamos levar em conta o conhecimento prévio adquirido pelos estudantes nas UEPS de Campo Elétrico.

Tarefa 1 – Avaliação inicial

1. Construa um mapa conceitual a partir da palavra magnetismo.
2. Nunca foi encontrado que um ímã tenha criado um Campo Magnético cujo "mapa" de Linhas de Campo fosse como os mostrados na figura abaixo. Que conclusão você poderia tomar acerca deste fato da natureza?



3. Se o magnetismo é um efeito da Corrente Elétrica, e sem Corrente Elétrica não pode existir magnetismo, como um ímã funciona, isto é, cria Campo Magnético, sem ser ligado em uma tomada?
4. Um estudante afirma que, na situação da figura, o ímã e a esfera de poliestireno, carregada com uma carga Q negativa, sofreriam repulsão mútua. Você concorda com tal afirmação? Justifique detalhadamente sua resposta.

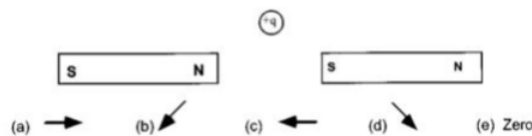


5. O que acontece a uma carga positiva colocada em repouso em um Campo Magnético uniforme? a) Ela se move com velocidade constante, pois a Força tem magnitude constante. b) Ela se move com uma aceleração constante, pois a Força tem magnitude constante. c) Ela se move em trajetória circular, com velocidade constante em módulo, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. d) Ela acelera em uma trajetória circular, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. e) Ela permanece em repouso, pois a Força e a velocidade inicial são nulas.

6. Um elétron se move horizontalmente em direção a uma tela. O elétron move-se ao longo do caminho mostrado por causa da ação da Força devida ao Campo Magnético. Em que direção e sentido está o Campo Magnético? a) Em direção ao topo da página. b) Em direção ao fundo da página. c) Para dentro da página. d) Para fora da página. e) O Campo Magnético está na direção da curva.

7. A figura abaixo representa partículas carregadas positivamente movendo-se no mesmo Campo Magnético. O Campo é dirigido da esquerda para a direita. Todas têm a mesma carga e mesma velocidade v . Enumere as situações de acordo com a magnitude da Força exercida pelo Campo Magnético na carga em movimento, em ordem decrescente. a) $I = II = III$ b) $III > I > II$ c) $II > I > III$ d) $I > II > III$ e) $III > II > I$.

8. Uma partícula positivamente carregada ($+q$) está em repouso no plano entre dois ímãs fixos, conforme mostrado na figura. O ímã na esquerda tem um Campo Magnético três vezes mais forte que o da direita. Qual das escolhas abaixo melhor representa a Força magnética resultante exercida pelos ímãs na carga?



Fizemos o uso das quatro primeiras questões da avaliação de conhecimento prévio dos estudantes implementada no primeiro estudo. A descrição é semelhante, porém para economizar o tempo do leitor e evitar com que recorra a, reproduzimos a descrição das Situações aqui.

As situações 2 e 3 apresentadas referem-se à Classe de Situações S.B, na qual requer-se a Representação Simbólica do Campo Magnético, ou seja, requer descrição do Campo Magnético fazendo referência às entidades Físicas que o criam, à sua forma no Espaço. Ambas as questões referem-se às fontes como sendo ímãs, visto serem muitos teoremas-em-ação alternativos oriundos da conceitualização sobre ímãs.

A situação 4 está enquadrada na Classe de Situações I.B, na qual é preciso descrever a Interação Magnética entre um Campo Magnético e um Objeto eletricamente carregado. A presença do ímã propicia o uso de teoremas-em-ação relacionando pólos de ímãs a Cargas Elétricas. Dada a ênfase dada por Guisasola et al. (1998, 2004) e Brandamante e Viennot (2007) às ideias sustentadas por alunos infantis, inclusive, sobre o caráter dos ímãs, entendemos este conhecimento como prévio aos alunos.

A construção de um mapa conceitual não é necessariamente uma Situação Problema, e tampouco ela se enquadra em uma ou outra classe de Situações, senão que pode estar associada a todas elas, em especial às classes S e I. Desta forma, julgamos interessante retirar informações extras deles corroborando nossas hipóteses evidenciadas ao longo do trabalho na classificação das Operações de Pensamento e Representações Internas dos Estudantes, bem no exemplo do emprego das Operações de Pensamento.

As Situações 5, 6, 7 e 8 também estão enquadradas na Classe de Situações I.B. As três primeiras Situações basicamente só mudam nos seus parâmetros e no fator problemático. As Situações 5, 6 e 7 versam sobre a Interação de um Campo Magnético devido a uma fonte de Campo Magnético omissa no Problema e uma Carga Elétrica em movimento. A Situação 8 mais se parece com a Situação 4 com duas fontes de Campo Magnético, um aspecto complicador. Foi muito evidente a influência das Situações na conceitualização.

Fica possivelmente evidenciada nesta tarefa, a influência exercida pelas Situações na conceitualização, especialmente quando os alunos não foram submetidos a intervenções didáticas para formalizar o conhecimento. O conhecimento dos alunos, na classe de Situações I parece dividido e este viés situacional pode ser percebido com respeito às questões 4 e 8, e com respeito às questões 5, 6 e 7. As duas primeiras Situações mencionadas incluem ímãs como fontes do Campo Magnético. Nas três posteriores o Campo Magnético é apresentado sem menção à fonte.

Quando há a presença de um ímã, os estudantes tendem a tratar os ímãs como interagentes com Cargas Elétricas em repouso, como se os pólos dos ímãs fossem Cargas Elétricas, sendo o polo Norte uma Carga Elétrica positiva e o polo Sul, uma Carga Elétrica negativa. 13 alunos parecem usar o Esquema S.I.B.6 nas questões 4 ou 8 e destes, 11 usam nas duas Situações. Para as questões 5, 6 e 7, 13 alunos possivelmente usam um Esquema do tipo S.I.B.2, tratando o Campo Magnético como uma entidade operacional⁹². Alguns alunos parecem apresentar causalidade simples, redução funcional e/ou confusões conceituais. Quatro dos 16 indicam possível cometimento destes tipos de erro procedimental em alguma das questões.

O mesmo efeito de Situação pode ser corroborado na Representação Simbólica do Campo Magnético. Nas questões 2 e 3 havia a presença de ímãs. 14 alunos parecem usar Esquemas do tipo S.S.B.7 tomando o Campo Magnético como intrínseco a certos tipos de material. Dois alunos parecem considerar o Campo Magnético como efeito de polarização elétrica. Ambas as possíveis Representações Internas conduzem a possíveis Operações de Pensamento coerentes com as Operações de Pensamento empregadas na classe de Situações I.

As Concepções e Representações Internas apontadas nas pesquisas em Ensino de Física levam em conta alguns dos conhecimentos-em-ação previstos para os Esquemas

⁹² Os alunos já possuem como conhecimento prévio a lei de Lorentz para a Força Magnética. Muito provavelmente do Ensino Médio ou do estudo em um cursinho pré-vestibular.

S.I.B.6, para os Esquemas S.S.B.6 e S.S.B.7. Os trabalhos do grupo de Guisasola e o trabalho de Brandamante e Viennot (2007) apontam estas ideias conforme já apresentado na revisão de literatura.

Tabela 49: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação de conhecimento prévio em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – IV, V, VI, VII VIII																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	6	56	4-8	4-8	567&	567	567	567	567*	567	4-8	567&		567	45	4-7	4&
3															67		
4																	
5																	
6	47	48			48	48	48	48	48	48		48		48	8	8	4
N	58												-				67
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para representar simbolicamente o Campo Magnético – II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2						2											
3																	
4																	
5																	
6																2	23
7	2	23	23	23	2		23	23	23	23	23	23		23	23	3	
N	3				3	3							-				

Tarefa 2 – Fluxo Magnético e Lei de Gauss para a Magnetostática

1. Construa três diagramas com linhas de Campo para um ímã que satisfaçam a lei de Gauss para o magnetismo.
2. De que maneira os Polos Magnéticos são muito diferentes das Cargas Elétricas?
3. Suponha que você coloque dois ímãs, um próximo ao outro. Suponha agora que o Campo devido a um ímã assuma a forma de um dipolo. Como pode ser apresentado: a) o Campo Magnético resultante? b) o Fluxo deste Campo Magnético resultante? Faça desenhos e diagramas para justificar sua resposta.

As Situações 1 e 3 podem ser enquadradas na classe de Situações A, na qual é necessário representar analogicamente o Campo Magnético no Espaço, sendo nesta aula enfatizado o conceito de Fluxo Magnético. A abordagem à Representação Analógica do Campo Magnético abordou, portanto, este conceito. As Situações apresentadas aos estudantes foram usadas na UEPS de Campo Magnético do Estudo I.

As Situações 2 e 3 requerem a Representação Simbólica do Campo Magnético a partir da distinção desta em relação à Representação Simbólica do Campo Elétrico e para dominar este tipo de Situação, é fundamental o estabelecimento de referência cientificamente aceita para tal. Os resultados sugerem a compreensão deste aspecto, bem como um entendimento inicial do conceito de Fluxo Magnético como associado ou

às Linhas fechadas de Campo Magnético, ou a inexistência de monopolos Magnéticos ou aos dois juntos.

É possível observar grande regularidade na conceitualização dos estudantes. Quando a Situação se foca na diferença entre Cargas Elétricas e Pólos Magnéticos, os alunos tendem a usar a lei de Gauss do Magnetismo, recém-aprendida. Quando precisam elaborar um mapa dos vetores Campo Magnético através de Linhas de Campo Magnético, apropriam-se da lei de Gauss do Magnetismo para discutir o formato das Linhas. Nenhuma integração foi estabelecida imediatamente pela quase totalidade dos alunos.

Quanto à Representação analógica do Campo Magnético, os alunos parecem realiza-la segundo o Modelo Mental M.A.B.1, que estabelece a existência do Campo Magnético somente no exterior das fontes. É um passo fundamental na conceitualização, mas não leva em consideração um ponto importante, o da existência do Campo Magnético no interior das fontes.

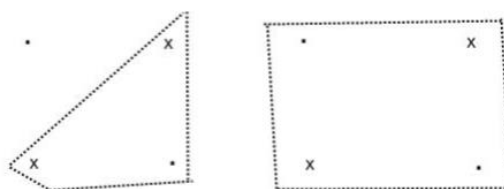
A tarefa e a aula parecem ter sido positivas para a Aprendizagem Significativa, pois os alunos construíram Modelos Mentais mais próximos dos cientificamente aceitos quando em comparação com a primeira tarefa. Alguns pontos devem ser ressaltados, no entanto, como, por exemplo, a Representação Analógica do Campo Magnético, não realizada no interior das fontes por todos os alunos resolvendo os problemas, e a não integração das visões geométrica e relacional em Situações distintas.

Tabela 50: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na segunda tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.A.B) e Modelos Mentais (M.A.B) para Representar Analogicamente o Campo Magnético – I, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
N			-							-		-					
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para representar simbolicamente o Campo – II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	3	3		3	3	3	3	3	3		3		3	3	3	3	3
3	2	2		2	2	2	2	2	2		2		2	2	2	2	2
4																	
5																	
6																	
7																	
N			-							-		-					

Tarefa 3 – Circulação Magnética e Lei de Ampère para a Magnetostática

1. Cada um dos dois condutores indicados na figura abaixo conduz uma corrente i no sentido para dentro ou para fora da página. Dois caminhos estão indicados para a circulação. Qual o valor da circulação para a) o caminho da esquerda e b) o caminho da direita?



Qual o Campo Magnético em a) e em b)? Justifique.

2. Explique como um ímã pode ser comparado a um condutor de corrente elétrica. Faça as aproximações necessárias e as explicita.

As duas Situações requerem a Representação Simbólica do Campo Magnético, pois ambas requerem o uso do conceito de Circulação do Campo Magnético e o entendimento da lei de Ampère Magnética. A diferença básica entre os elementos da Situação está no fato de na Situação 1, trabalharmos diretamente com Corrente Elétrica e na Situação 2 trabalharmos com Ímãs. A Situação 1 trabalha de forma mais explícita a relação entre Circulação e Campo Magnético.

Dos 16 alunos realizando a tarefa, 11 alunos possivelmente usam o Modelo Mental M.S.B.3, que relaciona a Circulação às fontes de Campo Magnético. Três alunos parecem apresentar em situações distintas os Modelos Mentais M.S.B.3 e M.S.B.4, o que nos parece bastante positivo, pois começam a buscar um equilíbrio entre aspectos tanto geométricos como relacionais.

Um ponto relativamente natural, mas apontando um pequeno retrocesso é o fato de os alunos F, I e N ainda parecerem usar o Modelo Mental M.S.B.7. É natural, pois encontrávamo-nos no início da conceitualização (terceira tarefa) e é, também, retrocesso, já que os estudantes pareciam ter usado outros Modelos Mentais para trabalhar as Situações. Uma possibilidade pode ser ainda a presença do ímã na Situação, que toda aula fazíamos menção para tentar integrar seu comportamento Magnético ao das Correntes Elétricas.

Tabela 51: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na terceira tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para Representar Simbolicamente o Campo Magnético de um ímã usando o conceito de Circulação Magnética – I, II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3		1		1									1				
4		2		2									2				
5																	
6																	
7																	
N																	

Tarefa 4 – Uso da Lei de Ampère para o cálculo de Campos Magnéticos

Apresentamos abaixo a quarta tarefa da UEPS de Campo Magnético do estudo II

Para a resolução da tarefa, considere os seguintes Sistemas a) Fio muito comprido, b) Solenóide muito comprido, c) Bobina toroidal a) Um fio muito comprido, conduzindo uma corrente i e tendo raio R , possui expressões para o Campo Magnético da forma:

$$B_{int} = \frac{\mu_0 i r}{2\pi R^2},$$

$$B_{ext} = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

b) Um solenóide muito longo, composto de n espiras por quantidade de comprimento, conduz uma corrente i . As expressões para o Campo Magnético para o solenóide, para pontos no interior e no exterior do mesmo, são:

$$B_{int} = \mu_0 n i$$

$$B_{ext} = 0$$

c) Uma bobina toroidal, constituída de N espiras, é percorrida por uma corrente i . As expressões para o Campo Magnético da bobina toroidal são:

$$B_{int} = \frac{\mu_0 N i}{2\pi R}$$

$$B_{ext} = 0$$

1. Descreva o vetor Campo Magnético (direção, intensidade e sentido) para cada um dos sistemas.
2. Mostre que as expressões dadas (para os campos não nulos, obviamente) satisfazem à lei de Ampère. Obviamente, você terá que escolher uma amperiana particular, pois para uma superfície arbitrária você terá muita dificuldade.
3. Mostre que as expressões dadas (para os campos não nulos, obviamente) satisfazem à lei de Gauss para o magnetismo. Obviamente, você terá que escolher uma gaussiana particular, pois para uma superfície arbitrária você terá muita dificuldade.

As Situações 1, 2 e 3, a princípio requerem Representação Simbólica e Cálculo de Campo Magnético. Focamo-nos em analisar como os estudantes executam estes cálculos para três sistemas de geometria diferente, a saber, um fio longo conduzindo corrente na direção paralela ao seu comprimento, um solenoide muito longo e uma bobina toroidal.

Uma complexa progressividade foi percebida na maneira pela qual os estudantes parecem trabalhar os Cálculos de Campos Elétricos ou Magnéticos. Na UEPS de Campo Elétrico os estudantes mudavam intermitentemente entre Modelos Mentais mais conceituais e operacionais.

Pode-se agora evidenciar uma potencial influência da possível Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Elétrico sendo transferida para o conceito de Campo Magnético, pois com a aparente consolidação da ideia de Simetria na distribuição da fonte pelo Espaço, os estudantes parecem começar a fazer referência a

esta ideia com maior precisão e frequência. Como consequência, temos que somente três dos alunos parecem usar Modelos Mentais do tipo M.C.B.1 num universo de 15 alunos resolvendo a tarefa.

Tabela 52: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quarta tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.C.B) e Modelos Mentais (M.C.B) para calcular Campos Magnéticos – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
N																	

Tarefa 5 – Corrente Elétrica

1. Explique por que a água ferve em uma garrafa térmica quando colocamos um "rabo quente" nesta.
2. Explique por que ao ligar uma lâmpada, temos a impressão de que a luz se propaga instantaneamente. Dado: a velocidade de deriva dos elétrons de condução é muito pequena.

A tarefa 5 retoma conteúdos da UEPS de Campo Elétrico, tornando mais evidente a descrição microscópica da Corrente Elétrica e usando o Campo Elétrico como causa do movimento ordenado de Cargas Elétricas. Em ambas as Situações requer-se a descrição da Interação entre um Campo Elétrico criado por uma "fonte de Energia Elétrica". Foi possível apresentar evidências de um domínio do conceito de Campo Elétrico por parte dos estudantes.

Podemos ver um progressivo entendimento dos Estudantes do Campo Elétrico como agente das Interações Eletromagnéticas. 12 dos 16 estudantes realizando a tarefa parecem usar uma possível Representação Interna do tipo I.E.5, dos quais o aluno C usa esta na forma de Esquema de Assimilação. O aluno N parece apresentar seu possível Esquema, mas também usa o possível Modelo Mental M.I.E.5. A tarefa teve resultado importante, pois os estudantes conseguem entender a Corrente Elétrica como estabelecida por um Campo Elétrico e já a associam ao Campo Magnético.

Tabela 53: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quinta tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.E) para descrever a interação Elétrica																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	1				1				1		1			1			
3																	
4																	
5	2				2				2		2			2			
6																	
N																	

Tarefa 6 – Força Magnética sobre Carga Elétrica em movimento

Apresentamos a seguir a tarefa 6 da UEPS de Campo Magnético do Estudo II.

1. Suponha que um elétron seja lançado no plano (x, y) , com velocidade de intensidade v_0 , em uma direção que forme um ângulo θ com o semi-eixo positivo de x . No instante $t = 0$, o elétron está localizado na posição $\vec{r}(0) = R \hat{k}$. Considere, ainda, que exista um Campo Magnético constante ao longo da direção y . Responda aos itens abaixo: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) Qual a direção, o sentido e intensidade, da força magnética exercida sobre o elétron? c) Certamente este elétron está acelerado se $\theta \neq \pi/2$ ou $\theta \neq -\pi/2$. Sabe-se, pela fórmula de Larmor para a eletrodinâmica, que carga acelerada emite radiação. No entanto, estamos estudando magnetostática, uma teoria que não lida com emissão de radiação ou ondas eletromagnéticas. Como você reconciliaria esta aparente contradição? d) Que trajetória é seguida pelo elétron? Obs: a realização de cálculos para este item é opcional. No entanto, deve ser justificada fisicamente. Obs: Para quem quiser executar o modelo matemático para a questão, as equações de movimento são dadas abaixo $\vec{r}(t) = R[\text{sen}(\omega t)\hat{i} + \text{cos}(\omega t)\hat{k}] + v_0 t \text{sen}\theta \hat{j}$. $v(t) = \omega R[\text{cos}(\omega t)\hat{i} - \text{sen}(\omega t)\hat{k}] + v_0 \text{sen}\theta \hat{j}$. As equações diferenciais são do tipo:

$$m\ddot{x} = -q\dot{z}B, m\ddot{y} = 0, m\ddot{z} = q\dot{x}B.$$

Lembro novamente. A questão pede a trajetória explicada fisicamente. A matematização é opcional.

A Situação requer a descrição de Interações Magnéticas entre Campos Magnéticos devidos a fontes omitidas e Correntes Elétricas ou Cargas Elétricas pontuais em movimento. Tal Situação refere-se a Interações entre Campos Magnéticos e uma Carga Elétrica pontual em movimento.

Nesta Situação os estudantes possivelmente constroem um Modelo Mental usando o Campo Magnético, no entanto alguns deles não explicitam a ação deste Campo sobre a Carga Elétrica em movimento. Sete alunos possivelmente usam o Modelo Mental M.I.B.5, enquanto sete parecem usar o Esquema S.I.B.2. Os alunos apresentam compreensão do uso do Campo Magnético, algo com o qual os alunos, em geral, tem dificuldade segundo Guisasola et al. (1998, 2004).

Tabela 54: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sexta tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever a interação Magnética – I																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
N					-					-					-		

Tarefa 7 – Força Magnética sobre fio de Corrente Elétrica

1. Suponha que você coloque um fio de formato arbitrário em um Campo Magnético $\vec{B}(\vec{r})$. Discuta fisicamente, com base na expressão $\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$, o mecanismo necessário para conhecermos a força resultante neste fio.

2. Um segmento de fio reto de cobre carrega uma corrente i , cuja densidade de massa é dada por λ . a) Como você pode fazê-lo flutuar usando um Campo Magnético? b) Apresente um modelo esquemático da situação. c) Apresente um modelo matemático da mesma.
3. Explique por que a passagem de Corrente Elétrica em um fio próximo a uma bússola faz alterar a agulha desta.

As três Situações requerem a descrição de Interações Magnéticas entre Campos Magnéticos devidos a fontes omitidas e Correntes Elétricas ou Cargas Elétricas pontuais em movimento. As Situações 1 e 2 referem-se a Interações entre Campos Magnéticos e Correntes Elétricas. A Situação 3 refere-se a Interações entre o Campo Magnético criado por uma Corrente Elétrica e um ímã. Foi possível notar, nesta tarefa, a integração entre ímãs e Correntes Elétricas no que tange à interação com e à produção de Campo Magnético no Espaço. Guisasola et al. (2004) já haviam apontado esta dificuldade por parte dos estudantes, no entanto, conseguimos avançar com respeito a ela.

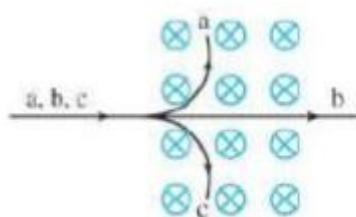
Sete alunos nesta tarefa possivelmente usam o Modelo Mental M.I.B.5, enquanto somente dois parecem usar o Esquema S.I.B.2. Cinco alunos apresentam possível variação entre o Modelo Mental M.I.B.5 e o Esquema S.I.B.2. A Situação na qual ocorre a explicação tomando o Campo Magnético como agente da Interação é a Situação 3, na qual há uma bússola interagindo com uma Corrente Elétrica. Este ponto é uma possível evidência de subsunção dos ímãs e Correntes Elétricas a um denominador comum e, portanto, um indicador da compreensão de um importante fator: a natureza do Campo Magnético estar associada ao movimento de Cargas Elétricas.

Tabela 55: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na sétima tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

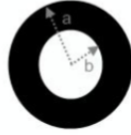
Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) descrever Interações Magnéticas – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	12						12								12	12	12
3																	
4																	
5	3						3								3	3	3
6																	
N																	

Tarefa 8 – Comparação entre os Campos Elétrico e Magnético

1. Três partículas a , b e c entram em um Campo Magnético como mostrado na figura abaixo. O que você pode dizer sobre a carga de cada uma delas. O que aconteceria se, no lugar de um Campo Magnético, tivéssemos um Campo Elétrico?



2. A figura abaixo mostra a seção transversal de um condutor cilíndrico vazado de raios a e b , conduzindo uma Corrente Elétrica i uniformemente distribuída. a) Que espira amperiana você traçaria para o problema? b) Qual a expressão descrevendo o Campo Magnético no interior do condutor? Sugestão: você deve associar uma densidade de corrente ao condutor (este sistema é diferente do da bobina toroidal! Esta é uma vista axial do sistema), para, então, contar a corrente englobada pela Amperiana. Pense no sentido da corrente para achar a melhor Amperiana $i = \int \vec{j} \cdot \hat{n} dS$.



As duas Situações pertencem a distintas classes. A primeira Situação pertence à classe I e apresenta somente a Carga Elétrica de prova em movimento omitindo a fonte do Campo Magnético, logo foca na Interação entre Campo Magnético e Carga Elétrica, mas refere-se ao valor de Carga Elétrica. A segunda Situação, enquadrada na classe S, requer o cálculo do Campo Magnético devido a uma distribuição de Correntes Elétricas conhecidas. A tarefa foi resolvida individualmente pelos alunos.

Os estudantes não encontraram muitas dificuldades na resolução da tarefa, no entanto, quando sozinhos, logo sem contar com as discussões com os colegas, tentavam chegar mais rapidamente a uma resposta satisfatória ao problema. Os alunos tinham acesso à ajuda do professor nesta tarefa, mas acabavam tendo menos tempo para perguntas.

Nove estudantes realizaram Cálculos de Campos Magnéticos de forma mais operacional que conceitual, enquanto sete realizam estes cálculos de forma mais conceitual que operacional. Quanto à descrição de Interações Magnéticas, 15 alunos possivelmente usaram o Esquema S.I.B.2 e somente fazia alguma menção à ação do Campo Magnético sobre as Cargas Elétricas de prova.

Tabela 56: Possivelmente Representações internas usadas pelos estudantes na oitava tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever interações Magnéticas																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
N						-											
Possíveis Esquemas (S.C.B) e Modelos Mentais (M.C.B) para calcular o Campo Magnético																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
N						-											

Tarefa 9 – Diamagnéticos x Paramagnéticos

1. Construa um mapa conceitual a partir da palavra eletromagnetismo no qual você possa comparar os Campos Elétrico e Magnético.

A análise dos mapas constituiu ponto fundamental para o esclarecimento de aspectos concernentes à relação estabelecida pelos alunos entre as Fontes de Campo e o próprio Campo e está, por isto, associada à Representação Simbólica do Campo. Outra relação importante foi estabelecida com respeito ao papel do Campo na interação, isto é, associamos à Descrição da Interação Magnética.

Desta forma, usamos o mapa conceitual como mais evidências sobre a conceitualização dos estudantes, de forma que suas informações, já diluídas nas informações sobre as Representações Internas adotadas pelos estudantes, seriam redundantes aqui.

Tarefa 10 – Materiais Magnéticos

1. Um Campo Magnético de 0,50T é aplicado a um gás cujos átomos têm momento de dipolo magnético intrínseco de $1,2 \times 10^{-23} \text{J/T}$. Sabe-se que o torque sobre os átomos deste material é dado por $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$. Percebe-se que τ independe da velocidade dos objetos e, assim, podemos escrever, para este caso, em particular, uma energia de interação entre o Campo Magnético e os átomos como $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$. Cada um destes átomos com momento magnético está livre para se mover e tem uma velocidade \vec{v} . Pelo conhecido teorema de equipartição de energia, a energia cinética média dos componentes do gás supracitado, tem uma contribuição de 1,2kT para cada grau de liberdade do movimento. Pede-se que/pergunta-se: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) O material em questão é diamagnético ou paramagnético? Justifique. c) Qual a temperatura para a qual a energia cinética dos átomos será igual à energia necessária para inverter de 180° estes dipolos neste Campo Magnético. d) Que influências têm o Campo e a Temperatura neste modelo? Você saberia expressar o domínio de validade do mesmo?

A Situação 1 envolve a interação de um material Paramagnético com uma fonte de Campo Magnético e nela não há menção ao material ser Paramagnético, mas há menção ao material possuir Momento de Dipolo Magnético, desta forma, requer-se a referência ao conceito de Momento de Dipolo Magnético e, ainda, a relação deste com o conceito de paramagnetismo.

Esta tarefa foi uma tarefa de livre escolha que propusemos aos alunos e eles entregariam caso desejassem. Os estudantes a fizeram em casa, pois a aula durou um pouco mais que o normal. Na análise percebemos a forte influência do Esquema S.I.B.2 usado por eles para discutir a Força Magnética exercida sobre paramagnéticos. O Campo Magnético não é evidenciado como agente, mas o Campo Magnético é apresentado na discussão. Um fator fundamental para este aparente retrocesso é a ausência da requisição ou indicação do Campo Magnético como agente da Interação.

Embora os estudantes tenham usado Esquemas relativos ao seu conhecimento prévio, percebe-se uma reinterpretação do Campo Magnético, pois mesmo os gerados por ímãs, agora tem sua natureza associada ao movimento de Cargas Elétricas. É possível ainda terem usado conhecimentos (em ação) implícitos ressaltando o papel do Campo Magnético na Interação, mas em termos concretos, não temos maiores

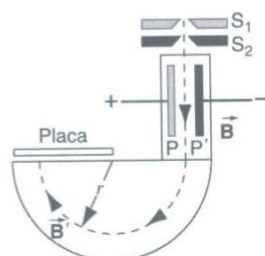
evidências para apontar ter sido uso aparente do Esquema S.I.B.2 quando na verdade foi usado implicitamente um Esquema S.I.B.5 com um conhecimento implícito.

Tabela 57: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na nona tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
N	-													-			-

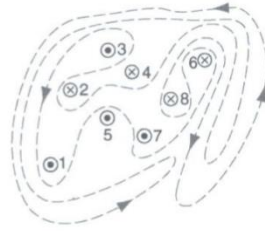
Avaliação Somativa

1. O espectrômetro de massa de Bainbridge, mostrado na figura abaixo, separa íons que têm a mesma velocidade. Os íons, após entrarem através das fendas S_1 e S_2 , passam através de um seletor de velocidade composto de um Campo Elétrico produzido pelas placas carregadas P e P_0 e um Campo Magnético \vec{B} perpendicular ao Campo Elétrico e à trajetória dos íons. Estes íons que passam sem ser desviados pelos Campos cruzados \vec{E} e \vec{B} entram em uma região onde um segundo Campo Magnético \vec{B}_0 existe e são colocados em trajetórias circulares. Uma chapa fotográfica registra a sua chegada. Qual a relação carga/massa destes íons?



2. Suponha que uma pequena espira de corrente seja colocada em um solenóide muito comprido. O seu momento de dipolo magnético forma um ângulo θ em relação à direção do Campo Magnético. a) Descreva qualitativamente e quantitativamente (por meio de algumas poucas expressões - uma é suficiente) o que ocorre com esta espira de corrente. b) Que relação podemos fazer com o estudo dos materiais paramagnéticos ($M = \frac{c_0 B_0}{T}$)? c) Que relação podemos fazer com os entes constituintes da matéria?

3. Oito fios cortam a página perpendicularmente nos pontos mostrados na figura abaixo. Um fio marcado com o inteiro k ($k=1,2,3,4,\dots,8$) conduz a corrente ki_0 . Para aqueles com k ímpar, a corrente está para fora da página; para aqueles com k par ela está entrando na página. a) Quais correntes contribuem para o Campo Magnético em um ponto dentro da espira amperiana? b) Quais correntes contribuem para a circulação do Campo Magnético ao longo da curva? Justifique suas respostas.



4. A densidade de corrente dentro de um fio cilíndrico, longo e sólido de raio a está na direção do eixo e varia linearmente com a distância radial r ao eixo de acordo com $j = j_0 r/a$. Qual o Campo Magnético gerado por este fio a) Para pontos no exterior do fio? b) Para pontos no interior do fio?
5. Discorra sobre a lei de Ampère, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de Gauss do Magnetismo (e esta ao conceito de dipolo magnético), bem como à lei de Biot-Savart.
6. Construa um mapa conceitual tendo o conceito de Campo Magnético como o conceito principal. Capriche no mapa, serão verificadas a quantidade de conceitos e a qualidade das ligações entre eles.

Na avaliação somativa, temos as duas primeiras questões classificadas em I, as questões 3 e 5 classificadas em S, e a questão 4 classificada em C. Distinguimos e justificamos abaixo a distinção entre elas, bem como apresentamos elementos relevantes tanto para a discriminação inter-classe e intra-classe.

O problema 1 apresenta Campos Magnéticos sem explicitar suas fontes e coloca Campos Elétricos explicitando as fontes através da apresentação de um capacitor de placas paralelas. As Cargas Elétricas de prova em movimento são colocadas como um feixe. Em função de apresentar uma Situação envolvendo uma Interação entre Campos Elétricos ou Magnéticos e Cargas Elétricas em movimento.

O problema 2 apresenta duas fontes de Campo Magnético, uma espira de Corrente Elétrica e um solenoide muito comprido. É possível discutir-se, também, esta Situação do ponto de vista da Indução Eletromagnética, no entanto, visamos a descrição do Torque exercido pelo Campo Magnético do Solenóide sobre a Espira de Corrente Elétrica. A razão para sua classificação em I é semelhante à estabelecida para a questão acima.

O problema 3 refere-se a uma distribuição de Correntes Elétricas dadas e requer a distinção entre os conceitos de Circulação e Campo Magnético. Já a Situação 5 é amplamente geral e possibilita o uso, em conjunto com a lei de Ampère, do conceito de Fluxo Magnético. O problema 4 refere-se a uma distribuição de Correntes Elétricas variável ao longo do volume da distribuição.

Quanto às Situações requerendo a descrição da Interação Magnética, sete alunos possivelmente usam o Modelo Mental M.I.B.5. Dois estudantes parecem usar o Esquema S.I.B.2. Alguns estudantes apresentam uma conduta mais estável, mas preferimos ser prudentes e chama-lo de Modelo Mental em rota de estabilização.

Dos 17 alunos, 14 estudantes possivelmente usaram Modelos Mentais M.S.B.3, que relacionam o Campo Magnético à fonte, distinguindo o conceito de Circulação do

de Campo Magnético. É possível a escolha por este Modelo Mental, pois além de sentirem seguros no uso da lei de Ampère para entendimento conceitual do Campo Magnético, a questão induz o aluno a relacionar os conceitos de Campo Magnético e de Circulação do Campo Magnético.

Quanto ao cálculo de Campos Magnéticos, os alunos parecem apresentar argumentação mais conceitual na obtenção de uma expressão para o Campo Magnético devido a uma distribuição variável ao longo do volume de um cilindro conduzindo Correntes Elétricas. Neste ponto e na Representação Simbólica do conceito de Campo Magnético, a possível Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Elétrico e as sucessivas comparações estabelecidas com ele ao longo do curso parecem ter contribuído para o possível desenvolvimento de Modelos Mentais e possível estabilização do mesmo.

Tabela 58: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação somativa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) descrever Interações Magnéticas – I, II																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1																		
2		1				1		1	1				2		2	2	2	
3																		
4																		
5		2			2	2		2			1		1	2#J	1	1	1	
6											2							
N					1				2									
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para Representar Simbolicamente o Campo Magnético – III																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																	2	
7																		
N																		
Modelos Mentais para calcular Campos Magnéticos – IV																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1																		
2																		
N																		

UEPS de Campo Eletromagnético e Indução Eletromagnética

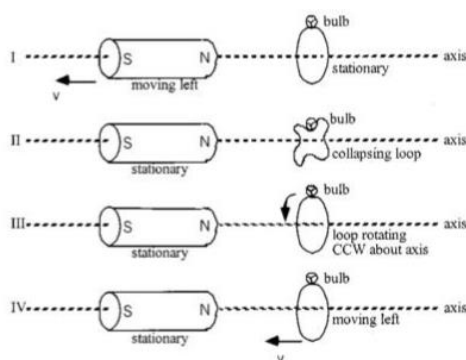
Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Eletromagnético e Indução Eletromagnética no segundo estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho mais conceitual que formal.

Discutimos, a seguir, as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Eletromagnético (dinâmico) e Indução Eletromagnética no segundo estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes concepções. Buscamos levar em conta o conhecimento prévio adquirido pelos estudantes nas UEPS de Campo Elétrico e de Campo Magnético.

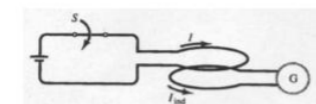
Tarefa 1 – Avaliação de conhecimento prévio em Eletrodinâmica

1. Construa um mapa conceitual cujo conceito fundamental seja o de Indução Eletromagnética. Coloque o que conhece no mapa.

2. As cinco figuras abaixo envolvem um ímã cilíndrico e uma pequena lâmpada conectadas aos terminais de uma espira de cobre. O plano da espira é perpendicular ao eixo de referência. Os estados de movimento do ímã e da espira estão indicados no diagrama. A velocidade é representada por v . Em qual destas figuras a lâmpada acenderá? a) I, III, IV b) I, IV c) I,II,IV d) IV e) Nenhuma destas.



3. Quando o circuito de cima, na figura abaixo, é aberto, detecta-se experimentalmente que o amperímetro G no circuito de baixo registra uma corrente. Explique em detalhes por que uma corrente aparece no circuito de baixo.



4. Um solenoide muito comprido conduz uma corrente $i(t) = i_0 \text{sen}(\omega t + \varphi)$, como varia o Campo Magnético deste? O que podemos falar, qualitativamente, do Campo Elétrico no espaço?

As Situações 2 e 3 estão enquadradas na Classe de Situações I.J. A Situação 2 envolve o movimento relativo entre ímãs e espiras - Objetos interagentes explicitados e fonte explicitada - e uma consequente FEM induzida na espira. A natureza da FEM, isto é, sua associação à ação de um Campo Elétrico ou de um Campo Magnético, é dependente do referencial adotado. A Situação 3 envolve a Interação entre dois Circuitos de Corrente, tendo um deles condução de Corrente Elétrica variável. A natureza da Interação, isto é, se realizada pelo Campo Elétrico ou pelo Campo Magnético, é fundamental na distinção.

A Situação 4 apresenta uma fonte de Campo Magnético, a saber, um solenoide conduzindo Corrente Elétrica variável. Requer-se a Representação Simbólica do Campo Elétrico criado no Espaço simultaneamente à variação temporal do Campo Magnético

devido à variação da Corrente Elétrica do Circuito. Quanto ao mapa conceitual, já discutimos diversas vezes o fato de não se enquadrarem unicamente em uma das classes de Situações.

Os alunos parecem não fazer menção ao Campo Elétrico no espaço. Eles afirmam, em geral, estar o Campo Magnético variando em função da variação da Corrente Elétrica. Três alunos possivelmente apresentam Modelos Mentais diferentes. Um aluno parece apresentar uma forma para o Campo Magnético no espaço calculando a partir da lei de Ampère. Dois possivelmente relacionam o Campo Magnético variável a um Campo Elétrico induzido no Espaço e um parece confundir Fluxo e Circulação.

Para descrever a Interação Eletromagnética, dois alunos possivelmente usam um Esquema que relaciona a variação do Campo Magnético a um Campo Elétrico que exerce Forças Elétricas sobre Cargas Elétricas. Um aluno parece tratar o Campo Eletromagnético como um fluido e usar causalidade simples, isto é, ele considera que o Campo Magnético se propaga no Espaço e medeia a aplicação de Força sobre o Fio de Corrente distante da fonte. Três alunos parecem considerar que o Campo Magnético variável cria Campo Elétrico que transporta a Corrente Elétrica de um ponto a outro do espaço. Dois alunos possivelmente reduzem o problema à ação de um Campo Elétrico e dois reduzem o problema à ação de um Campo Magnético. Estas tentativas são, na maioria das vezes, frustradas.

Algumas das formas de raciocínio são mapeadas na literatura como, por exemplo, a do Campo Magnético levando corrente de um ponto a outro do Espaço (Thong e Gunstone, 2008). Podemos perceber um conhecimento prévio em partes baseado nos aspectos desenvolvidos nas UEPS e parcialmente (de forma majoritária) baseado em noções exteriores às mesmas como, por exemplo, a ideia de o Campo Eletromagnético transportar corrente de condução de um ponto ao outro no espaço.

Tabela 59: Possíveis Representações Internas adotadas pelos estudantes durante a atividade inicial da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar simbolicamente o Campo Eletromagnético no espaço – IV																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																#B	
4																	
5														24#B			
N																	
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a interação Eletromagnética – II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2															4		
3										3							
4					3%							3%					3%
5									3#B	3#E		3#B				3#E	
6				2*3								2*			2	4*	

N																			
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tarefa 2 – Lei de Faraday-Lenz: Campos Elétricos induzidos por Campos Magnéticos variáveis

-
1. É possível apresentar um exemplo de situação na qual seja possível afirmar, seguramente, que: você tenha um Campo Elétrico induzido, devido a variação do Campo Magnético?

 2. Suponha que você tenha três situações distintas. A figura abaixo mostra um Campo Magnético uniforme \vec{B} limitado a um volume cilíndrico de raio R . \vec{B} está decrescendo em intensidade a uma taxa constante. Qual a aceleração instantânea (direção, sentido e módulo) experimentada por um elétron posicionado em r_1 , em r_2 e no centro da circunferência?

 3. Um solenoide de comprimento L e raio R (sendo $R \ll L$), com n espiras por unidade de comprimento, conduz uma corrente $i(t) = i_0 \sin(\omega t + \varphi)$. O que se pode afirmar (quantitativamente e qualitativamente) sobre o Campo Magnético e sobre o Campo Elétrico induzido no mesmo?
-

As Situações 1 e 3 estão associadas à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. Na Situação 1, não se menciona a fonte de Campo Magnético variável para criação do Campo Elétrica, algo feito na Situação 3, na qual há a menção ao solenoide conduzindo Corrente Elétrica alternada. De toda forma, a Situação requer a descrição de Campos Elétricos e Magnéticos no Espaço. Repetimos a descrição aqui para evitar a volta do leitor a páginas anteriores.

A Situação 2 é dupla. É preciso descrever a Interação Eletromagnética entre um Objeto Eletricamente Carregado e um Campo Eletromagnético criado por uma fonte omitida no Problema. Os estudantes devem calcular explicitamente o Campo Elétrico induzido no Espaço pelo Campo Magnético variável.

Como o conhecimento dos alunos já envolve Campos Elétricos e Magnéticos estáticos torna-se muito mais fácil para eles o começo do estabelecimento de relações entre eles. Alguns alunos cometem, obviamente, erros conceituais no processo inicial de conceitualização.

Dos 16 alunos trabalhando na tarefa, sete possivelmente dominam a Situação 2, da interação entre um Campo Magnético variável e um Elétron. Seis alunos parecem dominar a Situação cometendo alguns pequenos erros conceituais como, por exemplo, desconsiderando o sinal da Carga Elétrica negativa. Dois possivelmente reduzem a Interação Eletromagnética à Interação entre uma Carga Elétrica e um Campo Magnético. Estes mesmos alunos não usam a lei de Faraday, mas a lei de Ampère no cálculo do Campo. Os alunos parecem conseguir, em sua maioria, êxito no cálculo do Campo Elétrico.

Quanto ao Cálculo de Campos Magnéticos, os alunos possivelmente prosseguem de forma adequada e conceitual. Alguns possivelmente apresentam, no entanto, redução funcional afirmando que fora da região de Campo Magnético variável não há Campo

Elétrico. Um aluno parece não completar a resolução, enquanto outros dois cometem redução funcional da lei de Faraday à lei de Ampère.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético, 15 alunos possivelmente relacionam o Campo Elétrico a um Campo Magnético variável o que, para nós, é importantíssimo neste ponto. A possível Representação parece tornar-se mais abstrata, o que pode estar associado ao domínio de conceitos de forma mais ampla e ao viés representacional do Eletromagnetismo neste nível de Ensino.

Tabela 60: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a segunda tarefa da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar simbolicamente o Campo Eletromagnético – I, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3	1	13	13	13	13		13	1,3	1,3	1,3	1,3	13	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
4																	
5																	
N	3					-											
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a Interação Eletromagnética – II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3																	
4																	
5	2	2\$	2	2\$			2#B	2\$	2\$	2	2	2#B	2\$	2\$	2	2	2
6																	
N						-											
Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para calcular o Campo Eletromagnético – II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2			*				#B				*	#B			?		
N						-											

Tarefa 3 – Lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas por variação de Fluxo Magnético

Pelo menos três quintos da turma não fez esta tarefa. Alegaram não ter ido à aula por ter uma prova, segundo eles, difícilíssima da disciplina de Equações Diferenciais. Desta forma, desconsideramos esta atividade. Possivelmente, percebendo seu resultado satisfatório em Física III, os alunos dedicaram-se a estudar algo mais difícil no entender deles.

Tarefa 4 – Geradores e Motores

1. Descreva uma forma de transformar a energia química da gordura em energia elétrica.
2. Nos geradores em que o rotor é um eletroímã localizado internamente a um estator constituído por bobinas, para manter o movimento de rotação é necessário um torque externo, além daquele realizado

contra as Forças de atrito. Discuta a necessidade desse torque externo na manutenção do movimento do rotor, partindo do princípio de que na ausência de torques externos a quantidade de movimento angular (momento angular) se mantém constante.

3. Descreva como podemos construir um ventilador usando um motor. Descreva o processo, levando em conta a FEM estabelecida nele e a FCEM devida às correntes induzidas associadas à variação do Fluxo do Campo Magnético.

As três Situações são referentes à classe de Situações I.J. As três Situações são, no entanto, distintas em *parâmetros* e *elementos*. Na Situação 1 apresentamos um problema bastante geral, de transformar a Energia Química da gordura em Energia Elétrica. Não mencionamos como fazê-lo, só pedimos aos alunos a idealização de um mecanismo para realizar a transformação.

Já na Situação 2, são mencionados o eletroímã como fonte de Campo Magnético estacionário, a bobina, e pergunta-se sobre o balanço dos Torques exercidos sobre a bobina no problema. A Situação não envolve diretamente a Corrente Elétrica induzida, mas pressupõe o seu uso no processo de conceitualização.

Na Situação 3, requer-se a descrição do funcionamento de um motor de ventilador. Não são apresentados diretamente os componentes deste motor, portanto, para o domínio da Situação é fundamental tanto o estabelecimento da referência a objetos interagentes como à lei de Interação entre eles.

Através da análise das Operações de Pensamento dos estudantes nesta tarefa, pudemos evidenciar a manipulação de diversas Representações Internas por parte dos estudantes. Sete estudantes possivelmente descrevem as Interações Eletromagnéticas ocorrentes em um gerador através da descrição macroscópica (M.I.J.6), isto é, a que envolve variação de Fluxo. Quatro alunos parecem apresentar os Modelos Mentais M.I.J.6 e M.I.J.5 na descrição da Interação Eletromagnética. Em Situações nas quais \vec{B} é constante, os estudantes usam a variação temporal do Fluxo e daí inferem a Corrente Elétrica. Para Situações nas quais o Campo Magnético muda, os estudantes falam de Campo Elétrico induzido.

A segunda questão exige um entendimento mais detalhado do Torque gerado pelo Campo Magnético sobre a Espira de Corrente Elétrica com Fluxo Magnético variável e, portanto, conduzindo corrente induzida. Ocorrem respostas tomadas a partir de possíveis Operações de Pensamento derivadas de possíveis Modelos Mentais M.I.J.1, que não abordam sequer o Campo Magnético na região em questão. Para os cinco alunos, isto se trata de um retrocesso.

Tabela 61: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a terceira atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo I)

Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever Interações Eletromagnéticas – I, II, III																		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
1					1&2 #B			2	2				2	2				
2																		

3																	
4																	
5			1				1					1				1	
6	12	2	23	12		12	2	1	1	12		2	1	1	12	2&&	21
N		1									-						

Tarefa 5 – Corrente de Deslocamento

-
- O que você entende por corrente de deslocamento?
 - Como a Lei de Faraday-Lenz $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$ pode ser comparada à de Ampère-Maxwell $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot \hat{n} dS$?
 - Imagine um capacitor de placas paralelas cuja carga em cada uma das placas varia de forma senoidal com o tempo. Qual seria a forma do Campo Magnético gerado no interior do mesmo?
-

As duas primeiras Situações envolvem Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. A primeira requer a discussão acerca do Significado do conceito de Corrente Elétrica de Deslocamento. A segunda requer a comparação entre as leis de Ampère-Maxwell à de Faraday-Lenz através da ideia genérica de Indução. Em nenhuma delas, as fontes de Campo Elétrico ou Magnético são apresentadas.

A terceira questão envolve o cálculo de Campos Magnéticos a partir de Campos Elétricos variáveis e nela há algo interessante: nenhum dos estudantes tinha conhecimento muito claro sobre a ideia de Corrente Elétrica de deslocamento (a tarefa foi realizada, obviamente, antes da aula). Sete alunos apresentaram desta forma, Modelos Mentais com inversão de causalidade - tratando o Campo Magnético como causa da Corrente Elétrica de deslocamento. Seis alunos afirmaram não saber do que se tratava a Corrente de Deslocamento.

Os 13 alunos mencionados conseguem estabelecer comparação entre as Leis de Ampère-Maxwell e de Faraday-Lenz através da ideia de Indução Eletromagnética. Em contraste, temos um aluno que possivelmente não estabelece a relação e que parece usar um Modelo Mental M.S.J.1 para discutir a corrente de deslocamento. Consideramos um ponto positivo para evidenciar possível Aprendizagem Significativa da lei de Faraday-Lenz, pois isto é um indício da transferência do conceito de Indução Eletromagnética.

Tabela 62: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a quarta atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – I, II, III																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1							1										
2																	
3	2,3	1+23		1+23		1+23	3	1+23	1+23	23		1+3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
4																	
5																	
N	1		-		-					1	-		1	1	1	1	1

Tarefa 6 – Lei de Ampère-Maxwell

-
1. Dado um capacitor de Capacitância C acoplado, em série, a um indutor de indutância L , temos um circuito denominado usualmente de circuito oscilante. Nos terminais do capacitor, temos uma tensão $\Delta V = q/C$ e nos terminais do indutor uma tensão $\Delta V = L \frac{di}{dt}$. Pela lei de Kirchoff, temos uma equação $\frac{q}{C} + L \frac{di}{dt} = 0$ que expressa indiretamente o balanço de energia no Campo Magnético no interior do indutor. Usando a definição de Corrente Elétrica, podemos chegar a uma equação diferencial que retorna a carga no circuito (que coincide com a carga, em magnitude, nas placas do capacitor). Resolva esta equação diferencial e interprete o resultado levando em conta o princípio da conservação da carga.

 2. Esta carga variável no tempo, no interior do capacitor, cria no espaço um Campo Elétrico que varia no tempo. Tal Campo Elétrico induz no espaço um Campo Magnético. A partir da lei de Ampère-Maxwell determine o Campo Magnético induzido no espaço para pontos $r \leq R$ (raio das placas do capacitor) e para pontos $r \geq R$ (raios das placas do capacitor)

 3. Explique por que podemos comparar este sistema com um fio conduzindo uma corrente variável. Responda a pergunta: "os efeitos físicos da corrente de deslocamento são os mesmos que os de uma corrente de condução"? Que efeitos são estes?
-

A Situação 2 requer o cálculo do Campo Magnético no Espaço induzido por um Campo Elétrico variável. Foi possível comparar os Modelos Mentais usados pelos estudantes para o cálculo do Campo Magnético. Para resolvê-la, era fundamental resolver a EDO na primeira questão, algo que não analisamos na pesquisa, mas avaliamos na disciplina.

Não fizemos análise da Situação 3. Ela nos serviu mais como indicativo do entendimento dos estudantes sobre a ideia mais geral sobre Corrente Elétrica como uma grandeza não necessariamente circuital e associada à criação de Campo Magnético no espaço.

Os resultados da tarefa 6 corroboram nossa hipótese da evolução gradual de Modelos Mentais para cálculos de Campos Eletromagnéticos desde Representações Internas mais operacionais a Representações Internas mais conceituais. Os alunos parecem apresentar, em sua maioria (12 de 13) os Modelos M.C.J.2, no qual podem calcular o Campo Magnético a partir do Campo Elétrico variável. É um ponto positivo para as UEPS apresentadas.

Tabela 63: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a quinta atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo II)

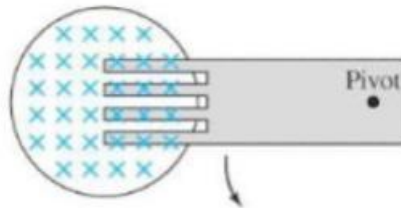
Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para calcular o Campo Eletromagnético – II																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1							1#B										
2																	
N			-								-	-					

Avaliação Somativa

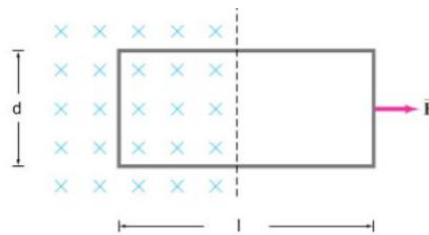
1. Suponha duas cargas pontuais q e $-q$ dispostas sobre o eixo x em $x = -a$ e $x = a$, com uma corrente $i = -dq/dt$ ao longo da linha entre elas. a) Que forma assume a expressão para a intensidade do Campo Magnético (requere-se: use a lei de Ampère-Maxwell)? Justifique conceitualmente (não me pergunte a resposta! Não direi, pense!) em um ponto P sobre o eixo y , a uma distância R desta linha? b) Qual o valor para a corrente total (de condução e de deslocamento).

2. Explique, detalhadamente, o que você entende pelo conceito de Campo Eletromagnético. Como você relacionaria este conceito ao de Campo, ao de Força Eletromagnética e ao de Indução Eletromagnética?

3. A barra de metal com ranhuras na figura abaixo cai muito mais rápido através de um Campo Magnético do que uma barra sólida. Explique por que.



4. Parte de uma bobina retangular simples com dimensões mostradas na figura abaixo é situada em uma região de Campo Magnético de intensidade B . A resistência total da bobina é r . Calcule a Força necessária para retirar a bobina do Campo (para a direita) a uma velocidade constante v . Desconsidere a gravidade.



5. Se o sol desaparecesse ou de alguma forma mudasse rapidamente, explique por que demoraria para percebermos esta variação somente oito minutos depois. Quer dizer que agora estamos vendo luz do passado?

6. Construa um Mapa conceitual a partir do conceito de Campo Eletromagnético

A Situação 1 requer o cálculo do Campo Magnético no Espaço criado por uma Corrente Elétrica e por um Campo Elétrico variável no tempo. A Situação apresenta a Corrente Elétrica como fonte do Campo Magnético, mas não chama a atenção para o fato de haver um Campo Elétrico variável. Este aspecto é importante para identificar espontaneidade no uso da ideia de Indução Eletromagnética.

As Situações 3 e 4 podem ser enquadradas na classe de Situações de descrição de Interações Eletromagnéticas. A Situação 3 envolve o movimento é sob ação da Força Gravitacional na Situação 3, enquanto a Situação 4 é exigido o movimento com velocidade constante. Outra diferença diz respeito às fontes. Nas Situações 3 e 5, as fontes são Campos Magnéticos uniformes devido a fontes ocultas.

As Situações 2 e 5 envolvem a Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. Na Situação 5 o Sol é a fonte do Campo Eletromagnético e há a

relação da geração de um sinal eletromagnético com o atraso ocorrido na sua propagação a velocidade finita. A questão 2 é aberta e deixa o estudante livre para apresentar seu entendimento sobre o Campo Eletromagnético.

Na avaliação somativa, os alunos apresentam, em sua maioria, domínio das explicações macroscópicas sobre Corrente Elétrica induzida. Isto fica claro quando nove alunos dos dezessete parecem usar o Modelo Mental M.I.J.6. Destes, alguns indicam possível apresentação do viés de redução funcional ou pequenos deslizes conceituais, principalmente na questão 3. Um destes alunos parece cometer uma confusão conceitual de associar um Campo Elétrico à variação do Fluxo Magnético quando \vec{B} é estacionário. Na quarta questão um aluno possivelmente associa à área da espira o único fator relevante para o cálculo da Força Magnética sobre ela.

Três alunos possivelmente usam ou Esquemas ou Modelos Mentais de tipo 2 e 5. Na quarta questão, é possível os alunos usarem a ideia do Campo Eletromagnético como instrumento de cálculo, levando em conta as suas características e não estabelecendo relação explícita com a ideia do Campo como agente da Força. Um único aluno parece usar uma Representação Interna baseada na ideia de Campo Eletromagnético como fluido. Algumas vezes é inevitável possivelmente trazerem de volta algumas Operações de Pensamento com Representações Internas antigas.

16 alunos parecem conseguir, no entanto, calcular o Campo Eletromagnético conceitualmente. É importante ressaltar a evolução das possíveis Representações Internas dos estudantes. As possíveis Operações de Pensamento realizadas parecem ficar, portanto, mais complexas.

Dos 17 alunos, 16 também parecem estabelecer relações de Representação Simbólica do Campo Eletromagnético através da referência às fontes. É possível trazer, ao menos, três possibilidades para tal:

- Automatização de conduta na construção das possíveis Operações de Pensamento: para representar simbolicamente o Campo Eletromagnético, os alunos possivelmente começam a fazer referência às fontes, aos pontos e às Equações de Campo;
- Avanço na conceitualização abstrata: os alunos parecem começar a depender menos de geometria e a confiar mais no aspecto relacional do Campo Eletromagnético, por terem dominado Situações nas quais seria fundamental este tipo de conceitualização;
- O abandono de referências estritamente geométricas ao longo das UEPS: ao fazermos cada vez menos referência a aspectos meramente geométricos dos Campos Eletromagnéticos e colocando as fontes como elementos fundamentais para identificação de características do Campo Eletromagnético, os alunos parecem trilhar o caminho da conceitualização através deste viés.

Tabela 64: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a avaliação somativa da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para calcular o Campo Eletromagnético no espaço – I																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2			\$								*	*					
N																	
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a interação Eletromagnética – III, IV																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	4&				4					4	3&	3&			4		43*
3													3				
4																	
5					3#B					3#B						3&	
6		34	34	34		3&4	34%	34	34			4	4	3\$4		4	
N	3										4					3	
Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – II, V																	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2																	
3	2,5	2,5	5	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
4																	
5																	
N			2														

5.4. Terceiro estudo

No terceiro estudo, implementamos quatro UEPS, uma para discutir o conceito de Campo de maneira geral, uma réplica do estudo de Pantoja e Moreira (2015), visando a aplicação em um contexto bastante diferente daquele do segundo estudo, uma para discutir o conceito de Campo Elétrico (estático), uma para discutir o conceito de Campo Magnético (estático) e outra para discutir os conceitos de Campo Eletromagnética (dinâmico) e de Indução Eletromagnética. Discutimos, em primeiro lugar, os Esquemas e Modelos Mentais adotados pelos estudantes ao se confrontarem com as situações apresentadas a eles.

Neste estudo, os alunos resolveram tarefas em grupo discutindo as soluções para os problemas e entregando uma folha de resolução por grupo. Colocamos convenientemente as representações internas de cada um na tabela (muitas vezes correspondendo à representação coletiva levantada pelo grupo), pois assim, levamos em conta a troca, algumas vezes constante, dos componentes de cada grupo.

O aluno H chegou de um intercâmbio somente a partir da segunda unidade. Por ser um aluno acima da média nesta turma, consideramo-nos no estudo. Como era bastante dedicado e assíduo, decidimos explorar o desenvolvimento do aluno na UEPS.

O estudo reuniu 11 alunos cursando uma disciplina de Física III da Universidade Federal do Oeste do Pará no segundo semestre do ano de 2013. Eram alunos de um curso de Engenharia Física de uma turma cuja motivação encontrava-se abalada por diversos motivos. No apêndice C, discutimos, a partir de uma entrevista realizada com alguns alunos desta turma, como isto pode ter influenciado na UEPS e como a implementação da UEPS pode ter influenciado nesta condição dos alunos.

UEPS de Campo

A seguir discutimos as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo no terceiro estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado determinadas concepções.

Tarefa 1 – Avaliação inicial

-
1. De acordo com a Teoria da Gravitação Universal de Newton a Terra, a Lua, o Sol e os planetas exerciam-se forças mútuas sem nenhum contato, sem nenhum meio material entre eles. O conceito de "ação à distância" foi, então, usado para descrever este tipo de interação. No entanto, este conceito não foi facilmente aceito e alguma coisa chamada "éter" foi inventada para servir como meio de transmissão da interação gravitacional. O éter seria uma substância tênue que preencheria todo o espaço e teria uma densidade extremamente pequena para explicar o fato de que não poderia ser detectado no espaço vazio. O éter sobreviveu durante muitos anos mas acabou sendo abandonado. a) Você lembra por que? b) Usando o conceito de Campo será que o vácuo é mesmo vazio? c) Ou, mudando a pergunta, será que o vácuo é preenchido por campos? d) Mas nesse caso apenas trocou-se éter por campo? Justifique.
 2. Se a força da gravidade age sobre todos os corpos em proporção às suas massas, por que um corpo pesado não cai mais rapidamente que um corpo leve?
 3. É comum dizer que quando se eleva um objeto a uma altura h acima da superfície da Terra ele adquire uma energia potencial gravitacional relativa à sua posição inicial. a) Mas será que o objeto realmente possui esta energia? b) Ou será que a Terra compartilha essa energia? c) Pensando em termos de Campo Gravitacional, dá para resolver esta dúvida? Como? d) Esta energia é modificada instantaneamente?
-

As Situações 1, 2 e 3 requerem a descrição de Interações Físicas e foi tomado o Campo Gravitacional como referência, pois julgamos ser o conhecimento mais próximo do de Campo de Interações conhecido pelos alunos. As Situações 2 e 3 envolvem massas explicitadas no enunciado. Já a Situação 1 não faz referência a estas massas.

Conforme apontado na literatura, nos trabalhos de Martin e Solbes (2001), Llancacqueo et al. (2003), por exemplo, os alunos não possuem conhecimento acerca do conceito de Campo. Eles explicam as Interações físicas através da ideia de Força, sem fazer qualquer referência ao conceito de Campo. Começar a instrução através do conceito de Interação (usando os conceitos de Força e Trabalho) parece um passo interessante.

Tabela 65: Possíveis Representações internas apresentadas pelos estudantes na avaliação inicial da UEPS de Campo (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas – I, II, III

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 2 – O conceito de Campo

- Você deve lembrar dos estudos de gravitação que existe uma energia potencial associada à interação gravitacional. Dos estudos de mecânica deve lembrar, também, que a energia potencial é devida ao sistema. Considere o Campo Gravitacional da Terra e a interação da Lua com este Campo. a) Qual é o sistema físico em questão? b) Qual interação ocorrente? c) Onde está "localizada" a energia potencial gravitacional? Nos corpos ou no campo? Por que razão?
- A luz solar demora oito minutos para chegar à superfície terrestre. Portanto, quando você olha para o Sol, está o vendo como era na sua versão de oito minutos atrás? Como você explica esta diferença?
- Considere que, por alguma razão, todos os planetas e estrelas sumissem e permanecesse somente a Terra, no universo. a) O que você afirmaria sobre a força gravitacional? b) E sobre o Campo Gravitacional? Justifique.

As Situações 1, 2 e 3 requerem a descrição de Interações Físicas. As Situações 1 e 3 envolvem o Campo Gravitacional e dois ou mais objetos massivos explicitados (a Terra e a Lua na Situação 1 e a Terra e o restante dos planetas do Universo na Situação 2). A Situação 2 envolve a descrição em termos gerais da Interação Eletromagnética entre a Terra e o Sol, por meio de um Campo Eletromagnético. As Situações diferem, basicamente, em três pontos: explicitação dos objetos interagentes, natureza das interações, números de objetos interagentes.

Temos um ponto interessante nesta tarefa. Alguns autores como Furió et al. (1998) sugerem certo paralelismo entre construções conceituais históricas e construções cognitivas históricas. A maioria dos estudantes (seis), parece conceitualizar o Campo como uma entidade que se choca com outra. Cinco possivelmente fazem referência, no entanto, à Interação entre partículas e Campos. Parece ter ocorrido equilíbrio no processo. É um passo não tão grande como ocorrentes nos outros dois estudos, mas percebe-se a necessidade do respeito ao conhecimento prévio dos alunos.

Tabela 66: Possíveis Representações internas apresentadas pelos estudantes na segunda tarefa da UEPS de Campo (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever interações Físicas – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											

N											
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tarefa 3 – Fontes de Campo

Nesta atividade, você irá modelar um objeto de massa m (um apagador, por exemplo) sendo atraído pela Terra de massa M . Suponha que ela caia de uma altura $h = 1,70\text{m}$, partindo do repouso. Dados $G = 6,67 \times 10^{-11}\text{Nm}^2/\text{kg}^2$, $R_T = 6400\text{km}$, $M_T = 5,98 \times 10^{24}\text{kg}$.

Sobre o Sistema Terra-apagador, modelado na atividade, responda:

1. Que elementos relevantes temos no modelo? Que aproximações/idealizações foram feitas na construção do Modelo?
2. Qual a massa enumerada como fonte do Campo Gravitacional? Qual a massa de prova enumerada para a interação? Como você explicaria a transferência de momentum e energia pelo Campo Gravitacional neste caso?
3. Suponha que você queira computar a influência do Campo Gravitacional da Lua, além da influência do Campo Gravitacional da Terra, sobre o apagador. Que alterações você adotaria no modelo Matemático? Que resultados você espera obter?

A tarefa 3 teve três Situações. Nas três Situações requer-se a referência às Interações Físicas (gravitacionais, no caso). Todas as Situações explicitam os Objetos, com a Situação 3 apresentando 3 elementos. São estabelecidos diferentes tipos de referência nas três Situações. A primeira faz referência aos objetos interagentes, a segunda aos mecanismos envolvidos na troca de Energia/Momentum entre Campo e massa, e a terceira faz referência à influência de outros objetos na dinâmica do Sistema.

Nesta tarefa, percebemos uma oscilação na conceitualização. Seis alunos possivelmente usam o Modelo Mental M.I.5, enquanto os cinco que pareciam ter usado o Modelo Mental M.I.5 possivelmente passam a usar o Modelo Mental M.I.4. Uma possibilidade passa pela descrição do mecanismo de transferência de Momentum e de Energia do Campo para os Objetos. Alguns alunos podem ter entendido o Campo como um mero suporte para o transporte de Energia. Essa constante adaptação é fundamental para a construção de estruturas estáveis e evidencia a recursividade no possível processo de Aprendizagem, o que evidencia Aprendizagem Significativa.

Tabela 67: Possíveis Representações Internas usadas na terceira tarefa da UEPS de Campo (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 4 – Campos e Interações

1. Distinga entre as quatro interações da natureza com suas palavras enfatizando os Mecanismos de transferência de Momentum e de Energia para cada uma.

2. Desenhe um mapa conceitual para o conceito de Campo.

As questões da tarefa 4 são altamente amplas e fazem com que o próprio aluno possa escolher os exemplos aos quais pode estabelecer a referência. Mapas conceituais não se enquadram em nenhuma das três classes de Situações.

A extensão da descrição dos mecanismos de transferência de Momentum e Energia para outras interações pode ter despertado nos estudantes uma ideia do Campo como um mero suporte para o transporte de Energia. O Campo serve para realizar a interação e transporta Energia de um Objeto para o outro, o que parece bastante razoável na Estrutura Cognitiva deles.

Na aula sobre o conceito de Campo distinguimos entre três possíveis formas de conceber o papel do Campo na interação, mas a palavra transporte, para estes alunos, pareceu significar retirada de algo de um objeto e entrega a outro, conforme o significado cotidiano de transporte como condução e entrega. Consideramos um avanço com respeito à ideia M.I.3, mas ainda não consideramos esta concepção como cientificamente adequada.

Tabela 68: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quarta tarefa da UEPS de Campo (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I) e Modelos Mentais (M.I) para descrever Interações Físicas (I.) – Todas											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 5 – Representando Campos através de Diagramas de Seta e Linhas de Campo

Para todas as questões apresente um modelo esquemático da situação.

1. Uma placa retangular muito extensa, carregada eletricamente com carga negativa, gera um Campo Elétrico \vec{E} no espaço segundo a forma

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{i}$$

Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

2. O Campo Gravitacional gerado por um disco de massa M e raio a em um ponto (a uma distância z) sobre o eixo passando pelo centro do disco é dado pela expressão abaixo

$$\vec{g} = -2G \frac{M}{a^2} \left[1 - \frac{z}{(a^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} \right] \hat{k}$$

Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

3. Um planeta esfericamente simétrico, com massa m distribuída uniformemente e raio R , gera um Campo Gravitacional \vec{g} , segundo a forma

$$\vec{g} = -\frac{Gm}{r^2} \hat{r}$$

para pontos no seu exterior e

$$\vec{g} = -\frac{Gmr}{R^3} \hat{r}$$

para pontos no seu interior. Represente o Campo em questão através de a) Linhas de Campo, b) Diagramas de Seta.

A Tarefa 5 requer a Representação Analógica do Campo. Os pontos distinguindo as Situações são, basicamente, geometria das fontes e natureza do Campo. As Situações 2 e 3 abordam o Campo Gravitacional, enquanto a Situação 1 aborda o Campo Elétrico. As três Situações abordam geometrias diferentes, a saber, Chapas, Disco e Esfera.

Compatível com o possível Modelo Mental M.I.4, os alunos tendem a Representar Analogicamente o Campo somente no exterior das fontes. A linha de raciocínio parece bastante coerente com as premissas dos estudantes, pois uma vez transportando Energia de um ponto a outro no Espaço, o Campo deve existir no exterior das fontes. Esta representação no exterior é adequada, embora não seja a desconsideração da existência do Campo no interior das fontes.

Tabela 69: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na quinta tarefa da UEPS de Campo (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.A) e Modelos Mentais (M.A) para representar analogicamente o Campo – Todas											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
N											

Tarefa 6 – Representando Campos através de Equações

Modele o Campo Gravitacional da Terra partindo das equações de Fluxo e de Circulação abaixo

$$\oint \vec{g} \cdot \hat{n} ds = -4\pi Gm,$$

e

$$\oint \vec{g} \cdot \hat{dl} = 0.$$

1. Quais são os aspectos relevantes na modelagem do Campo Gravitacional Terrestre? Como podemos usar as equações de Fluxo e de Circulação para prever qualitativamente o Campo?
2. Que aspectos podem complicar e melhorar a precisão deste Modelo? Como eles fazem isto?

Que simplificações podem ser feitas sem comprometer a validade do modelo?

A tarefa 6 requer a Representação Simbólica do Campo, no caso o Gravitacional. A Situação apresenta uma distribuição de Massa explícita, a saber, a Terra. É estimulado o pensamento com respeito a diversos aspectos como, por exemplo, a referência aos conceitos de Fluxo e de Circulação, muito importantes para a descrição do Campo.

Esta tarefa apresenta um ponto fundamental para a discussão, o da Representação Simbólica. Seis estudantes concebem as Equações de Campo (de Fluxo e de Circulação) como estando associadas à geometria dos mapas de Campo, enquanto cinco estudantes associam a Representação Simbólica do Campo às fontes, no caso, a massa.

Os estudantes parecem começar, aparentemente sem muito conhecimento prévio do conceito de Campo, um possível processo de conceitualização relativamente adequado cientificamente. Isto pode ser entendido como um avanço, pois nesta aula buscamos integrar as duas visões e, como resultado, alguns estudantes parecem construir Modelos Mentais de um tipo com maior facilidade do que teriam possivelmente construindo um Modelo Mental do outro tipo.

Tabela 70: Possíveis Representações internas construídas pelos estudantes na sexta tarefa da UEPS de Campo (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.S) e Modelos Mentais (M.S) para representar simbolicamente o Campo usando os conceitos de Fluxo e de Circulação – I											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

UEPS de Campo Elétrico

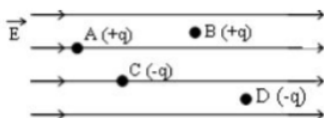
Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Elétrico no terceiro estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho mais conceitual que formal.

Discutimos a seguir as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Elétrico (estático) no

terceiro estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes concepções. Buscamos levar em conta o conhecimento prévio adquirido pelos estudantes nas UEPS de Campo.

Tarefa 1 – Tarefa inicial

[Grupo 1] Informações para as questões 1, 2 e 3: considere que os objetos A e B com carga $+q$ e os objetos C e D com carga $-q$ sejam postos em um Campo Elétrico uniforme, conforme a figura abaixo. Suponha que todos os objetos tenham a mesma massa e que a interação elétrica entre eles seja desprezível

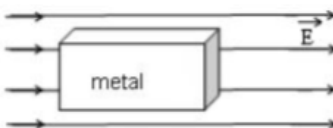


1. Qual opção está relacionada ao movimento dos objetos após eles serem liberados? a) Os objetos A e B começam a se mover, mas os objetos C e D permanecem parados. b) Os objetos A e B ficam parados, mas os objetos C e D começam a se mover. c) Os objetos A e C começam a se mover, mas os objetos B e D permanecem parados. d) Todos os objetos começam a se mover.

2. Qual opção está relacionada à direção e ao sentido do movimento dos objetos? a) Os objetos A e B se movem na mesma direção e sentido do Campo Elétrico, os objetos C e D movem-se na mesma direção, mas sentido oposto ao do Campo Elétrico. b) Os objetos A e B permanecem parados e os objetos C e D se movem na mesma direção do Campo Elétrico, mas no sentido oposto. c) O objeto A se move na mesma direção e sentido do Campo Elétrico e o objeto C se move na mesma direção, mas no sentido oposto ao do Campo Elétrico. Os objetos B e D permanecem parados. d) Todos os objetos se movem na mesma direção e sentido do Campo.

3. Qual opção corresponde à forma de movimento dos objetos quando eles são liberados? a) Os objetos A e B aceleram, mas os objetos C e D permanecem parados. b) Todos os objetos se movem com velocidade constante. c) Os objetos C e D aceleram, mas os objetos A e B permanecem parados. d) Todos os objetos movimentam-se de forma acelerada.

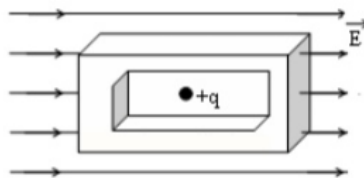
[Grupo 2] Informações para os itens 4,5 e 6: Um bloco metálico neutro é colocado em um Campo Elétrico (externo) uniforme representado pelas linhas de Campo conforme o diagrama abaixo



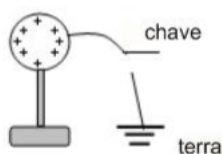
4. Qual das alternativas está relacionada ao Campo Elétrico no interior do bloco? a) O Campo Elétrico interno tem a mesma magnitude e direção do Campo Externo. b) O Campo Elétrico interno tem a mesma direção, mas é menor que o Campo Externo. c) O Campo Elétrico interno tem sentido oposto ao Campo Elétrico externo e é menor que este. d) O Campo Elétrico interno é nulo.

5. Considere que coloquemos, no lugar do bloco condutor, um bloco feito de madeira (isolante). Qual das alternativas está relacionada à descrição do Campo Elétrico no interior do isolante? a) O Campo Elétrico interno tem a mesma magnitude e direção do Campo externo. b) O Campo Elétrico interno tem a mesma direção e sentido, mas menor intensidade que o Campo externo. c) O Campo Elétrico interno tem mesma direção, mas sentido oposto e menor intensidade que o Campo externo. d) O Campo Elétrico interno é nulo.

6. Uma caixa metálica com uma carga positiva q em seu interior é colocada em um Campo Elétrico, conforme mostrado na figura abaixo. Desconsiderando a gravidade, qual das opções melhor descreve o movimento da carga? a) A partícula acelera na mesma direção e sentido do Campo Elétrico externo. b) A partícula acelera na mesma direção do Campo Elétrico externo. c) A partícula acelera na mesma direção, mas no sentido oposto ao do Campo Elétrico externo. d) A partícula permanece parada.



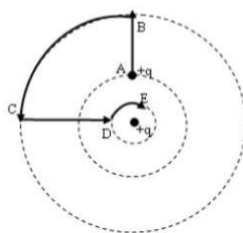
[Grupo 3] Informações para os itens 7 e 8: Uma esfera condutora com carga q é colocada em uma vara isolante e conectada à Terra com um fio condutor acoplado a uma chave que está aberta.



7. Considere que a chave seja fechada. Qual das alternativas corresponde à carga da esfera? a) Todas as cargas positivas da esfera vão para a Terra e a esfera fica neutra. b) Cargas negativas vão da Terra para a esfera e a esfera se torna neutra. c) Uma parcela de cargas negativas vão da esfera para a Terra e a esfera fica carregada positivamente. d) Não haverá transferência de carga, portanto a carga da esfera permanece a mesma.

8. Considere que a esfera neutra é substituída por uma esfera condutora metálica com carga $-q$. Qual das alternativas melhor se relaciona à carga na esfera, quando a chave é fechada? a) Cargas negativas da esfera vão para a Terra e a esfera fica neutra. b) Cargas positivas vão do chão para a esfera e esta se torna neutra. c) Uma parcela de carga negativa da esfera vai para a Terra e esta ainda permanece negativamente carregada. d) Não haverá transferência de carga.

[Grupo 4] Informação para as questões 9 e 10: Um objeto carregado com carga q é ficado em um ponto em um Campo Elétrico. As linhas equipotenciais são apresentadas por linhas pontilhadas na figura abaixo. Outra carga q é movida ao longo do caminho ABCDE (desconsidere a gravidade).



9. Ao longo de que caminho a Energia Potencial Elétrica das partículas em movimento aumenta? a) No caminho entre os pontos A e B. b) No caminho entre os pontos B e C. c) No caminho entre os pontos C e D. d) No caminho entre os pontos D e E.

10. Em que caminho ou caminhos há realização de trabalho pela Força Elétrica? a) Nos caminhos indo de A a B e de C a D. b) Nos caminhos indo de B a C e de D a E. c) Em todos os caminhos. d) Não há realização de trabalho em qualquer dos caminhos.

Todas as questões abordam a Interação Elétrica entre um Campo Elétrico criado por um Objeto Eletricamente carregado e um Campo Elétrico. As Situações 1 e 2 só mudam por parâmetros (massa dos objetos). As Situações 3, 4 e 5 também são muito parecidas entre si, bem como os grupos de questões formados pelas questões 6, 7 e 8, das questões 9 e 10, e das questões 11 e 12.

As questões 1 e 2 explicitam os objetos interagentes, duas Cargas Elétricas puntuais. As Situações 3, 4 e 5 não explicitam os Objetos Eletricamente carregados criando o Campo Elétrico, mas somente o Objeto sofrendo a ação deste Campo Elétrico. Há mudança com respeito à referência à classificação de aspectos relativos ao movimento dos objetos.

As questões 6, 7 e 8 abordam a interação de um Campo Elétrico devido a uma fonte não explicitada e materiais. As Situações 6 e 8 envolvem condutores, enquanto a Situação 7 envolve isolantes. São diferenças que são significativas, no entanto, na conceitualização, mas possíveis de serem subsumidas sob este ponto de vista apresentado.

As Situações 9 e 10 abordam a Interação entre Objetos Eletricamente Carregados e Campos Elétricos, envolvendo trocas de Cargas Elétricas. Chegamos à conclusão de ser este o tipo de Situação mais difícil de ser resolvido pelos estudantes dentro desta Classe de Situações. Só há mudança nos parâmetros, a saber, o valor da Carga Elétrica.

As Situações 11 e 12 abordam a Interação entre dois Objetos Eletricamente Carregados e Campos Elétricos. Estas Situações enfocam a ideia de transferência de Energia com maior ênfase do que as outras, pois envolvem o conceito de Trabalho realizado pelo Campo Elétrico.

De forma um pouco parecida com os alunos do segundo estudo e muito parecida com a literatura, para Situações nas quais temos troca de Cargas Elétricas entre os objetos, os alunos indicam possível redução funcional das interações a equilíbrio de Cargas Elétricas. Muitos alunos continuam com esta ideia mesma após a introdução do conceito de Diferença de Potencial. Nove alunos possivelmente apresentam o Esquema M.I.E.1 com redução funcional a equilíbrio de Cargas Elétricas.

Quando as Situações envolvem menção explícita a um Campo Elétrico, os alunos parecem usar Esquemas do tipo S.I.E.2, considerando o Campo Elétrico como somente um aparato operacional. Fica evidente que dentro da classe de Situações das Interações Elétricas, os alunos parecem perceber subclasses de Situações e, por isto, conceitualizam de forma diferente.

Cinco alunos parecem usar a possível Representação Interna nos grupos de Situação 1 e 4. Um aluno usa no grupo 1, um usa no grupo 4. Um aluno (J) possivelmente usa nos grupos 1 e 4 considerando o Potencial Elétrico como dependente

linearmente da distância. O aluno restante (K) parece cometer o mesmo erro do aluno J, mas aparenta apresentar um Esquema do tipo S.I.E.5. para responder à primeira questão.

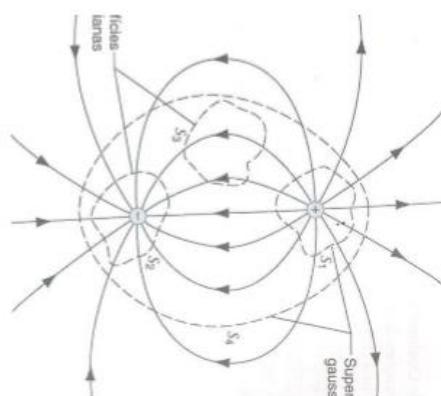
Quando as questões envolvem condutores e isolantes, os estudantes desenvolvem possíveis Operações de Pensamento ligadas a possíveis Esquemas S.I.E.3, ou seja, considerando o Campo Elétrico como fluido. É importante ressaltar que nestas Situações, o Campo Elétrico foi mencionado explicitamente na questão.

Tabela 71: Possíveis Representações internas usadas pelos alunos na avaliação inicial do conhecimento prévio da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrição de Interações Elétricas – Todas as questões											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	3*	3*	3*	3*		3*	113*		3*	3*	3*
2	14	1	14	14	14	1	4		14	14&	4&
3	2	2	2	2	2	2	2		2	2	2
4											
5											1
N		4			3	4		-			

Tarefa 2 – Fluxo e Lei de Gauss para a eletrostática

- Qual o Fluxo do Campo Elétrico gerado por uma placa muito extensa, com densidade superficial de carga uniforme σ , através de uma superfície cilíndrica fechada de raio R cujo eixo longitudinal está orientado paralelamente a este Campo? Represente a situação esquematicamente.
- Qual o Fluxo do Campo Elétrico gerado por uma esfera carregada uniformemente com carga $-q$, através de uma superfície esférica de raio R ? Considere que o centro da superfície coincida com o da esfera carregada. Represente a situação esquematicamente.
- Suponha a figura abaixo com quatro superfícies gaussianas apresentadas para o caso do dipolo elétrico. a) Qual o Fluxo através de cada uma das superfícies? b) Como você justificaria o uso do Campo Elétrico para resolver o problema?



As três Situações requerem a Representação Simbólica do Campo Elétrico no Espaço e variam com respeito aos seguintes pontos: o número de fontes de Campo Elétrico e a geometria das Fontes de Campo Elétrico. Nas três Situações é preciso, no

entanto, representar simbolicamente o Campo Elétrico, ou seja, apresentar asserções sobre seu comportamento. Esta Tarefa requer a referência ao conceito de Fluxo Elétrico para o estabelecimento desta Representação.

Quanto às Representações Analógicas, temos indícios de resquícios da Representação do Campo. Sete dos onze alunos realizando a tarefa representam o Campo Elétrico somente no exterior das fontes (possivelmente usando M.A.E.1), enquanto três representam os mesmos no interior e no exterior das fontes (possivelmente usando M.A.E.2). É um avanço na conceitualização, pois antes os alunos representavam os Campos somente no exterior das fontes.

Quanto às Representações Simbólicas, temos também uma aparente divisão, mas um afastamento das Representações mais geométricas. Antes, mais alunos pareciam representar simbolicamente o Campo Elétrico de maneira mais geométrica, agora parecem apresentar Modelos Mentais mais relacionais, enfatizando o Campo Elétrico como gerado por Cargas Elétricas. Na questão três, os alunos possivelmente usam uma visão integrada entre geometria e relação. Consideramos um avanço na conceitualização dos estudantes.

Tabela 72: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na segunda atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.A.E) e Modelos Mentais (M.A.E) para representar analogicamente o Campo Elétrico – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
N								-			
Possíveis Esquemas (S.S.E) e Modelos Mentais (M.S.E) para representar simbolicamente o Campo Elétrico – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2					1\$2		1\$2		1\$2		1\$2
3	12	12	12	12		12				12	
4	3	3	3	3	3	3	3		3	3	3
5											
N											

Tarefa 3 – Aplicações da Lei de Gauss

- Dois longos e cilindros concêntricos de raios a e b ($a < b$) possuem cargas iguais e opostas por unidade de comprimento. Qual é a forma para o Campo Elétrico para pontos $r < a$, $a < r < b$, $r > b$?
- Duas chapas não condutoras grandes e paralelas, com distribuições idênticas de cargas positivas. Que expressão descreve o Campo Elétrico para a) pontos à esquerda das chapas, b) entre elas e c) à direita delas? Justifique suas respostas.
- Uma esfera maciça de raio a e carga q uniformemente distribuída através de seu volume, concêntrica com uma casca esférica não condutora de raio interno b e raio externo c . A casca tem uma carga $-q$. Determine \vec{E} em função do raio para a) $r < a$, $a < r < b$, $b < r < c$ e $r > c$.

As três Situações requerem o Cálculo do Campo Elétrico no Espaço e variam com respeito à geometria das Fontes de Campo Elétrico. Nelas é preciso, no entanto, calcular o Campo Elétrico, ou seja, apresentar asserções sobre seu comportamento. Esta tarefa requer a referência aos conceitos de Carga Elétrica e de Campo Elétrico para a realização do cálculo.

O primeiro contato com cálculo de Campos Elétricos parece um tanto difícil aos estudantes. Dos 10 alunos trabalhando na tarefa, quatro não parecem conseguir realizá-la, três possivelmente usam Modelos Mentais do tipo M.C.E.2 e três parecem Modelos Mentais do tipo M.C.E.1. Desta forma, isto parece evidenciar pouca relação entre as Representações Simbólica e analógica do Campo Elétrico com o seu cálculo. Isto é algo bastante relacionado à dificuldade matemática atestada pelos alunos.

Tabela 73: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na terceira atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo II)

Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para calcular Campos Elétricos – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
N											

Tarefa 4 – Circulação e Lei de Gauss para a eletrostática

1. Faça a distinção entre a Diferença de Potencial e a Diferença de Energia Potencial. Dê exemplos das afirmações em que cada termo é usado apropriadamente.

2. Qual a Diferença de Potencial entre dois pontos a e b , distantes de r_a e r_b ($r_b > r_a$):

a) do centro de uma esfera de raio $R > r_b$ (pontos internos da esfera)? b) do centro de uma esfera de raio $R < r_a$ (pontos externos da esfera)?

A atividade 4 envolve dois tipos de Situação. A primeira envolve a descrição de Interações Elétricas entre Objetos arbitrários não mencionados. O uso dos conceitos de Campo Elétrico e de Potencial Elétrico é fundamental para trabalhar as ideias de Força Elétrica e de Energia Potencial Elétrica. A segunda envolve o cálculo de Campos Elétricos e de Potenciais Elétricos.

Nesta tarefa, os alunos parecem evocar um Esquema no qual o Campo Elétrico (e a Diferença de Potencial) possui papel importante, mas não apresentado como agente da Interação. Quando o Campo Elétrico ou a Diferença de Potencial são mencionados, é normal os estudantes lidarem com as Situações parecendo usar o conceito sem usá-lo de forma efetiva na descrição do mecanismo da Interação. Desta forma, consideramos não ter havido tanto avanço neste ponto.

Quanto ao cálculo de Campos Elétricos (no caso de Potenciais Elétricos), os estudantes possivelmente apresentam, muitas vezes, Modelos Mentais M.C.E.1, ou seja,

parecem calcular Diferenças de Potencial de forma instrumental, sem a preocupação com a discussão de aspectos relevantes na tomada de conclusões.

Dados os resultados, entendemos ter contribuído pouco aos alunos. Pensamos em reconstruir esta aula abordando Sistemas Físicos mais voltados à tecnologia ou à história da Ciência (pois mencionamos a garrafa de Leyden e parece não ter sido suficiente), visto termos discutido a Circulação do Campo Elétrico e termos falado em trabalho da Força Elétrica e isto não ter surtido tanto efeito.

Tabela 74: Possíveis Representações Internas usadas pelos alunos na quarta atividade da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever interações Elétricas – I												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
3												
4												
5												
N				-			-		-		-	
Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para calcular Campos Elétricos – II												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
N				-			-		-		-	

Tarefa 5 – Potencial Elétrico e Campo Elétrico

1. Compare a energia cinética ganha por um próton ($q = e$) com a energia cinética ganha por uma partícula alfa ($q = 2e$) colocadas entre duas placas paralelas carregadas, separadas por uma distância d , com densidades superficiais de carga σ de sinais contrários.
2. Quando lidamos com aparelhos práticos, frequentemente tomamos o chão (a Terra) como tendo potencial nulo. Se, ao invés disto, tivéssemos adotado o "zero do potencial" como 10V, como isto iria afetar a) a diferença de potencial entre o chão e um ponto qualquer no espaço, e b) o Campo nos outros pontos do espaço?
3. Para podermos ligar um aparelho elétrico, é preciso ligarmos este a uma fonte de energia. Isto é óbvio, mas como você explicaria esta necessidade usando o conceito de Potencial Elétrico? Existe alguma característica destas "fontes de energia" que justifique o funcionamento do aparelho?

A Situação 1 e 3 envolvem a descrição de Interações Elétricas entre Campos Elétricos e Objetos Eletricamente carregados. Ambas as Situações mencionam os Objetos. Situação 1 é, no entanto, mais explícita. A Situação II lida mais diretamente com a Representação Simbólica do Campo Elétrico, relacionando a Diferença de Potencial ao caráter conservativo do Campo Elétrico.

Metade da turma frequentou a aula neste dia. Como a turma era pequena, prosseguimos a aula normalmente e propusemos a tarefa aos estudantes. Dos seis alunos realizando a tarefa, três pareceram usar o Esquema S.I.E.2 para dominar a Situação I.

Outros três alunos possivelmente usaram o Modelo Mental M.I.E.5, o que pareceu-nos um avanço.

Quanto à representação simbólica, os alunos faziam referência ao caráter conservativo do Campo Elétrico apresentado pela Equação de Circulação. A referência parecia ser mais implícita e indireta à Circulação e mais direta ao aspecto conservativo do Campo Elétrico, isto é, da relação entre arbitrariedade do zero do Potencial e a forma do Campo Elétrico no Espaço.

Consideramos bastante positivo este processo de conceitualização e entendemos poder estar associado à discussão sobre o aparelho desfibrilador como Situação introdutória do conhecimento a ser apresentado. Com a Situação do desfibrilador, foi possível falar sobre Superfícies Equipotenciais, sobre movimento de Cargas Elétricas e sobre Diferenças de Potencial, bem como do aspecto conservativo do Campo Elétrico.

Tabela 75: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quinta tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I, III											
	A	B	C	D	E	G	H	I	J	K	L
1											
2											
3											
4											
5											
N					-		-	-	-		-
Possíveis Esquemas (S.S.E) e Modelos Mentais (M.S.E) para Representar Simbolicamente o Campo Elétrico – II, III											
	A	B	C	D	E	G	H	I	J	K	L
1											
2											
3											
4											
5											
N					-		-	-	-		-

Tarefa 6 – Forças Elétricas

1. Com que frequência angular oscila um elétron colocado inicialmente sobre um ponto P , sobre um eixo passando pelo centro de um anel de raio R , a uma distância z de forma que $z \ll R$? O elétron está oscilando. Como é possível reconciliar este fato com o de que em Eletrostática as Cargas Elétricas devem estar em repouso?

2. Uma pequena esfera com carga igual à do elétron é colocada a uma altura h sobre um disco negativamente carregado (uniformemente) de raio R muito grande. A placa é fixada sobre um ponto na superfície do planeta Terra, onde temos, obviamente, atmosfera composta por nitrogênio, oxigênio e outros gases como o gás carbônico e gases nobres. Sob que condição (condições) a esfera descreverá movimento uniforme?

As duas Situações requerem a descrição da Interação Elétrica entre Campos Elétricos e Objetos Eletricamente Carregados. As Situações pertencem à mesma Classe e somente variam com respeito à geometria das fontes, bem como à presença de outras Forças distintas da Força Elétrica mais relevante.

Assim como no estudo II, quando introduzimos a lei de Lorentz junto com Situações problema nas quais podemos introduzir a descrição do mecanismo de Interação tendo como agente o Campo Elétrico, os alunos parecem apresentar um notável ganho na conceitualização neste sentido. Desta forma, é possível justificar os sete alunos realizando a tarefa construindo possíveis Operações de Pensamento a partir do possível Modelo Mental M.I.E.5.

Tabela 76: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sexta tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para Descrever Interações Elétricas – I, II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N					-		-	-			-

Tarefa 7 – Condutores

1. Uma esfera carregada com carga positiva q é colocada no interior de uma caixa condutora com carga $-Q$. A caixa tem formato cúbico, tendo comprimento d , altura h e largura l . A esfera está pendurada por um fio de poliestireno e é colocada a uma distância x da extremidade esquerda da caixa. A esfera está a uma distância $l/2$ de ambas as placas, com respeito ao plano yz e a uma distância $h/2$ das placas do plano xy . O que acontecerá com a esfera carregada? Descreva conceitualmente por que chegou a esta resposta? Esboce um modelo esquemático da situação.
2. Que diferença temos entre um circuito elétrico condutor de corrente (ligado a uma bateria) e um condutor elétrico fechado, descarregado sob a ação de um Campo Elétrico? Descreva, usando o conceito de Diferença de Potencial, ambas as situações.
3. Como pode ser explicado o fenômeno da blindagem Eletrostática (gaiola de Faraday) usando a lei de Gauss?

A tarefa 7 apresenta três Situações. A primeira faz referência a ambos os Objetos Interagentes e deixa para o aprendiz o papel de estabelecer a referência à Interação entre Campo Elétrico e Carga Elétrica. A segunda faz algo parecido, porém com o Campo Elétrico ressaltado e sua fonte omitida. A terceira questão é completamente aberta e omite inclusive as Cargas Elétricas.

Em consonância com a atividade anterior, os alunos, ao serem introduzidos às Interações Elétricas entre condutores e Campos Elétricos, parecem começar o processo e consolidação do entendimento do mecanismo de Interação entre Campos Elétricos e

Cargas Elétricas. Os alunos trabalhando na tarefa possivelmente começam a entender o papel do Campo Elétrico como agente da Interação Elétrica entre Cargas Elétricas. Mais um passo importante na conceitualização, principalmente pela forte influência do Esquema de Campo Elétrico como fluido na conceitualização.

Tabela 77: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sétima tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Elétricas – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N					-		-	-	-		-

Tarefa 8 – Isolantes

1. Um cilindro dielétrico/isolante (linear) é inserido em um Campo Elétrico uniforme. Esboce as linhas de campo. Justifique sua representação.

2. Descreva o processo de Indução Eletrostática da água usando a ideia de polarização.

A tarefa 8 apresenta duas Situações. A primeira faz referência aos Objetos sofrendo a Força devida ao Campo Elétrico, deixando para o aprendiz o papel de estabelecer a referência à Interação entre Campo Elétrico (explicitado no problema) e Carga Elétrica. A segunda questão é completamente aberta e omite inclusive as Cargas Elétricas.

Nesta tarefa, acompanhamos um ponto semelhante ao observado na aula sobre condutores, com a diferença de que os alunos A, B e C usam Esquemas nos quais a interação eletromagnética entre Cargas Elétricas é entendida como ocorrendo instantaneamente à distância na questão 2. A diferença entre as Situações é a de que a Indução Eletrostática está associada a reorganização de Cargas Elétricas em um isolante e isto é facilmente realizável pela lei de Coulomb.

A referência não é tanto com respeito à interação, mas à separação das Cargas Elétricas componente da causa da execução de uma Força Elétrica líquida sobre um Objeto eletricamente neutro. Desta forma, os estudantes indicam a possibilidade de fazerem referência explícita à Força Elétrica e depois à separação das Cargas Elétricas. Os alunos restantes, no entanto, parecem referenciar a Força executada pelo Campo Elétrico sobre as gotículas de água.

Tabela 78: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na oitava tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

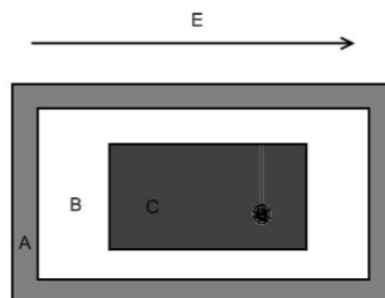
Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever Interações Eletromagnéticas – I, II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K

1	2	2	2								
2											
3											
4											
5	1	1	1								
N											

Avaliação Somativa

1. Em um artigo de 1911, Ernest Rutherford disse: "A fim de se ter uma noção das Forças necessárias para defletir uma partícula α de um grande ângulo, considere um átomo [como] contendo uma carga pontual positiva Ze no seu centro, cercada por uma distribuição de eletricidade negativa $-Ze$ uniformemente distribuída no interior de uma esfera de raio R . O Campo Elétrico \vec{E} ... a uma distância r do centro para um ponto no interior do átomo [é] $E = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left(1 - \frac{r^3}{R^3}\right)$ a) Faça um esquema pictórico (desenho) do modelo proposto por Rutherford. b) Verifique que esta equação é válida para o modelo proposto.

2. Um arranjo, semelhante ao exposto na figura 1, é composto de uma caixa de plástico oca com uma caixa condutora, no interior da qual há um pêndulo eletrostático (esfera carregada ligada por um fio isolante ao teto da caixa). A caixa é colocada no interior de um Campo Elétrico uniforme. Pede-se que: a) seja descrito o Campo Elétrico em todos os pontos do espaço. b) descreva o que ocorrerá com a bolinha



3. Uma esfera condutora de carga q e raio R_1 é ligada por um fio condutor a uma esfera condutora de raio $R_2 > R_1$ descarregada. a) Sob qual condição encontrará o fluxo de cargas através do fio condutor? b) Ao final do Fluxo de cargas, as esferas estarão com Cargas Finais iguais (caso seja esta a sua resposta, qual a fração da carga total em cada esfera?) ou diferentes (caso seja esta a sua resposta, qual das esferas fica com maior carga)? c) Se no lugar da segunda esfera fosse posto um cone, a densidade de cargas final neste seria homogênea ou não homogênea? Justifique.

4. Uma casca cilíndrica não-condutora, grossa, de comprimento infinito, raio interno a e raio externo b , tem densidade volumétrica de carga uniforme ρ . Determine o Campo Elétrico para um ponto qualquer (no interior da casca, na casca e no exterior da casca).

5. Discorra sobre a lei de Gauss, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de circulação para a eletrostática (e esta ao conceito de Potencial Elétrico), bem como à lei de Coulomb.

6. Construa um mapa conceitual tendo o conceito de Campo Elétrico como o conceito principal. Capriche no mapa, pois serão verificadas a quantidade de conceitos e a qualidade das ligações. Se você não estabelecer-las, perderá pontos, afinal não conseguirei saber como você entende a relação entre os conceitos.

A avaliação somativa explora três classes de Situações, a Representação Simbólica do Campo Elétrico, a Descrição de Interações Elétricas, e o Cálculo de Campos Elétricos. A Situação 5 aborda a Representação Simbólica, as Situações 2 e 3 abordam a Descrição de Interações Elétricas e as Situações 1 e 4, o Cálculo de Campos Elétricos.

A Situação 5 não identifica fontes, é bastante geral e requer ao estudante que discorra sobre a lei de Gauss e a relação dela com o Eletromagnetismo. Podemos ver a partir de uma linha de pensamento espontânea, como o estudante prossegue na conceitualização da Situação.

As Situações 1 e 4 são ligeiramente diferentes na geometria das Fontes de Campo Elétrico. A Situação 1 trabalha com uma Carga Elétrica Puntual e uma Esfera maciça. Já a Situação 4 trabalha com uma casca Cilíndrica. Os alunos apresentam maior dificuldade com a quarta.

As Situações 2 e 3 tem relação com a Descrição de Interações Elétricas. A Situação 2 envolve a Interação entre Condutores, Isolantes e Campos Elétricos devidos a fontes desconhecidas. O Problema 3 envolve Interações Elétricas entre duas fontes de Cargas Elétricas conhecidas, num processo de transferência de Cargas Elétricas. Nesta questão, a maioria dos alunos não conseguiu uma descrição usando o conceito de Campo Elétrico.

Podemos evidenciar dificuldades dos estudantes em estabelecer relações conceituais no cálculo de Campos Elétricos. Quanto à primeira questão, os alunos possivelmente calcularam dois Campos Elétricos e somaram. Seria mais coerente conceitualmente, embora o processo realizado não seja incorreto, calcularem o Fluxo do Campo Elétrico resultante que seria igual à fração da carga total inclusa na Gaussiana, algo que já inclui o princípio da Superposição.

Quanto à interação entre Cargas Elétricas, a maioria dos estudantes parece conseguir resolver de forma relativamente adequada os problemas. Alguns alunos retomam, no entanto, a ideia da Interação direta entre cargas visando o equilíbrio destas (quatro). Os alunos parecem adotar, majoritariamente, Esquemas nos quais o Campo Elétrico não é necessariamente o agente da Interação Elétrica, mas pode ser apenas um instrumento matemático.

Tabela 79: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na oitava tarefa da UEPS de Campo Elétrico (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.C.E) e Modelos Mentais (M.C.E) para Calcular o Campo Elétrico – I, IV											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	14#	14#	14#	14#	1	14#	1		1	14#	1
2											
N					4		4	-	4		4
Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever o Interações Elétricas – II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1					3		3		3		3

2	3	3	3	3	2	3	2		2	3	2
3											
4											
5	2	2	2	2		2				2	
N											

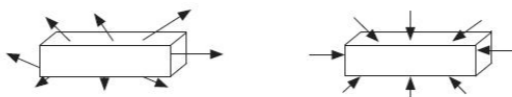
UEPS de Campo Magnético

Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Magnético no terceiro estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho um pouco mais conceitual que formal.

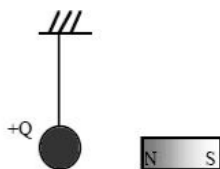
Discutimos a seguir as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Magnético (estático) no segundo estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes concepções, levando em conta o conhecimento prévio adquirido pelos estudantes nas UEPS de Campo Elétrico sempre que possível ou oportuno.

Tarefa 1 – Avaliação inicial

1. Construa um mapa conceitual a partir da palavra magnetismo.
2. Nunca foi encontrado que um ímã tenha criado um Campo Magnético cujo "mapa" de Linhas de Campo fosse como os mostrados na figura abaixo. Que conclusão você poderia tomar acerca deste fato da natureza?



3. Se o magnetismo é um efeito da Corrente Elétrica, e sem Corrente Elétrica não pode existir magnetismo, como um ímã funciona, isto é, cria Campo Magnético, sem ser ligado em uma tomada?
4. Um estudante afirma que, na situação da figura, o ímã e a esfera de poliestireno, carregada com uma carga Q negativa, sofreriam repulsão mútua. Você concorda com tal afirmação? Justifique detalhadamente sua resposta.



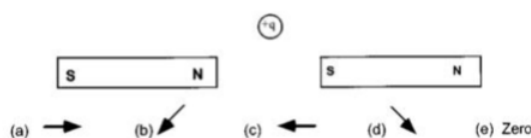
5. O que acontece a uma carga positiva colocada em repouso em um Campo Magnético uniforme? a) Ela se move com velocidade constante, pois a Força tem magnitude constante. b) Ela se move com uma aceleração constante, pois a Força tem magnitude constante. c) Ela se move em trajetória circular, com velocidade constante em módulo, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. d) Ela acelera em

uma trajetória circular, pois a Força é sempre perpendicular à velocidade. e) Ela permanece em repouso, pois a Força e a velocidade inicial são nulas.

6. Um elétron se move horizontalmente em direção a uma tela. O elétron move-se ao longo do caminho mostrado por causa da ação da Força devida ao Campo Magnético. Em que direção e sentido está o Campo Magnético? a) Em direção ao topo da página. b) Em direção ao fundo da página. c) Para dentro da página. d) Para fora da página. e) O Campo Magnético está na direção da curva.

7. A figura abaixo representa partículas carregadas positivamente movendo-se no mesmo Campo Magnético. O Campo é dirigido da esquerda para a direita. Todas têm a mesma carga e mesma velocidade v . Enumere as situações de acordo com a magnitude da Força exercida pelo Campo Magnético na carga em movimento, em ordem decrescente. a) $I = II = III$ b) $III > I > II$ c) $II > I > III$ d) $I > II > III$ e) $III > II > I$.

8. Uma partícula positivamente carregada ($+q$) está em repouso no plano entre dois ímãs fixos, conforme mostrado na figura. O ímã na esquerda tem um Campo Magnético três vezes mais forte que o da direita. Qual das escolhas abaixo melhor representa a Força magnética resultante exercida pelos ímãs na carga?



Fizemos o uso das questões da avaliação de conhecimento prévio dos estudantes implementada no segundo estudo. A descrição é semelhante, porém para economizar o tempo do leitor e evitar com que recorra à mesma em páginas anteriores, reproduzimos a descrição das Situações aqui.

As situações 2 e 3 apresentadas referem-se à Classe de Situações S.B, na qual requer-se a Representação Simbólica do Campo Magnético, ou seja, requer descrição do Campo Magnético fazendo referência às entidades Físicas que o criam e à sua forma no Espaço. Ambas as questões referem-se às fontes como sendo ímãs, visto serem muitos teoremas-em-ação alternativos oriundos da conceitualização sobre estes elementos físicos.

A situação 4 está enquadrada na Classe de Situações I.B, na qual é preciso descrever a Interação Magnética entre um Campo Magnético e um Objeto eletricamente carregado em movimento. A presença do ímã propicia o uso de teoremas-em-ação relacionando pólos de ímãs a Cargas Elétricas. Dada a ênfase dada por Guisasola et al. (1998, 2004) e Brandamante e Viennot (2007) às ideias sustentadas por alunos infantis, inclusive, sobre o caráter dos ímãs, entendemos este conhecimento como prévio aos alunos.

A construção de um mapa conceitual não é necessariamente uma Situação Problema, e tampouco ela se enquadra em uma ou outra classe de Situações, senão que pode estar associada a todas elas, em especial às classes S e I.

As Situações 5, 6, 7 e 8 também estão enquadradas na Classe de Situações I.B. As três primeiras Situações basicamente só mudam nos seus parâmetros e no fator

problemático. As Situações 5, 6 e 7 versam sobre a Interação de um Campo Magnético devido a uma fonte de Campo Magnético omissa no Problema e uma Carga Elétrica em movimento. A Situação 8 mais se parece com a Situação 4 com duas fontes de Campo Magnético, um aspecto complicador. Foi muito evidente a influência das Situações na conceitualização. Referimo-nos às Situações 4 e 8 por 2 e às Situações 5, 6 e 7 por 1.

Quanto às Interações Magnéticas, possivelmente temos o mesmo efeito de Situação ao introduzirmos os ímãs no grupo de Situações 2. Os alunos parecem possuir uma noção muito breve (mais breve do que a dos alunos do estudo II) sobre a Força Magnética exercida sobre Cargas Elétricas em movimento. Isto é evidenciado pelos três alunos que possivelmente usam o Esquema S.I.B.2. Seis dos alunos parecem apresentar, no entanto, possíveis Operações de Pensamento coerentes com a manipulação de um possível Esquema do tipo S.I.B.3, tratando o Campo Magnético como um fluido.

De forma bastante parecida com os resultados do estudo II, os estudantes pareciam apresentar uma visão do Campo Magnético como intrínseco a materiais magnéticos. Sete alunos pareciam apresentar o Esquema S.I.B.7 e dois possivelmente apresentavam o Campo Magnético como oriundo de polarização de Cargas Elétricas.

Tabela 80: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação de conhecimento prévio em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.B) Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – IV, VIII											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		1		1		1					
3	1				1		1	1	1	1	
4											
5											
6	2	2		2	2	2	2	2	2	2	
N			-								-
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para representar simbolicamente o Campo Magnético – II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
N											

Tarefa 2 – Fluxo Magnético e Lei de Gauss para a Magnetostática

1. Construa três diagramas com linhas de Campo para um ímã que satisfaçam a lei de Gauss para o magnetismo
2. De que maneira os Polos Magnéticos são muito diferentes das Cargas Elétricas?

3. Suponha que você coloque dois ímãs, um próximo ao outro. Suponha agora que o Campo devido a um ímã assuma a forma de um dipolo. Como pode ser apresentado: a) o Campo Magnético resultante? b) o Fluxo deste Campo Magnético resultante? Faça desenhos e diagramas para justificar sua resposta.

As Situações 1 e 3 podem ser enquadradas na classe de Situações A, na qual é necessário representar analogicamente o Campo Magnético no Espaço. Esta aula enfatizou o conceito de Fluxo Magnético. O uso da Representação Analógica do Campo Magnético foi, então, aproximado deste conceito. Reproduzimos aqui a descrição das Situações, já usadas na UEPS de Campo Magnético do Estudo I.

As Situações 2 e 3 requerem a Representação Simbólica do Campo Magnético a partir da distinção desta em relação à Representação Simbólica do Campo Elétrico. Para dominar esta Situação, é fundamental o estabelecimento de referência cientificamente aceita para tal. Os resultados sugerem a compreensão deste aspecto, bem como um entendimento inicial do conceito de Fluxo Magnético como associado ou às Linhas fechadas de Campo Magnético, ou a inexistência de monopolos Magnéticos ou aos dois juntos.

Nesta tarefa, os alunos parecem compreender com relativa facilidade o caráter não monopolar do Campo Magnético e rapidamente relacionam isto aos ímãs, cujo comportamento dipolar parece estar no núcleo dos teoremas-em-ação prévios dos estudantes. A Representação Simbólica adotada por eles possivelmente relaciona a lei de Gauss do Magnetismo ao caráter monopolar do Campo Magnético.

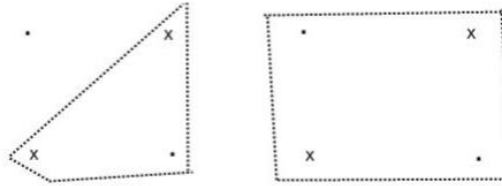
Ao representar analogicamente o Campo Magnético, metade dos estudantes o representa somente no exterior das fontes, indicando possível uso do Modelo Mental M.A.B.1. Os estudantes D e J parecem apresentar um retrocesso que não conseguimos explicar. Outros fatores como o próprio esquecimento podem estar presentes.

Tabela 81: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na segunda tarefa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.A.B) e Modelos Mentais (M.A.B) para Representar Analogicamente o Campo Magnético – I, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
N											
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para Representar Simbolicamente o Campo Magnético – II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
N											

Tarefa 3 – Circulação Magnética e Lei de Ampère para a Magnetostática

1. Cada um dos dois condutores indicados na figura abaixo conduz uma corrente i no sentido para dentro ou para fora da página. Dois caminhos estão indicados para a circulação. Qual o valor da circulação para a) o caminho da esquerda e b) o caminho da direita?



Qual o Campo Magnético em a) e em b)? Justifique.

2. Explique como um ímã pode ser comparado a um condutor de corrente elétrica. Faça as aproximações necessárias e as explicitite.

As duas Situações requerem a Representação Simbólica do Campo Magnético. Ambas requerem o conceito de Circulação do Campo Magnético e o entendimento da lei de Ampère Magnética. A diferença básica entre os elementos da Situação está no fato de na Situação 1, trabalharmos diretamente com Corrente Elétrica e na Situação 2 trabalharmos com Ímãs. A Situação 1 trabalha de forma mais explícita a relação entre Circulação e Campo Magnético.

A Representação Simbólica do Campo Magnético através do conceito de Circulação se dá através da relação destes com as Fontes de Campo Magnético. Isto é importante, pois mostra que os alunos cada vez parecem estabelecer pontes relacionais entre conceitos. É uma forma de evidenciar que os alunos possivelmente dependem cada vez menos de apoios concretos. É também, uma forma de afirmar estarem os estudantes esquecendo, entretanto, o aspecto geométrico. O ideal é um equilíbrio dos dois aspectos, mas a Representação Simbólica relacional já é um grande avanço.

Tabela 82: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na terceira tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para Representar Simbolicamente o Campo – I, II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
N											

Tarefa 4 – Uso da Lei de Ampère para o cálculo de Campos Magnéticos

Uma bobina toroidal, constituída de N espiras, é percorrida por uma corrente i . As expressões para o Campo Magnético da bobina toroidal são:

$$B_{int} = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi R}$$

$$B_{ext} = 0$$

1. Descreva o vetor Campo Magnético (direção, intensidade e sentido) para cada um dos sistemas.
2. Mostre que as expressões dadas (para os campos não nulos, obviamente) satisfazem à lei de Ampère. Obviamente, você terá que escolher uma amperiana particular, pois para uma superfície arbitrária você terá muita dificuldade.
3. Mostre que as expressões dadas (para os campos não nulos, obviamente) satisfazem à lei de Gauss para o magnetismo. Obviamente, você terá que escolher uma gaussiana particular, pois para uma superfície arbitrária você terá muita dificuldade.

As Situações 1, 2 e 3, a princípio requerem Representação Simbólica e Cálculo de Campo Magnético. Focamo-nos em analisar como os estudantes executam estes cálculos para três sistemas de geometria diferente, a saber, um fio longo conduzindo corrente na direção paralela ao seu comprimento, um solenoide muito longo e uma bobina toroidal.

Tabela 83: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quarta tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.C.B) e Modelos Mentais (M.C.B) para calcular Campos Magnéticos – I												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2												
N												

De forma semelhante ao estudo II, o conhecimento da Lei de Gauss parece servir de ponte analógica para facilitar o entendimento conceitual da Lei de Ampère, pois os alunos parecem começar a realizar cálculos de Campos Magnéticos de forma mais conceitual que operacional. Uma “pressão” do professor pela discussão de aspectos conceituais nos cálculos pode ter contribuído, também, para isto.

Tarefa 5 – Corrente Eletrica

1. Explique por que a água ferve em uma garrafa térmica quando colocamos um “rabo quente” nesta.
2. Explique por que ao ligar uma lâmpada, temos a impressão de que a luz se propaga instantaneamente. Dado: a velocidade de deriva dos elétrons de condução é muito pequena.

A tarefa 5 retoma conteúdos da UEPS de Campo Elétrico, tornando mais evidente a descrição microscópica da Corrente Elétrica e usando o Campo Elétrico como causa do movimento ordenado de Cargas Elétricas. Em ambas as Situações requer-se a descrição da Interação entre um Campo Elétrico criado por uma “fonte de Energia Elétrica”.

Na UEPS de Campo Magnético, os alunos parecem compreender melhor o conceito de Campo Elétrico, assim como no Estudo II. A importância do Campo Elétrico como agente da Interação parece ter sido evidenciada na tarefa 5. Somente três dos 11 alunos pareceram usar o Esquema S.I.E.2 para descrever o estabelecimento da Corrente Elétrica em um Circuito Elétrico. Isto é um possível indício de evolução na conceitualização.

Tabela 84: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na quinta tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.E) e Modelos Mentais (M.I.E) para descrever a interação Elétrica – I, II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 6 – Força Magnética sobre Carga Elétrica em movimento

1. Suponha que um elétron seja lançado no plano (x, y) , com velocidade de intensidade v_0 , em uma direção que forme um ângulo θ com o semi-eixo positivo de x . No instante $t = 0$, o elétron está localizado na posição $\vec{r}(0) = R \hat{k}$. Considere, ainda, que exista um Campo Magnético constante ao longo da direção y . Responda aos itens abaixo: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) Qual a direção, o sentido e intensidade, da força magnética exercida sobre o elétron? c) Certamente este elétron está acelerado se $\theta \neq \pi/2$ ou $\theta \neq -\pi/2$. Sabe-se, pela fórmula de Larmor para a eletrodinâmica, que carga acelerada emite radiação. No entanto, estamos estudando magnetostática, uma teoria que não lida com emissão de radiação ou ondas eletromagnéticas. Como você reconciliaria esta aparente contradição? d) Que trajetória é seguida pelo elétron? Obs: a realização de cálculos para este item é opcional. No entanto, deve ser justificada fisicamente. Obs: Para quem quiser executar o modelo matemático para a questão, as equações de movimento são dadas abaixo $\vec{r}(t) = R[\text{sen}(\omega t)\hat{i} + \text{cos}(\omega t)\hat{k}] + v_0 t \text{sen}\theta \hat{j}$. $v(t) = \omega R[\text{cos}(\omega t)\hat{i} - \text{sen}(\omega t)\hat{k}] + v_0 \text{sen}\theta \hat{j}$. As equações diferenciais são do tipo:

$$m\ddot{x} = -q\dot{z}B, m\ddot{y} = 0, m\ddot{z} = q\dot{x}B.$$

Lembro novamente. A questão pede a trajetória explicada fisicamente. A matematização é opcional.

A Situação requer a descrição de Interações Magnéticas entre Campos Magnéticos devidos a fontes omitidas e Correntes Elétricas ou Cargas Elétricas pontuais em movimento. Tal Situação refere-se a Interações entre Campos Magnéticos e uma Carga Elétrica pontual em movimento.

Por alguma razão os alunos parecem continuar usando adequadamente o Campo Magnético de uma perspectiva operacional, mas possivelmente param de usar explicitamente a ideia de Campo Magnético como agente da Interação Magnética. Uma possibilidade explicativa para este retrocesso seja o direcionamento das perguntas na Situação. Pede-se para descrever o movimento do objeto, então o estudante focará no movimento da Carga Elétrica de prova e não na ação do Campo Magnético sobre ela. Obviamente, a atenção à interação entre Carga Elétrica de prova em movimento e o Campo Magnético está estabelecida na determinação da Força Magnética. Depois disto, passa-se a um próximo passo da conceitualização, o do estudo da dinâmica.

Tabela 85: Possíveis Representações Internas usadas pelos estudantes na sexta tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para Descrever a Interação Magnética – I											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 7 – Força Magnética sobre fio de Corrente Elétrica

- Suponha que você coloque um fio de formato arbitrário em um Campo Magnético $\vec{B}(\vec{r})$. Discuta fisicamente, com base na expressão $\vec{F} = i \vec{L} \times \vec{B}$, o mecanismo necessário para conhecermos a força resultante neste fio.
- Um segmento de fio reto de cobre carrega uma corrente i , cuja densidade de massa é dada por λ . a) Como você pode fazê-lo flutuar usando um Campo Magnético? b) Apresente um modelo esquemático da situação. c) Apresente um modelo matemático da mesma.
- Explique por que a passagem de Corrente Elétrica em um fio próximo a uma bússola faz alterar a agulha desta.

As três Situações requerem a descrição de Interações Magnéticas entre Campos Magnéticos devidos a fontes omitidas e Correntes Elétricas ou Cargas Elétricas pontuais em movimento. As Situações 1 e 2 referem-se a Interações entre Campos Magnéticos e Correntes Elétricas. A Situação 3 refere-se a Interações entre o Campo Magnético criado por uma Corrente Elétrica e um ímã. Foi possível notar, nesta tarefa, a integração entre ímãs e Correntes Elétricas no que tange à interação com e à produção de Campo Magnético no Espaço. Guisasola et al. (2004) já haviam apontado esta dificuldade por parte dos estudantes, no entanto, conseguimos avançar com respeito a ela.

As Situações 1 e 3, pela forma que são colocadas fazem com que os estudantes expressem o Campo Magnético como agente da Interação. Ao perguntar-se sobre o mecanismo para o conhecimento da Força Magnética, tiramos o foco da dinâmica do Objeto e o dirigimos para a Interação. Quando pedimos aos estudantes explicarem como a Corrente Elétrica faz alterar a agulha da bússola, o movimento já está determinado, então os estudantes somente precisam descrever o mecanismo de Interação. Desta forma, torna-se simples explicar o porquê os alunos parecem dirigir o Modelo Mental M.I.B.5 para o domínio das Situações 1 e 3.

A Situação 2 guarda semelhança com a 3, mas é possível que os estudantes se refiram mais ao equilíbrio de Forças e à caracterização do Campo Magnético necessário para que seja exercida uma Força Magnética suficiente para sustentar o fio flutuando. No estudo II, houve um resultado parecido.

Tabela 86: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na sétima tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 8 – Comparação entre os Campos Elétrico e Magnético

1. Construa um mapa conceitual a partir da palavra eletromagnetismo no qual você possa comparar os Campos Elétrico e Magnético.

A análise dos mapas constituiu ponto fundamental para o esclarecimento de aspectos concernentes à relação estabelecida pelos alunos entre as Fontes de Campo e o próprio Campo e está, por isto, associada à Representação Simbólica do Campo. Outra relação importante foi estabelecida com respeito ao papel do Campo na interação.

Desta forma, usamos os mapas conceituais construídos, como mais evidências sobre a conceitualização dos estudantes, de forma que suas informações, já diluídas nas informações sobre as Representações Internas adotadas pelos estudantes, seriam redundantes aqui.

Tarefa 9 – Diamagnéticos x Paramagnéticos

1. Um Campo Magnético de 0,50T é aplicado a um gás cujos átomos tem momento de dipolo magnético intrínseco de $1,2 \times 10^{-23} \text{J/T}$. Sabe-se que o torque sobre os átomos deste material é dado por $\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}$. Percebe-se que τ independe da velocidade dos objetos e, assim, podemos escrever, para este caso, em particular, uma energia de interação entre o Campo Magnético e os átomos como $U = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$. Cada um destes átomos com momento magnético está livre para se mover e tem uma velocidade \vec{v} . Pelo conhecido teorema de equipartição de energia, a energia cinética média dos componentes do gás supracitado, tem

uma contribuição de $1,2kT$ para cada grau de liberdade do movimento. Pede-se que/pergunta-se: a) Construa um modelo esquemático da situação. b) O material em questão é diamagnético ou paramagnético? Justifique. c) Qual a temperatura para a qual a energia cinética dos átomos será igual à energia necessária para inverter de 180° estes dipolos neste Campo Magnético. d) Que influências têm o Campo e a Temperatura neste modelo? Você saberia expressar o domínio de validade do mesmo?

A Situação 1 envolve a interação de um material Paramagnético com uma fonte de Campo Magnético. A situação não menciona ser o material Paramagnético, mas menciona ter o material Momento de Dipolo Magnético, desta forma, requer a referência ao conceito de Momento de Dipolo Magnético e, ainda, a relação deste com o conceito de paramagnetismo.

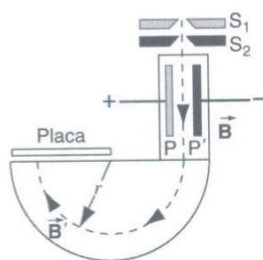
Diferentemente do estudo II, os estudantes pareceram usar o Campo Magnético como agente da Interação Magnética quando em Situações envolvendo materiais Magnéticos. Os estudantes estão propensos a entender a ação de um Campo Magnético em um objeto, visto o Campo Magnético ser apresentado no Problema. Outro ponto é, provavelmente, uma evidência de que os alunos sentem-se mais confortáveis agora do que quando estavam no início do curso com esta ideia.

Tabela 87: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na nona tarefa da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever a interação Magnética – I											
	A	B	C	D	E	G	H	I	J	K	L
1											
2											
3											
4											
5											
N											

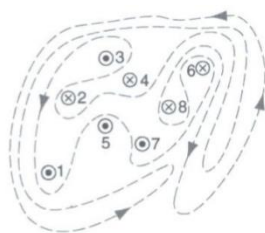
Avaliação Somativa

1. O espectrômetro de massa de Bainbridge, mostrado na figura abaixo, separa íons que têm a mesma velocidade. Os íons, após entrarem através das fendas S_1 e S_2 , passam através de um seletor de velocidade composto de um Campo Elétrico produzido pelas placas carregadas P e P' e um Campo Magnético \vec{B} perpendicular ao Campo Elétrico e à trajetória dos íons. Estes íons que passam sem ser desviados pelos Campos cruzados \vec{E} e \vec{B} entram em uma região onde um segundo Campo Magnético \vec{B}_0 existe e são colocados em trajetórias circulares. Uma chapa fotográfica registra a sua chegada. Qual a relação carga/massa destes íons?



2. Suponha que uma pequena espira de corrente seja colocada em um solenóide muito comprido. O seu momento de dipolo magnético forma um ângulo θ em relação à direção do Campo Magnético. a) Descreva qualitativamente e quantitativamente (por meio de algumas poucas expressões - uma é suficiente) o que ocorre com esta espira de corrente. b) Que relação podemos fazer com o estudo dos materiais paramagnéticos ($M = \frac{C_0 B_0}{T}$)? c) Que relação podemos fazer com os entes constituintes da matéria?

3. Oito fios cortam a página perpendicularmente nos pontos mostrados na figura abaixo. Um fio marcado com o inteiro k ($k=1,2,3,4,\dots,8$) conduz a corrente ki_0 . Para aqueles com k ímpar, a corrente está para fora da página; para aqueles com k par ela está entrando na página. a) Quais correntes contribuem para o Campo Magnético em um ponto dentro da espira amperiana? b) Quais correntes contribuem para a circulação do Campo Magnético ao longo da curva? Justifique suas respostas.



4. A densidade de corrente dentro de um fio cilíndrico, longo e sólido de raio a está na direção do eixo e varia linearmente com a distância radial r ao eixo de acordo com $j = j_0 r/a$. Qual o Campo Magnético gerado por este fio a) Para pontos no exterior do fio? b) Para pontos no interior do fio?

5. Discorra sobre a lei de Ampère, discutindo sua importância para a teoria eletromagnética, relacionando-a com a equação de Gauss do Magnetismo (e esta ao conceito de dipolo magnético), bem como à lei de Biot-Savart.

6. Construa um mapa conceitual tendo o conceito de Campo Magnético como o conceito principal. Capriche no mapa, serão verificadas a quantidade de conceitos e a qualidade das ligações entre eles.

Na avaliação somativa, temos as duas primeiras questões classificadas em I, as questões 3 e 5 classificadas em S, e a questão 4 classificada em C. Abaixo distinguimos entre elas.

O problema 1 apresenta Campos Magnéticos sem explicitar suas fontes e apresenta Campos Elétricos explicitando as fontes através da apresentação de um capacitor de placas paralelas. A Carga Elétrica em movimento é colocada como um feixe. O problema 2 apresenta duas fontes de Campo Magnético, uma espira de Corrente Elétrica e um solenoide muito comprido. É possível discutir-se, também, esta Situação do ponto de vista da Indução Eletromagnética, no entanto, visamos a descrição do Torque exercido pelo Campo Magnético do Solenóide sobre a Espira de Corrente Elétrica.

O problema 3 refere-se a uma distribuição de Correntes Elétricas dadas e requer a distinção entre os conceitos de Circulação e Campo Magnético. Já a Situação 5 é amplamente geral e possibilita o uso, em conjunto com a lei de Ampère, do conceito de Fluxo Magnético. O problema 4 refere-se a uma distribuição de Correntes Elétricas variável ao longo do volume da distribuição.

A avaliação somativa parece mostrar alunos em melhor condição que no estado inicial, mas por alguma razão o desempenho dos alunos em conceitualizar parece mais tímido que no estudo II. Alguns estudantes simplesmente parecem ter feito a prova com displicência, algumas questões em branco. Pareciam apressados para fazer outra coisa, talvez outra prova. Nada justifica, no entanto, o retrocesso com respeito ao bom desempenho apresentado nas atividades em sala.

Com respeito ao cálculo de Campos Magnéticos, 7 dos 11 alunos possivelmente usaram Operações de Pensamento compatíveis com o Modelo Mental M.C.B.2, o que consideramos algo bastante positivo. Quatro alunos não realizaram, no entanto, o problema.

Com respeito à Representação Simbólica do Campo Elétrico, a maioria (seis alunos) parecia conseguir distinguir entre Circulação e Campo Magnético, bem como associar o Campo Magnético às Correntes Elétricas. Dois alunos, no entanto, pareceram degenerar no Modelo Mental M.S.B.6, que confunde as causas para o Campo Magnético com as causas para o Campo Elétrico. Um aluno usou possíveis Operações de Pensamento caracterizando o Campo Magnético como inerente à matéria. Dois alunos não apresentaram inferências para Situação.

Com respeito à descrição de Interações Magnéticas, o número de alunos usando o possível Modelo Mental M.I.B.5 foi de somente três alunos, o que consideramos um número pequeno. Dois outros alunos pareceram não considerar o Campo Magnético como agente das Interações Magnéticas, tratando-os como um mero instrumento matemático. Alguns alunos possivelmente apresentaram Modelos Mentais M.I.B.1, que explicam a Interação Magnética supondo-a como realizada diretamente entre correntes. Isto é um retrocesso.

Tabela 88: Possíveis Representações internas usadas pelos estudantes na avaliação somativa em magnetostática da UEPS de Campo Magnético (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.B) e Modelos Mentais (M.I.B) para descrever Interações Magnéticas – I, II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1			2						2	2	
2						1			1		1
3											
4											
5				1			1	1-2			
6											
N	1-2	1-2	1	2	1-2	2	2			1	
Possíveis Esquemas (S.S.B) e Modelos Mentais (M.S.B) para representar simbolicamente o Campo Magnético – III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3					#						
4											
5											
6										!	!
7									!		

N											
Possíveis Esquemas (S.C.B) e Modelos Mentais (M.C.B) para calcular o Campo Magnético – IV											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
N											

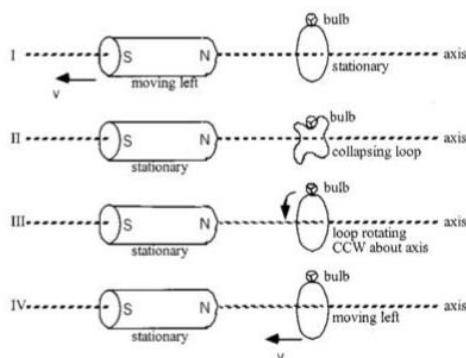
UEPS de Campo Eletromagnético e Indução Eletromagnética

Apresentamos abaixo os resultados da implementação das UEPS de Campo Eletromagnético e Indução Eletromagnética no segundo estudo. Vale lembrar estar esta UEPS em um estudo cujas intervenções didáticas tiveram cunho um pouco mais conceitual que formal.

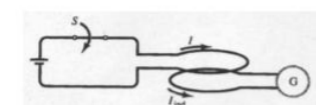
Discutimos a seguir as frequências dos Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação adotados pelos estudantes na UEPS de Campo Eletromagnético e Indução Eletromagnética no terceiro estudo. Discutimos ao longo do texto, as possíveis razões de os alunos terem adotado as seguintes concepções. Buscamos levar em conta o conhecimento prévio adquirido pelos estudantes nas UEPS de Campo Elétrico e de Campo Magnético.

Tarefa 1 – Avaliação de conhecimento prévio sobre Indução Eletromagnética

1. Construa um mapa conceitual cujo conceito fundamental seja o de Indução Eletromagnética. Coloque o que conhece no mapa.
2. As cinco figuras abaixo envolvem um ímã cilíndrico e uma pequena lâmpada conectadas aos terminais de uma espira de cobre. O plano da espira é perpendicular ao eixo de referência. Os estados de movimento do ímã e da espira estão indicados no diagrama. A velocidade é representada por v . Em qual destas figuras a lâmpada acenderá? a) I, III, IV b) I, IV c) I,II,IV d) IV e) Nenhuma destas.



3. Quando o circuito de cima, na figura abaixo, é aberto, detecta-se experimentalmente que o amperímetro G no circuito de baixo registra uma corrente. Explique em detalhes por que uma corrente aparece no circuito de baixo.



4. Um solenoide muito comprido conduz uma corrente $i(t) = i_0 \text{sen}(\omega t + \varphi)$, como varia o Campo Magnético deste? O que podemos falar, qualitativamente, do Campo Elétrico no espaço?

As Situações 2 e 3 estão enquadradas na Classe de Situações I.J. A Situação 2 envolve o movimento relativo entre ímãs e espiras - Objetos interagentes explicitados e fonte explicitada - e uma consequente FEM induzida na espira. A natureza da FEM, ou seja, se associada à ação de um Campo Elétrico ou de um Campo Magnético, é dependente do referencial adotado. A Situação 3 envolve a Interação entre dois Circuitos de Corrente, ocorrendo em um deles, condução de Corrente Elétrica variável. A natureza da Interação, isto é, se realizada pelo Campo Elétrico ou pelo Campo Magnético, é fundamental na distinção.

A Situação 4 apresenta uma fonte de Campo Magnético, a saber, um solenoide conduzindo Corrente Elétrica variável. Requer-se a Representação Simbólica do Campo Elétrico criado no Espaço simultaneamente à variação temporal do Campo Magnético devido à variação da Corrente Elétrica do Circuito. Quanto ao mapa conceitual, já discutimos diversas vezes o fato de não se enquadrarem unicamente em uma das classes de Situações.

Quanto à descrição das Interações Eletromagnéticas, o aluno C parece apresentar uma descrição na qual o Campo Eletromagnético é fundamental para a explicação, porém não tomado como agente da Interação Eletromagnética. Quatro alunos parecem tomar o Campo Eletromagnético como transportador de Energia, o que nos parece interessante para esclarecer algumas coisas. Estes estudantes parecem associar o Campo Eletromagnético ao agente da Interação Eletromagnética e ele existe no Espaço e transporta Energia e Momentum. Outros estudantes tentam explicar as Interações a partir da fixação funcional ao conceito de Campo Magnético estático.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Magnético, somente quatro alunos parecem associar a existência de um Campo Elétrico a um Campo Magnético variável. O conhecimento de Indução Eletromagnética existe, no entanto é bastante amplo para a maioria. A maior parte do conhecimento possivelmente advém dos conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético.

Tabela 89: Possíveis Representações Internas adotadas pelos estudantes durante a atividade de análise de conhecimento prévio sobre Eletrodinâmica da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para Descrever Interações Eletromagnéticas – II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5	#B				#B			#B	#B	#B	
6											
N											
Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – IV											

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Tarefa 2 – Lei de Faraday-Lenz: Campos Elétricos induzidos por Campos Magnéticos variáveis

-
1. É possível apresentar um exemplo de situação na qual seja possível afirmar, seguramente, que: você tenha um Campo Elétrico induzido, devido a variação do Campo Magnético?
 2. Suponha que você tenha três situações distintas. A figura abaixo mostra um Campo Magnético uniforme \vec{B} limitado a um volume cilíndrico de raio R . \vec{B} está decrescendo em intensidade a uma taxa constante. Qual a aceleração instantânea (direção, sentido e módulo) experimentada por um elétron posicionado em r_1 , em r_2 e no centro da circunferência?
 3. Um solenóide de comprimento L e raio R (sendo $R \ll L$), com n espiras por unidade de comprimento, conduz uma corrente $i(t) = i_0 \sin(\omega t + \varphi)$. O que se pode afirmar (quantitativamente e qualitativamente) sobre o Campo Magnético e sobre o Campo Elétrico induzido no mesmo?
-

As Situações 1 e 3 estão associadas à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. Na Situação 1, não se menciona a fonte de Campo Magnético variável para criação do Campo Elétrico, algo feito na Situação 3, na qual há a menção ao solenóide conduzindo Corrente Elétrica alternada. De toda forma, a Situação requer a descrição de Campos Elétricos e Magnéticos no Espaço. Reiteramos ter repetido a descrição das Situações para evitar com que o leitor retorne a páginas passadas no trabalho.

A Situação 2 é dupla. É preciso descrever a Interação Eletromagnética entre um Objeto Eletricamente Carregado e um Campo Eletromagnético criado por uma fonte omitida no Problema. Os estudantes devem calcular explicitamente o Campo Elétrico induzido no Espaço pelo Campo Magnético variável.

Por já ter certo domínio dos conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético, os estudantes conseguem, após a primeira aula, relacionar as ideias apresentadas e, então, associar a um Campo Magnético variável no tempo, um Campo Elétrico. Todos os alunos estabelecem uma Representação Simbólica relacional entre as duas grandezas. Isto é importante, pois os estudantes começam a estabelecer as fontes para o Campo Eletromagnético.

Quanto à descrição das Interações Eletromagnéticas, os estudantes possivelmente consideram, em geral, a ação do Campo Eletromagnético sobre uma Carga Elétrica de prova. Quatro estudantes parecem aplicar, no entanto, raciocínios de senso comum para a descrição de Interações Eletromagnéticas. Quando descrevem a ação da Força Magnética, parecem levar em conta que o Campo Elétrico na região

exterior à de variação do Campo Magnético é nulo, pois nestes pontos o Campo Magnético é nulo.

Outro aspecto importante é o cálculo do Campo Eletromagnético realizado de forma conceitual. Isto é explicado pelo aparente progresso dos estudantes neste sentido. É possível evidenciar um salto, a saber, a associação de Significados a expressões matemáticas, algo muito custoso aos estudantes no início do curso.

Tabela 90: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a primeira atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético – I, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
N											
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever Interações Eletromagnéticas – II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5					#		#		#		#
N											
Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para Calcular Campos Eletromagnéticos											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
N											

Tarefa 3 – Lei de Faraday-Lenz: Correntes Elétricas induzidas por variação de Fluxo Magnético

1. Existe alguma diferença entre os conceitos de Campo Elétrico induzido no espaço e Corrente Elétrica induzida em um circuito? Isto é, um destes conceitos é mais geral que o outro ou difere do outro em natureza? Explique.

2. Estabeleça a distinção entre os conceitos de Força Eletromotriz e Diferença de potencial. Use as suas definições em um contexto específico, a saber uma espira de corrente com resistência R .

3. Uma barra metálica horizontal PQ de comprimento l e massa m escorrega com atrito desprezível sobre dois trilhos verticais unidos por uma haste horizontal fixa de resistência R . A resistência da barra e dos trilhos pode ser desprezada em confronto com R . O conjunto está situado num Campo Magnético horizontal uniforme entrando no plano da página. a) Qual é o sentido da corrente induzida? b) Qual é a aceleração da barra? c) com que velocidade terminal v_0 ela cai? d) Qual é o valor correspondente da Corrente Elétrica? e) Discuta o balanço de energia na situação terminal.

A Situação 1 requer a Representação Simbólica do Campo Eletromagnético e para a realização do processo de conceitualização, é fundamental a distinção entre os conceitos de Campo Elétrico, FEM e Corrente Elétrica. Nenhuma fonte é explicitada, cabe ao aluno leva-las em consideração.

As Situações 2 e 3 estão associadas à Interação Eletromagnética entre Campos Magnéticos e Objetos em movimento. Microscopicamente, a Corrente Elétrica induzida é efeito de uma Força Magnética, macroscopicamente, relaciona-se à variação do Fluxo Magnético. Dois elementos mais notáveis podem ser destacados nas Situações. Na segunda, temos explicitada uma fonte de Campo Magnético não uniforme (f_e e $\vec{B}[\vec{r}]$). Na terceira, temos não explicitada uma fonte de Campo Magnético uniforme (f_o e \vec{B}).

Quanto à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético, vemos que os estudantes possivelmente apresentam, em sua maioria, o Modelo Mental M.S.J.3 relacionando o Campo Eletromagnético às suas fontes. Quatro alunos parecem fazer referência aos mapas de Vetores de Campo Elétrico induzido como associados a Linhas fechadas.

Quanto à descrição de Interações Eletromagnéticas, as Situações possuem Campos Magnéticos uniformes e circuitos em movimento na região destes Campos Magnéticos. A maioria dos estudantes (sete) parece usar os Modelos Mentais M.I.J.6 explicando a Interação Eletromagnética de forma macroscópica (como variação de Fluxo). Os Quatro alunos restantes possivelmente usam um Modelo Mental do tipo M.I.J.2, tratando a Força Magnética como exercida numa corrente, mas sem considerar o Campo Magnético necessariamente como agente da Força e tomando a FEM como associada a um Campo Elétrico não eletrostático.

Tabela 91: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a terceira atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para representar simbolicamente o Campo Eletromagnético – I											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para Descrever a Interação Eletromagnética – II e III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
N											

Tarefa 4 – Geradores e Motores

1. Descreva uma forma de transformar gordura em energia elétrica.

2. Nos geradores em que o rotor é um eletroímã localizado internamente a um estator constituído por bobinas, para manter o movimento de rotação é necessário um torque externo, além daquele realizado contra as Forças de atrito. Discuta a necessidade desse torque externo na manutenção do movimento do rotor, partindo do princípio de que na ausência de torques externos a quantidade de movimento angular (momento angular) se mantém constante.

3. Descreva como podemos construir um ventilador usando um motor. Descreva o processo, levando em conta a FEM estabelecida nele e a FCEM devida às correntes induzidas associadas à variação do Fluxo do Campo Magnético.

As três Situações são referentes à classe de Situações I.J. As três Situações são, no entanto, distintas em *parâmetros* e *elementos*. Na Situação 1 apresentamos um problema bastante geral, de transformar a Energia Química da gordura em Energia Elétrica. Não mencionamos como fazê-lo, só pedimos aos alunos a idealização de um mecanismo para realizar a transformação.

Já na Situação 2, são mencionados o eletroímã como fonte de Campo Magnético estacionário, a bobina, e pergunta-se sobre o balanço dos Torques exercidos sobre a bobina no problema. A Situação não envolve diretamente a Corrente Elétrica induzida, mas pressupõe o seu uso no processo de conceitualização.

Na Situação 3, requer-se a descrição do funcionamento de um motor de ventilador. Não se apresenta diretamente os componentes deste motor, logo para o domínio da Situação, é fundamental o estabelecimento da referência a objetos interagentes, bem como à lei de Interação entre eles.

Ao se pronunciarem sobre Geradores, os alunos possivelmente fazem referência à Força Eletromotriz induzida pela variação de Fluxo Magnético. Desta forma, os sete alunos realizando a tarefa parecem encarar as Correntes Elétricas induzidas de forma macroscópica, isto é, sem fazer menção à ação dos Campos Eletromagnéticos (Guisasola et al., 2010). Este traço não ficam evidentes quando as Situações envolvem Campos Magnéticos variáveis.

Tabela 92: Possíveis Representações Internas adotadas pelos estudantes durante a quarta atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para descrever a Interação Eletromagnética – I, II, III											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
N					-		-		-		-

Tarefa 5 – Corrente de Deslocamento

1. O que você entende por corrente de deslocamento?
2. Como a Lei de Faraday-Lenz $\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot \hat{n} dS$ pode ser comparada à de Ampère-Maxwell $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot \hat{n} dS$?
3. Imagine um capacitor de placas paralelas cuja carga em cada uma das placas varia de forma senoidal com o tempo. Qual seria a forma do Campo Magnético gerado no interior do mesmo?

As duas primeiras Situações envolvem Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. A primeira requer a discussão acerca do Significado do conceito de Corrente Elétrica de Deslocamento. A segunda requer a comparação entre as leis de Ampère-Maxwell à de Faraday-Lenz através da ideia genérica de Indução. Em nenhuma delas, as fontes de Campo Elétrico ou Magnético são apresentadas. Neste estudo, resolvemos apresentar a tarefa após as aulas sobre Corrente de Deslocamento.

A terceira questão envolve o cálculo de Campos Magnéticos a partir de Campos Elétricos variáveis. Desta forma, é possível analisar como os estudantes conceitualizam durante o cálculo de um Campo Elétrico ou Magnético, pois calcular também é uma competência necessária a ser desenvolvida em um curso de Física. O cálculo desprovido de uma Representação Interna dotada de Significados e de relações estabelecidas entre conceitos e através da Referência a objetos através destes conceitos é, no entanto, indício de Aprendizagem Mecânica.

Quanto à Representação Simbólica do Campo Eletromagnético no Espaço, os estudantes apresentam o possível Modelo Mental M.S.J.3 na Situação 1 e quatro parecem usar o Modelo Mental M.S.J.4 na Situação 2. Os estudantes possivelmente conseguem perceber, provavelmente pelo conhecimento prévio já adquirido e pela visão integradora apresentada para a lei de Ampère-Maxwell, que o Campo Elétrico variável é fonte de Campo Magnético de Linhas fechadas.

Tabela 93: Possíveis Representações internas adotadas pelos estudantes durante a quinta atividade da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo III)

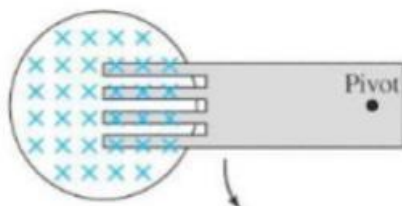
Possíveis Esquemas (S.S.J) e Modelos Mentais (M.S.J) para Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético no espaço – I, II											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
N											

Avaliação Somativa

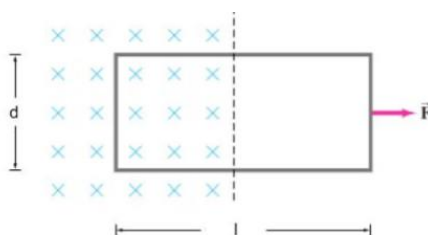
1. Suponha duas cargas pontuais q e $-q$ ⁹³ dispostas sobre o eixo x em $x = -a$ e $x = a$, com uma corrente $i = -dq/dt$ ao longo da linha entre elas. a) Que forma assume a expressão para a intensidade do Campo Magnético (requere-se: use a lei de Ampère-Maxwell)? Justifique conceitualmente em um ponto P sobre o eixo y , a uma distância R desta linha? b) Qual o valor para a corrente total (de condução e de deslocamento).

2. Explique, detalhadamente, o que você entende pelo conceito de Campo Eletromagnético. Como você relacionaria este conceito ao de Campo, ao de Força Eletromagnética e ao de Indução Eletromagnética?

3. A barra de metal com ranhuras na figura abaixo cai muito mais rápido através de um Campo Magnético do que uma barra sólida. Explique por que.



4. Parte de uma bobina retangular simples com dimensões mostradas na figura abaixo é situada em uma região de Campo Magnético de intensidade B . A resistência total da bobina é r . Calcule a Força necessária para retirar a bobina do Campo (para a direita) a uma velocidade constante v . Desconsidere a gravidade.



5. Se o sol desaparecesse ou de alguma forma mudasse rapidamente, explique por que demoraria para percebermos esta variação somente oito minutos depois. Quer dizer que agora estamos vendo luz do passado?

6. Construa um Mapa conceitual a partir do conceito de Campo Eletromagnético

A Situação 1 requer o cálculo do Campo Magnético no Espaço criado por uma Corrente Elétrica e por um Campo Elétrico variável no tempo. A Situação apresenta a Corrente Elétrica como fonte do Campo Magnético, mas não chama a atenção para o fato de haver um Campo Elétrico variável. Este aspecto é importante para identificar espontaneidade no uso da ideia de Indução Eletromagnética.

As Situações 3 e 4 podem ser enquadradas na classe de Situações de descrição de Interações Eletromagnéticas. A Situação 3 envolve o movimento é sob ação da Força Gravitacional na Situação 3, enquanto a Situação 4 é exigido o movimento com velocidade constante. Outra diferença diz respeito às fontes. Nas Situações 3 e 5, as fontes são Campos Magnéticos uniformes devido a fontes ocultas.

⁹³ Não se menciona o fato de as Cargas Elétricas variarem. Espera-se que os estudantes percebam isto e relacionem este aspecto à variação do Campo Elétrico resultante no Espaço.

É possível perceber que os estudantes apresentam dificuldades com a questão (difícil, diga-se de passagem) para cálculo do Campo Magnético devido a uma distribuição de Cargas Elétricas variáveis. O principal fator pode ser a dificuldade da questão, visto terem os alunos, em sua maioria, não terem escrito nada sobre a questão. Outro fator pode ser a segurança destes com respeito à aprovação na disciplina.

Quanto aos problemas da Classe I, fica evidente a maior facilidade de os alunos relacionarem as explicações a aspectos macroscópicos. Vale ressaltar termos apresentado ambas as visões aos alunos, no entanto, vemos ter sido mais significativa a versão macro. Os alunos devem compreender a ação dos Campos Eletromagnéticos sobre a matéria, mas talvez este seja um passo maior a ser dado.

As Situações 2 e 5 envolvem a Representação Simbólica do Campo Eletromagnético. Na Situação 5, há o Sol como fonte do Campo Eletromagnético e a relação com o atraso de um sinal eletromagnético ao longo do tempo. A questão 2 é aberta e deixa o estudante livre para apresentar seu entendimento sobre o Campo Eletromagnético.

Tabela 94: Possíveis Representações Internas adotadas pelos estudantes durante a avaliação somativa da UEPS de Indução Eletromagnética (Estudo III)

Possíveis Esquemas (S.C.J) e Modelos Mentais (M.C.J) para calcular o Campo Eletromagnético – I											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2										#	
N											
Possíveis Esquemas (S.I.J) e Modelos Mentais (M.I.J) para Descrever a Interação Eletromagnética – III, IV											
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2											
3											
4											
5											
6											
N											

A seguir fazemos uma síntese dos resultados da pesquisa e discutimos tanto implicações didáticas das UEPS como da proposta inicial do Campo Conceitual do Eletromagnetismo.

6. DISCUSSÃO

Dividiremos a discussão em cinco partes. As quatro primeiras visam responder com maior clareza possível às quatro perguntas de pesquisa feitas ao longo do trabalho, com o intuito de sintetizar o trabalho. A outra remete a uma importante questão, a saber, a de quais as possíveis limitações de processo podem ocorrer na implementação de uma UEPS. Desta forma, apresentamos os tópicos em formas de respostas a perguntas de pesquisa.

6.1. Como ocorre a construção das possíveis representações internas e uso de possíveis Operações de Pensamento dos estudantes relativas ao Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?

Dividiremos em quatro partes a discussão sobre o emprego de Representações Internas pelos alunos ao longo da aplicação das UEPS. Na primeira discutiremos a importância da introdução da UEPS de Campo no Estudo II e implementação da mesma no estudo III. Na segunda estabeleceremos algumas comparações entre as UEPS de Campo Elétrico nos três estudos e apresentaremos os pontos de destaque nestes. Na terceira e na quarta partes estabeleceremos um panorama semelhante, no entanto, com respeito às UEPS de Campo Magnético e de Indução Eletromagnética.

Na UEPS de Campo

Quanto à UEPS de Campo empregada no segundo estudo e no terceiro estudo, e feita em função da necessidade de uma preparação prévia dos estudantes para adentrar ao conceito, obtivemos alguns resultados interessantes como, por exemplo, a introdução do Modelo de Interação entre partículas e Campos e a facilitação da construção das Representações Analógica e Simbólica nas UEPS posteriores.

Deve-se destacar, em primeiro lugar, que esta UEPS não visa à compreensão aprofundada da ideia de Campo, pois em seis aulas é impossível o domínio completo de um conceito tão complexo. O objetivo foi como acabamos de mencionar, a facilitação do entendimento da função e da ontologia do conceito.

O primeiro ponto de destaque é o de grande parte dos alunos parece associar as fontes ao Campo, a partir de um conceito previamente estudado, a saber, o de Campo Gravitacional (no caso as fontes seriam a massa). A dificuldade de estabelecer esta importante relação é apontada na literatura, em especial, por Martin e Solbes (2001). Desta forma, a provável associação descrita conta como ponto positivo para o trabalho.

Grande parte dos estudantes indica a possibilidade de conseguir, também, iniciar o domínio do processo de Representar Analogicamente o Campo Gravitacional, em especial fora das fontes, e parecem começar a se apropriar da ideia de o Campo possuir Energia. A Representação Analógica feita somente fora das fontes pode indicar a ideia de Campo existindo no espaço fora destas. Deve ser enfatizado que o Espaço no qual existe este Campo inclui, também, o interior das fontes.

Um ponto a ser salientado e natural de ocorrer é o de muitos alunos não compreenderem com ampla clareza, em alguns casos, os conceitos de Fluxo e de Circulação como projeções da função Vetorial Campo (resultante) sobre uma Superfície Gaussiana ou sobre uma Curva Amperiana. Ocorre também de, em poucos casos, alguns confundirem os mesmos com o próprio Campo. Além de serem conceitos novos e abstratos, os estudantes, em geral, não estudaram cálculo íntegro-diferencial vetorial. Esperou-se, portanto, evidenciar possibilidades de Aprendizagem Significativa destes conceitos ao longo da abordagem.

Muitos alunos acabam por associar os conceitos de Fluxo e de Circulação às Fontes de Campos Eletromagnéticos no final do curso. Isto é importante, pois segundo Guisasola et al. (1998), uma das maiores dificuldades dos estudantes é compreender a esta relação fontes e Campo. Outros alunos associam os conceitos de Fluxo e de Circulação facilmente à forma das Linhas de Campo no Espaço.

A ideia do Fluxo e da Circulação como projeções dos Campos Elétricos e Magnéticos é pouco usada pela maior parte dos estudantes, mas é importante para a compreensão inicial tanto do Campo Elétrico como do Campo Magnético. A noção de compreensão dos conceitos como projeções dos Campos resultantes no espaço, devidos a todas as Fontes, sobre uma Superfície Gaussiana fechada, sobre uma Curva Amperiana fechada ou sobre a Superfície envolta por uma Curva Amperiana, é deixada de lado. O entendimento dos estudantes é mais estrutural-local do que relacional-global.

Pode-se observar parecer ser positiva uma introdução com seis aulas na instrução, pois fornece o tempo necessário para o aluno assimilar, de forma introdutória, a ideia de Campo. Obviamente, esta facilitação parece ser em longo prazo, algo completamente coerente com as ideias de Vergnaud (1983). São conceitos complexos e, em geral, ainda não discutidos em algum curso contemplando cálculo vetorial.

No *estudo II* parte majoritária dos estudantes não descrevia Interações usando o conceito de Campo e quando o usavam, o faziam de forma bastante geral, sem se pronunciar de qualquer maneira sobre a ontologia do conceito. Ao longo da UEPS, as Representações Internas variaram consideravelmente, algo entendido por nós como uma reinterpretação do entendimento de Interações incluindo o conceito de Campo. Evidencia-se, portanto, a importância atribuída pelos alunos ao conceito nas explicações e pode-se indicar a construção de Modelos Mentais para dominar as Situações.

Ao longo das tarefas, muitos estudantes oscilavam entre o possível uso de Modelos Mentais M.I.5, M.I.4 e, algumas vezes, pareciam usar Modelos M.I.3. Deve-se destacar, no entanto, o possível uso de Modelos Mentais M.I.2 que, podem indicar automatização do Modelo Mental M.I.5, influência da Situação na ativação de Conhecimentos-em-ação para a construção do possível Modelo Mental ou mesmo o seu próprio uso.

No primeiro caso, a ideia de Campo já parece ser natural para o estudante, no segundo, a Situação possivelmente lança os estudantes a uma interpretação mais

operacional e no terceiro, o estudante parece realmente ter entendido o Campo de uma perspectiva mais instrumental que ontológica.

Na tarefa 5, todos os estudantes conseguiam representar analogicamente o Campo Gravitacional fora das fontes. Metade estava, no entanto, consciente da necessidade da Representação no interior das fontes, enquanto a outra metade não tomou isto em conta. Para uma primeira abordagem, consideramos frutíferas as Representações feitas.

Na tarefa 6, início do curso de Eletromagnetismo, a maior parte dos estudantes evidenciou um possível entendimento mais fundado em aspectos geométricos e pictóricos do Campo, ou seja, estes alunos pareciam fazer referência mais às linhas fechadas do que às fontes do Campo, embora conseguissem êxito em classificá-las como tal, bem como associá-las ao Campo. Ao longo do tempo este panorama foi mudado. Deve-se destacar o fato de somente um aluno ter confundido os conceitos de Fluxo e de Circulação com o Campo, algo que, segundo Furió e Guisasaola (2008) é muito comum.

No *estudo III* muitos estudantes inicialmente não descreviam as Interações usando o conceito de Campo (Martin e Solbes, 2001; Llancacqueo et al, 2003). Desta forma, o conhecimento prévio dos alunos participantes deste estudo, parecia estar aquém do necessário para Aprendizagem Significativa da ideia de Campo. Estes estudantes, no entanto, possivelmente apresentavam uma noção relevante sobre a ideia de Interações, o que tornou viável a implementação das UEPS.

Ao longo das tarefas, as possíveis Representações Internas dos estudantes variaram, mas de forma mais uniforme quando comparada ao estudo II. Na segunda tarefa, por exemplo, é possível evidenciar possíveis Representações Internas ontologicamente substancialistas (Pocovi e Finley, 2003) acompanhando o processo histórico de aquisição de conhecimento. A maioria dos estudantes apresenta este tipo de raciocínio, enquanto outra parte apresenta um Modelo Mental mais próximo ao cientificamente aceito.

Em outras tarefas, a frequência de uso de Modelos Mentais varia, mas apresenta avanços. Na terceira tarefa, os alunos apresentando uma concepção substancialista-choquista, trabalham com a ideia do Campo como suporte para propagação de energia, ideia incorporando o caráter imaterial do Campo. Na quarta aula, parece ocorrer o retrocesso M.I.5 → M.I.4, isto é, antes o aluno apresentava evidências de possível uso de M.I.5 e posteriormente pareceu construir M.I.4, o que nos levou a reconsiderar a forma da mesma para implementação em próximos estudos.

Na quinta aula, pudemos notar certa facilidade de muitos alunos em Representar Analogicamente o Campo no exterior das fontes, mas a maioria deles permanece inconsciente com respeito à sua Representação no interior destas fontes. É importante reconsiderar, talvez, algumas tarefas colocando alguma ênfase neste ponto. Deve-se destacar, no entanto, ter parecido ser frutífera a facilitação da construção de

Representações Analógicas, pelo menos no exterior às fontes, que são os tipos de Situações com as quais mais nos deparamos em problemas de Física.

A tarefa da sexta aula sugere uma possível divisão dos alunos com respeito à forma da Representação Simbólica. Metade deles parece conseguir associar os conceitos de Fluxo e de Circulação a aspectos mais relacionais como, por exemplo, a fonte de Campo, enquanto outra metade parece construir possíveis Representações Internas mais pictóricas expressando o formato de Linhas de Campo. Este tipo de conceitualização distingue-se um pouco da possivelmente realizada pelos estudantes do segundo estudo, pois a maioria destes indicava o uso de Modelos Mentais M.S.2 (Representação Simbólica fazendo referência à forma do Campo).

A seguir, discutimos os resultados da aplicação das UEPS de Campo Elétrico.

Na UEPS de Campo Elétrico

As UEPS de Campo Elétrico do primeiro estudo tiveram a tendência de serem mais formais que as segundas, um aspecto com o qual nos preocupamos. Buscamos diminuir um pouco da formalização e aumentar a discussão qualitativa, inserindo mais situações concretas em comparação com situações gerais e abstratas. Ao falarmos de interação entre cargas, por exemplo, no segundo estudo, trouxemos o exemplo da reprodução da molécula de DNA.

Na UEPS associada ao *Estudo I*, grande parte dos estudantes parecem ter compreendido inicialmente o significado da Lei de Gauss, a saber, o de as cargas serem fontes do Campo Elétrico. A equação de circulação não parece ficar, no entanto, tão claramente compreendida, talvez pela abordagem um pouco mais formal e que enfatiza o papel conceitual da circulação ao discutir o conceito de potencial. Como consequência, os muitos alunos parecem compreender bem o conceito de potencial e de Campo Elétrico conservativo, mas a circulação parece ser algo relativamente isolado na estrutura cognitiva.

Os alunos indicam bom uso operacional da lei de Força devida ao Campo Elétrico, embora alguns não pareçam mencionar o Campo Elétrico como agente desta Força Elétrica. Este aspecto ontológico do Campo Elétrico imaterial exercendo Forças Elétricas sobre objetos Eletricamente carregados pode ser mais bem observado nos mapas conceituais e nas perguntas requerendo uma explicação mais ontológica que operacional do Campo Elétrico. Os alunos possivelmente conseguem distinguir entre os conceitos de Campo Elétrico e de Força Elétrica, além de possivelmente diferenciar as diferenças de Energia Potencial das diferenças de Potencial. Poucas ocorrências do Modelo Mental de Campo Elétrico como Fluido parecem ter sido evidenciadas.

No Estudo I as possíveis Representações Internas inferidas para os estudantes relativas a Interações Elétricas ainda são muito fragmentadas e as relações estabelecidas por eles focam mais aspectos associados a Circuitos Elétricos e Elementos destes

(bobinas, resistores, etc.). Ao longo das tarefas, os alunos apresentam evolução nas suas Representações Internas e nas Operações de Pensamento.

Muitos alunos possivelmente constroem primariamente Modelos Mentais do tipo M.I.3 e, aos poucos, parecem construir Modelos Mentais mais adequados e, geralmente, os Modelos Mentais parecem oscilar entre M.I.E.2 e M.I.E.5, possivelmente apresentando posterior estabilização, para a maioria dos casos em M.I.E.5 ao longo das últimas tarefas. É um caminho epistemológico grande a percorrer e as UEPS parecem ter facilitado a aquisição de conhecimentos deste tipo.

Provavelmente em função do viés do primeiro estudo ser mais formal, os alunos desenvolveram possíveis Modelos Mentais com caráter mais instrumental para calcular o Campo Elétrico. É interessante perceber na tarefa 6 uma variação deste sentido. No restante das tarefas os estudantes, em geral, parecem adotar condutas menos voltadas à descrição física das etapas de um cálculo.

Quanto à Representação Analógica, a maioria dos alunos possivelmente não enfrenta muitas dificuldades em Representar Analogicamente o Campo Eletromagnético tanto fora como dentro das distribuições de Carga Elétrica. Os estudantes evidenciaram possível compreensão acerca do Espaço no qual existe o Campo Elétrico como envolvendo o interior das fontes, pois era frequente apresentarmos problemas nos quais era preciso calcular o Campo Elétrico no interior das fontes.

Com respeito à Representação Simbólica, grande parte dos estudantes parecia estar mais inclinada aos aspectos geométricos, isto é, mais pictóricos que abstratos. Deve-se apontar, no entanto, que bastantes estudantes possivelmente iniciaram com uma visão majoritariamente pictórica e assimilaram vários aspectos relacionais, com destaque à compreensão de o Fluxo do Campo Elétrico ser proporcional à Carga Elétrica no interior da Gaussiana e do Campo Elétrico ser gerado por Cargas Elétricas.

Na UEPS associada ao *Estudo II* e, em especial no terceiro estudo, os aprendizes indicam possíveis concepções alternativas com respeito ao Campo Elétrico como, por exemplo, a de que “em isolantes não há Campo Elétrico”. Muitos alunos, inicialmente, já parecem conseguir representar, no entanto, Campos Elétricos através de linhas de Força. É comum, no entanto, no início da abordagem eles parecerem considerar, inconscientemente o Campo Elétrico se comportando como um Fluido no espaço em Situações envolvendo condutores e isolantes. Esta analogia foi frutífera para Lord Kelvin, mas ele tinha consciência da analogia.

Um ponto a ser ressaltado é o da escolha, em geral, correta, porém implícita, da Superfície Gaussiana para uso operacional da lei de Gauss. Os alunos parecem apresentar, na sua maioria, clareza na ideia de a lei de Gauss relacionar o Fluxo, sobre a Superfície Gaussiana, do Campo Elétrico devido a todas as cargas elétricas do problema.

Assim como muitos alunos do estudo I, muitos parecem distinguir entre Campo Elétrico, Força Elétrica, Diferença de Potencial e Energia Potencial. Estes alunos, no entanto, pouco falam sobre a circulação, só mencionando-a quando falam do caráter conservativo do Campo Eletrostático. Isto pode ser entendido como uma possível compreensão mais voltada à fonte do Campo Elétrico da lei de Gauss, pois como a lei de Circulação associa-se de forma indireta às fontes, isto é, pelo princípio da Superposição, torna-se mais restrita a associação deste conceito a um aspecto conhecido.

Antecipamos acontecer um efeito de fonte semelhante em Magnetostática. Como os estudantes relacionam as Correntes Elétricas ao Campo Magnético pela Equação de Circulação (Lei de Ampère), há evidência de maior clareza no entendimento da ideia de Circulação do Campo Magnético do que da de Circulação do Campo Elétrico.

Ponto positivo a ser ressaltado, ainda, é o de a maioria compreender de forma inicial a blindagem do Campo Eletrostático e de conseguir identificar com bastante facilidade as Cargas Elétricas como fontes do Campo Elétrico. Evidencia-se o possível uso de um Modelo Mental integrado, candidato a Esquema de Assimilação, do Campo Elétrico como interagindo com as Cargas Elétricas e do uso do Princípio da Superposição. Parecem evocar o Esquema para descrever interações Elétricas da forma cientificamente aceita, isto é, usando o conceito de Campo Elétrico e a Força de Lorentz.

A disjunção das situações nas quais se pede uma descrição ontológica do Campo ou mesmo a construção de um mapa conceitual e o uso da Lei de Lorentz para a resolução de problemas sugere o uso implícito da ideia de Campo como agente da execução da Força. Alguns alunos, em geral, com boa capacidade de expressão linguística, explicitam isto, outros, o fazem mais implicitamente. Alguns alunos cometem erros de percurso, mas compreendem substantivamente o processo.

No *estudo II*, inicialmente boa parte dos estudantes parecia usar três Esquemas distintos para abordar Situações da Classe I.E (Descrição de Interações Elétricas), a saber, S.I.E.1⁹⁴, S.I.E.2⁹⁵ e S.I.E.3⁹⁶. Quando somente as Cargas Elétricas são mencionadas, os estudantes possivelmente usam S.I.E.1, quando se coloca o Campo Elétrico, em geral, os estudantes parecem abordá-lo de forma mais operacional parecendo usar o Esquema S.I.E.2, e quando se introduzem condutores e isolantes, os alunos parecem apresentar os Esquemas S.I.E.3.

Quanto à classe de Situações I, parte considerável dos estudantes oscila, construindo representações internas mais próximas ao conhecimento cientificamente aceito na tarefa 6, quando introduziu-se a relação mais formal entre Força Elétrica e

⁹⁴ Explica Interações sem usar o conceito de Campo Elétrico.

⁹⁵ Abordando o conceito de Campo Elétrico como ontologicamente diferentes, mas sob um aspecto mais instrumental.

⁹⁶ Entendendo os Campos Elétricos como fluidos.

Campo Elétrico. Na última avaliação, vemos que embora algumas possíveis Representações Internas estejam em rota de estabilização, os alunos possivelmente apresentam, ainda, uma variação considerável quando colocados em conflito cognitivo. A maioria parece usar, no entanto, os Modelos Mentais M.I.E.5 ou Esquemas S.I.E.2 e Modelos Mentais M.I.E.2.

Quanto à classe de Situações A, na primeira atividade, todos os estudantes apresentam possivelmente uma Representação Analógica substancialmente correta do Campo Elétrico no exterior da fonte. Embora correta para o exterior das fontes, os estudantes parecem não discutir sobre as Representações no interior das fontes.

Quanto à classe de Situações S, alguns estudantes, ao final da UEPS já parecem conseguir integrar visões relacionais e geométricas, alcançando um ponto importante da conceitualização para esta Classe de Situações. Outros alunos parecem se aproximar de uma visão mais relacional do Campo Elétrico, algo também considerável, pois estes estudantes começam a introduzir os conceitos de Fluxo e de Circulação, embora o significado do primeiro fique muito mais claro para eles.

Com respeito aos Cálculos de Campos Elétricos, a maioria dos alunos apresenta uma possível oscilação entre possíveis Representações Internas conceituais e operacionais. Os estudantes progredem aos poucos no domínio dos conceitos e da execução de cálculos fundindo os dois elementos, o que consideramos importante e aparentemente envolve das maiores dificuldades dos estudantes de Física.

No *estudo III* este caminhar dos alunos parece mais lento, mas alcança um patamar significativamente diferente do inicial, no qual os alunos evidenciavam claramente uma concepção de Campo Elétrico como Fluido ou mesmo o não uso do Campo Elétrico. Para os alunos do estudo III, em virtude de uma rotina com menor tempo de dedicação exclusiva ao estudo de Física III, alguns retrocessos ficam mais evidentes. As dificuldades relativas ao cálculo do Campo Elétrico ficam mais flagrantes também. Estes alunos possuíam, além do mais uma relação não tão boa com a Matemática, o que pode ter dificultado o domínio de Situações da Classe C.

Neste estudo, as possíveis Representações Internas inferidas para os estudantes lembram muito as dos estudantes do Estudo II. Quanto à evolução dos Estudantes nas Situações da Classe I, os estudantes parecem partir de uma visão mais operacional (S.I.E.2/M.I.E.2) e encaminhar-se, progressivamente (em tendência), às Representações Internas M.I.E.5.

Alguns alunos parecem, no entanto, apresentar na avaliação somativa, uma cisão entre os dois tipos de possíveis Representações Internas supracitados, demonstrando uma possível plasticidade em situações de conflito cognitivo. Estas possíveis Representações Internas criam possíveis Operações de Pensamento relativamente estáveis, mas que se modificam na presença de um problema complexo.

Com respeito à Classe de Situações A, os estudantes parecem apresentar, assim como os do Estudo II, uma tendência maior a não considerar a existência do Campo Elétrico no interior das fontes. Alguns alunos tomam isto em conta, no entanto, ao lidar com Situações desta Classe.

No que tange à Classe de Situações S, maior parte dos alunos parece começar a usar Representações Internas mais relacionais que geométricas para Representar Simbolicamente o Campo Elétrico no Espaço. A relação entre Campo Elétrico e Carga Elétrica a partir da lei de Gauss é importante e o seu estabelecimento configura, geralmente segundo a literatura, grande dificuldade para os estudantes.

Quanto à Classe de Situações C, maior parte dos alunos parece apresentar muita dificuldade no seu domínio e, em geral, parecem aderir a possíveis Representações Internas com menos elementos conceituais, o que é lamentável a nosso ver, embora compreensível. Principalmente se tratando de estudantes com dificuldade em matemática, é um avanço eles iniciarem o processo de Aprendizagem de cálculo numa disciplina de Física.

Na UEPS de Campo Magnético

A UEPS de Campo Magnético, nos três estudos, parece mais natural à maior parte dos alunos do que as UEPS de Campo Elétrico. A razão mais evidente para isto é uma possível Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Elétrico evidenciada nos resultados. Atribuimos, abaixo, algumas possíveis explicações para esta observação.

O conceito de Campo possivelmente já está mais claro para os alunos assim como os de Fluxo e de Circulação. No segundo e no terceiro estudo, em especial, os alunos pareciam tender a aplicar o conhecimento de Campo Elétrico diretamente às situações envolvendo o Campo Magnético. No terceiro estudo, alguns parecem entendê-lo semelhante a um Fluido sem fazer, no entanto, qualquer menção a este comportamento. Estas formas de conceitualização limitaram-se majoritariamente à atividade inicial, na qual foi analisado o conhecimento prévio dos estudantes.

Os processos descritos acima indicam possíveis tentativas frustradas de transferência, uma vez que muitos igualam polos magnéticos a Cargas Elétricas. Com o passar da unidade, eles parecem começar a compreender as diferenças entre estas duas instâncias e já conseguem diferenciar Campo Elétrico e Força Elétrica de Campo Magnético e Força Magnética. Uma aluna, por uma ou outra razão, apresentou indícios de Aprendizagem Mecânica ou de tentativa arbitrária de resolução de problemas.

Ao longo dos três estudos da UEPS de Campo Magnético boa parte dos alunos compreende com relativa facilidade, a partir da lei de Gauss do Magnetismo, que polos de ímãs são distintos de cargas elétricas. A passagem de uma explicação elétrica (S.B.6) ou de uma explicação de magnetismo intrínseco (S.B.7) para uma explicação mais voltada à Corrente Elétrica como do Campo Magnético ocorre gradualmente ao longo

do curso. As aulas de Lei de Gauss e de Lei de Ampère parecem bastante esclarecedoras neste sentido.

Os alunos também parecem conseguir calcular a Circulação através da Lei de Ampère, embora possivelmente tenham um pouco mais de dificuldade com ela que com o Fluxo, talvez em função de parecerem ter trabalhado bem mais com a Lei de Gauss na Eletrostática. A ideia de linhas “circulando” parece interessante a eles e facilita a compreensão do conceito. Em geral, a dificuldade em lidar com o conceito de Circulação parece bem menor do que quando os alunos estavam na UEPS de Campo Elétrico.

Nossa postura quanto à ideia de “linhas de Campo Magnético circulando” era a de fazer menções constantes à incompatibilidade ontológica entre Linhas girantes de Campo Magnético e do caráter estacionário do Campo Magnético. Considerável parte dos estudantes parece compreender ser o Campo Magnético estacionário, pois ao estabelecerem referência ao formato circular das linhas de Campo Magnético, alguns usam expressões indicando analogias como, por exemplo, o “Campo Magnético é ‘circular’”.

Outro ponto de destaque nos dois estudos é o de os estudantes possivelmente conseguirem, através da lei de Ampère, identificar as fontes do Campo Magnético como sendo as Correntes Elétricas e associá-las, inicialmente, ao movimento de Cargas Elétricas. Apresentou-se uma forte relação estabelecida de forma adequada entre a Corrente Elétrica e o Campo Elétrico.

Quanto ao uso da lei de Ampère para cálculos de Campos Magnéticos, os alunos indicam para escolha de forma implícita a Curva Amperiana, mas geralmente mencionam a simetria e conseguem calcular bem os Campos Magnéticos devidos a distribuições conhecidas de Corrente Elétrica (altamente simétricas). Alguns poucos caem mais frequentemente no problema da Fixação Funcional no Campo Magnético do fio da mesma forma que alguns apresentam um problema análogo para o Campo Elétrico de uma Carga Elétrica pontual.

Por talvez se basearem na ideia prévia de o Campo mediar interações e por já ter estudado o Campo Elétrico como mediador de interações Eletromagnéticas, muitos alunos parecem associar a Força de Lorentz (a parte do Campo Magnético) à Força mediada pelo próprio Campo Magnético.

Parece ocorrer influência da Situação na explicitação da ideia de Interação entre fontes de Campo Magnético. Quando a Fonte de Campo Magnético não é explicitada, mas o Campo Magnético é apresentado, os alunos parecem focar mais na interação entre o Campo Magnético e o Objeto. Quando as Fontes são explicitadas, os alunos parecem fazer maior referência à Interação entre as Fontes.

Esta influência da Situação possivelmente acontece menos, no entanto, do que em Eletrostática. Uma possível razão é a Fixação Funcional na Lei de Coulomb ocorrente na Eletrostática. Os alunos parecem tentar enquadrar a lei de Coulomb $F = \frac{kqq'}{d^2}$ para vários exemplos e depois começam a trabalhar com a ideia da Interação entre partícula e Campo Elétrico. Com respeito ao Campo Magnético, eles não parecem conhecer uma expressão similar.

Alguns alunos continuam, no entanto, parecendo considerar o Campo Elétrico somente um instrumento de cálculo, porém a maioria considera a interação entre Campo Elétrico e Carga Elétrica. Evidenciamos isto com a possível oscilação dos alunos entre possíveis Esquemas e/ou Modelos Mentais da Classe I.E.2 e Modelos Mentais M.I.E.5. O mesmo efeito parece ocorrer, mas com menor frequência com respeito ao Campo Magnético e isto nos indica possível evidência de Aprendizagem Significativa.

Boa parte dos estudantes parece conseguir um bom entendimento, ainda, dos conceitos de Diamagnetismo, Paramagnetismo e Ferromagnetismo a partir do modelo de átomo como espira de corrente, embora muitos possivelmente não consigam assimilar a ideia de Momento Magnético como grandeza descritiva de uma característica do átomo.

A maioria dos alunos associa corretamente o Magnetismo da matéria ao movimento de Cargas Elétricas (movimento angular), porém não parecem assimilar a grandeza descritiva dele com clareza. Devemos ressaltar que a ideia de bom entendimento diz respeito à distinção entre as três classes de materiais a partir do momento magnético dos átomos. Não propomos tampouco uma abordagem aprofundada ao estudo de materiais magnéticos, da magnetização ou das explicações quânticas para o magnetismo. Um ponto de estudo futuro pode envolver este aspecto, mas optamos por não aprofundar este tratamento, em virtude de a abordagem mais aprofundada envolver Mecânica Quântica e esta ser introduzida somente no estudo da Física Geral IV.

Com respeito ao conhecimento prévio dos alunos do *Estudo I*, encontramos evidências, já sustentadas por uma considerável literatura (Brandamante e Viennot, 2007, p.ex.), de os estudantes representarem simbolicamente o Campo Magnético como intrínseco a determinadas substâncias. Alguns estudantes parecem tentar transferir seu conhecimento sobre Campo Elétrico para Situações em que há Campo Magnético, enquanto outros parecem entender que Campos Magnéticos podem exercer influência sobre Cargas Elétricas.

Com respeito à descrição de Interações Magnéticas, a maioria dos estudantes parece considerar os polos dos ímãs como semelhantes às Cargas Elétricas⁹⁷, algo também já fundamentado na literatura. Alguns alunos indicam possível uso prévio de

⁹⁷ Nada pôde ser dito sobre o entendimento dos estudantes acerca da possibilidade de entender os ímãs como separáveis em monopólos. Mais investigação será feita neste sentido.

um Esquema provavelmente desenvolvido no Ensino Médio associando a expressão de Lorentz para a Força Magnética, um conhecimento prévio que permite facilmente a continuidade com a proposta desenvolvida.

No que tange à Representação Analógica, os alunos do Estudo I, em sua maioria já indicam associação da existência do Campo Magnético tanto ao interior das fontes como ao exterior. A Representação Analógica por Linhas de Campo Magnético no interior de um ímã evidencia isto com clareza. Alguns alunos não parecem, no entanto, conseguir indicar a associação da existência do Campo Magnético no interior das fontes.

Quanto à Representação Simbólica, possivelmente há avanços consideráveis. Inicialmente dois alunos confundem Circulação e Campo Magnético, enquanto a maioria desenvolve um Modelo Mental relacional no qual estão possivelmente presentes conhecimentos-em-ação relacionando o Campo Magnético às suas fontes e ao seu caráter não monopolar. Na avaliação eles evidenciam, no entanto, uma explicação mais geométrica que relacional sem estabelecer a integração entre as visões. Isto se configura possivelmente como coexistência de possíveis Modelos Mentais não conflitantes.

Quanto à Descrição das Interações Magnéticas, parece haver avanços importantes. Aos poucos muitos alunos deixam de usar Modelos Mentais nos quais o Campo Magnético é semelhante ao Campo Elétrico, os diferenciam e começam a levar em consideração o papel do Campo Magnético na Interação. Os Modelos Mentais M.I.E.5 convivem com Esquemas ou Modelos Mentais S.I.E.2 e M.I.E.2. Isto é interessante, pois estas Representações estão próximas, mas há um salto ontológico que, por vezes, é apontado pelos alunos e em outras Situações, não. Estas Representações Internas são conflitantes somente no quesito ontológico do papel do Campo Magnético.

Quanto aos cálculos, é possível ver uma estabilização de uma forma mais conceitual de compreendê-los. Os estudantes levam em conta, como já discutido, a ideia de simetria e parecem começar a identificar com maior clareza as curvas amperianas usadas nos cálculos, bem como as correntes elétricas importantes.

No *estudo II*, ampliamos as tarefas e dividimos as Situações envolvendo a Descrição de Interações Magnéticas em dois blocos: uma na qual há um ímã e uma Carga Elétrica e a outra na qual há um Campo Magnético e uma Carga Elétrica. Percebemos um possível viés na conceitualização indicando um conhecimento fragmentado sobre Interações Magnéticas. Este efeito de interação Esquema-Situação pode se dar pela ativação de determinados Conhecimentos-em-ação no processamento de possíveis Operações de Pensamento.

Quando há um ímã no problema, inicialmente muitos estudantes neste estudo possivelmente entendem o mesmo como semelhante a uma Interação Elétrica. Quando não há um ímã, alguns parecem usar o conhecimento prévio provavelmente oriundo do Ensino Médio da Força de Lorentz. Alguns poucos alunos conseguem, no entanto,

integrar as duas Situações tomando ímãs como fonte de Campo Magnético (Guisasola et al., 2005; Brandamante e Viennot, 2007). Com respeito às Interações Magnéticas, obtivemos resultado semelhante ao do Estudo I.

Com respeito à Classe de Situações C.B, muitos alunos possivelmente constroem Modelos Mentais mais conceituais. Uma das possibilidades é a transferência do possível conhecimento prévio da lei de Gauss para a lei de Ampère. Embora seja uma lei de Circulação, teoremas-em-ação envolvendo a noção de Simetria já parecem mais estáveis nas estruturas cognitivas dos estudantes. Consideramos, pois, positivo este avanço dos alunos.

No que tange à Classe de Situações A.B, temos algo preocupante. De alguma forma, os estudantes parecem não conseguir atingir uma Representação Interna adequada para Representar o Campo Magnético no interior das fontes. Talvez uma ênfase maior a problemas nos quais os alunos devessem representar analogicamente estes Campos Magnéticos no interior de fontes como, por exemplo, fios de Corrente Elétrica, facilitasse esta compreensão. Deve-se ressaltar, no entanto, que fora das fontes, os alunos conseguem êxito na Representação Analógica dos Campos Magnéticos.

Com respeito à Classe de Situações I, os estudantes parecem apresentar sequencial estabilização dos possíveis Modelos Mentais M.I.B.5, que entende a Interação Magnética como ocorrente entre um Campo Magnético e uma Carga Elétrica em movimento tomando o Campo Magnético como real. Aos poucos os alunos parecem começar a construir possíveis Modelos Mentais levando em conta esta característica. Isto constitui ponto bastante importante.

No que tange à Classe de Situações S.B, os estudantes inicialmente dividem-se entre construtores de possíveis Modelos Mentais relacionais (M.S.B.3) e de possíveis Modelos Mentais geométricos (M.S.B.2). Ao longo da UEPS, eles começam a aderir a um possível Modelo Mental mais relacional por compreender melhor as fontes de Campo Magnético e seu caráter não monopolar. Isto serve de base para uma compreensão relativamente boa do Magnetismo.

No *estudo III*, na avaliação de conhecimento prévio, temos um panorama semelhante ao do Estudo II, com a diferença da construção de alguns possíveis Modelos Mentais de Campo Magnético como fluido por três alunos. As dificuldades dos estudantes passam por aspectos já comentados no texto. A maioria dos alunos também parece Representar internamente o Campo Magnético de forma simbólica como associado a determinadas substâncias naturalmente magnéticas.

Diferentemente do estudo II, no Estudo III, a frequência de alunos apontando para a possível construção de Modelos Mentais M.A.B.1 está praticamente equiparada à frequência de alunos possivelmente construindo Modelos Mentais M.A.B.2. Isto é importante, pois estes alunos apresentavam maiores dificuldades que os alunos do Estudo II.

Com respeito à Classe de Situações I.B, os estudantes pareceram apresentar um progresso notável ao longo das tarefas, mas na avaliação somativa, houve uma queda na frequência de alunos usando o Modelo Mental. Alguns deles inclusive não pareceram considerar o Campo Magnético nas explicações. Dificuldades podem ter ocorrido, mas algum evento especial pode explicar isto. Não buscamos com os alunos explicações para esta queda, talvez uma prova de outra disciplina na qual estivessem com mais dificuldades, mas é somente especulação.

Com respeito à Classe de Situações C.B, muitos estudantes parecem progredir a um uso de Modelos Mentais mais conceituais para o cálculo do Campo Magnético. Isto é um ponto extremamente importante, dadas as dificuldades iniciais dos estudantes com matemática e com outros conteúdos de Física como, por exemplo, mecânica.

No que tange à classe de Situações S, boa parte dos alunos pareceu desenvolver Modelos Mentais mais relacionais (M.S.B.3). Uma possível explicação para o fato derive da ênfase dada ao longo dos três estudos às fontes do Campo Magnético. Por meio desta ênfase, conseguimos facilitar a integração do conhecimento prévio dos estudantes (relacionado a ímãs) com uma Representação Simbólica adequada para o Campo Magnético.

Na UEPS de Indução Eletromagnética

A UEPS de Indução Eletromagnética consolida o processo de Ensino-Aprendizagem do conceito de Campo Eletromagnético em nível de Física Geral. Elas diferem pouco de um estudo para o outro, somente em uma aula, a de indutância que foi retirada do segundo e do terceiro estudo, pois apresentava tendências formalistas. Deixamos o conteúdo para abordar junto com a teoria de circuitos elétricos, conteúdo ainda não organizado em forma de UEPS.

Nestas UEPS, em especial no primeiro e no segundo estudo, muitos alunos conseguiram entender os processos de Indução com relativa clareza. Em função de já conhecerem com maior familiaridade os Campos Elétrico e Magnético, é uma questão de ajuste epistemológico ressaltar a variação temporal dos mesmos e, com as ideias de Fluxo e de Circulação mais consolidadas, introduzir, em paralelo, as leis de Faraday-Lenz e de Ampère-Maxwell.

Um entrave possivelmente solucionado na proposta somente no terceiro estudo e não analisado nas tarefas é a explicação microscópica dos processos de Indução Eletromagnética ocorrentes na interação entre uma espira em movimento em um Campo Magnético estacionário. Nos dois primeiros estudos, omitimos a explicação microscópica para a corrente induzida.

Para focar o efeito da interação entre Campos Eletromagnéticos e Cargas Elétricas, discutíamos as situações nas quais o Campo Magnético variava, criando um Campo Elétrico induzido e exercendo, portanto, uma Força Elétrica. Nas situações em

que havia variação de Fluxo Magnético devida ao movimento de condutores em região de Campo Magnético estacionário, abordávamos a situação do ponto de vista Energético, ou seja, tratando da FEM induzida no Circuito.

A abordagem de Força Magnética sobre Carga Elétrica em movimento é bastante frutífera para a discussão de dois diferentes tipos de gerador: os alternadores e os dínamos. São aplicações tecnológicas cujo interesse dos alunos é muito grande. Ao pesquisador interessado no assunto, recomendamos veementemente a discussão deste tópico.

Muitos alunos conseguem, finalmente, acesso às ideias de o Campo Eletromagnético transportar Energia e Momentum. Desta forma, fica mais clara para eles a mediação do Campo Eletromagnético nas Interações e da ocorrência do atraso na interação eletromagnética, bem como sua associação à propagação de ondas eletromagnéticas.

As ideias de atraso nas interações, de mediação pelo Campo Eletromagnético da troca de Momentum e de Energia entre partículas e da posse de Energia e deste Momentum por este Campo (não como um mero suporte para a propagação da Energia) são, portanto, elucidadas. Alguns alunos apresentam certas dificuldades da Representação Analógica tridimensional, mas compensam isso com Representações Simbólicas dos fenômenos, em especial, do uso das Equações de Maxwell e da Força de Lorentz.

É visível ainda, através de mapas conceituais e de soluções a problemas, o uso relativamente bom por parte dos alunos das equações de Maxwell para entender o comportamento Eletromagnético da matéria. Este foi eleito um dos objetivos principais para a abordagem do conteúdo de Campo Eletromagnético.

Há possíveis evidências de Aprendizagem Significativa no uso das UEPS para o conceito de Campo Eletromagnético quando embasadas nas Equações de Maxwell. É possível ver integração do conteúdo e capacidade de transferência ao longo das tarefas. Os conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético ganham novos significados em função da introdução do tempo na descrição destas grandezas.

Os alunos do *estudo I* acompanharam muito bem as UEPS de uma forma mais abstrata, simbólica e operacional. Duas razões podem ser o perfil mais formal da turma e o perfil mais formalista da versão inicial das UEPS. É possível ter ocorrido uma soma destes dois fatores, já que reconhecemos ter tido esta UEPS uma abordagem mais formal e de muitos alunos neste estudo terem bastante interesse na descrição matemática do Campo Eletromagnético.

Com respeito à Classe de Situações C, os alunos, em sua maioria, parecem desenvolver possíveis Modelos Mentais conceituais. Estes alunos, com tendência, em média, mais formalista tanto devido a um estilo de Aprendizagem como à abordagem

desenvolvida, conseguem articular Representações Físicas e estruturá-las matematicamente. Isto é bastante importante.

No que tange à Classe de Situações I, muitos alunos desenvolvem Modelos Mentais levando em conta o papel do Campo Eletromagnético na Interação, bem como a finitude da velocidade das Ondas Eletromagnéticas, algo que Jordi e Solbes (2001) apontam como de difícil entendimento para os alunos. A possível estabilização de Modelos Mentais mais próximos dos cientificamente aceitos evidencia eficácia das UEPS. Os estudantes parecem apresentar, no entanto, explicações macroscópicas quando devem lidar com Situações envolvendo Indução de Corrente Elétrica em um condutor em movimento.

Quanto à Classe de Situações S, boa parte dos alunos evidencia possível construção de Modelos Mentais relacionais. A ênfase nas fontes e na relação desta com as Cargas Elétricas de prova (em repouso ou movimento) facilitou esta visão, embora sempre utilizássemos diagramas de Seta e Linhas de Campo para apresentar uma visão mais geométrica dos problemas.

Os alunos do *estudo II*, como grupo, pareceram ter um desempenho mais equilibrado entre uma aprendizagem abstrata/simbólica e conceitual/analógica. A influência da modificação nas UEPS fica clara neste ponto. Na turma os alunos preferiam, ademais, uma abordagem mais voltada à construção e representação mental de problemas do que aplicação matemática de leis Físicas.

No estudo II, os alunos possuem poucos conhecimentos sobre Indução Eletromagnética e desenvolvem várias tentativas frustradas de enquadrar os conceitos de Campo Elétrico e de Campo Magnético. Na avaliação de conhecimento prévio, os estudantes possivelmente apresentam dificuldade em Representar Simbolicamente o Campo Eletromagnético (os processos de Indução Eletromagnética) e ao abordar Interações Eletromagnéticas (envolvendo processos de indução, recaem em explicações baseadas em Campos Elétricos e Magnéticos estáticos).

Assim como os alunos do Estudo I, os do Estudo II pareceram desenvolver (até mais cedo) possíveis Modelos Mentais mais conceituais para o cálculo de Campos Eletromagnéticos. Em função do viés mais geométrico e pictórico adotado pela turma no entendimento dos conceitos, foram trabalhados e discutidos muito mais os elementos de Modelos físicos que as relações gerais entre eles. Isto possivelmente facilitou a compreensão conceitual da estrutura matemática dos problemas.

De forma semelhante aos estudantes do Estudo I, os do Estudo II também possivelmente desenvolveram com maior facilidade as explicações macroscópicas quando as Situações envolviam a chamada FEM de movimento. Quando o Campo Magnético ou o Elétrico variavam com o tempo, eles, no entanto, adotavam explicações microscópicas. A estabilização de Modelos Mentais tomando o Campo Eletromagnético

como real e possuente de Energia e Momentum também se configura como ponto importante desenvolvido na proposta e está associada a este último tipo de explicação.

Quanto à classe de Situações S, muitos os alunos, embora com perfil, em média, mais conceitual (havia, sim, uns quatro alunos dentre os 18 com perfil mais formal), desenvolveram possíveis Modelos Mentais mais relacionais para representar simbolicamente o Campo Magnético. A identificação de fontes, a descrição de Campos induzidos e de Ondas Eletromagnéticas por parte destes alunos parece evidenciar isto.

Os alunos no *Estudo III* possivelmente acompanharam relativamente bem as unidades, considerando suas dificuldades iniciais (e continuadas). Eles afirmaram ter gostado bastante da metodologia. Eles fizeram uma requisição à Coordenadora do Programa do qual fazem parte para que eu ministrasse a disciplina de Física IV. Infelizmente não foi possível em função de já ter sido lotado em outras disciplinas.

Na avaliação de conhecimento prévio, encontramos dificuldades parecidas para os alunos do Estudo III e para os alunos do Estudo II, a saber, muitas tentativas frustradas de entender os fenômenos eletromagnéticos dinâmicos a partir de conceitos válidos para a Eletrostática e para a Magnetostática, bem como uma pequena quantidade de alunos logrando êxito na Representação Simbólica destes Campos.

No que tange à Classe de Situações C, os alunos apresentaram avanços na proposta, mas regrediram excessivamente na avaliação. Somente um dos alunos conseguiu dominar uma Situação na qual o cálculo operacional (Vergnaud, 1983) requer o desenvolvimento de uma expressão para o Campo Magnético levando em conta uma corrente de condução e uma corrente de deslocamento. O problema é difícil, no entanto, pode ser dominado conceitualmente, pois o foi pelos alunos dos Estudos I e II.

Quanto à Classe de Situações S, os estudantes parecem adotar, vias de regra, uma explicação relacional. Em uma das tarefas possivelmente desenvolvem, no entanto, um equilíbrio entre uma visão mais geométrica e uma visão mais relacional. Tal é a tarefa III na qual pedíamos aos estudantes caracterizar a FEM de movimento de alguns circuitos.

Com respeito à Classe de Situações I, muitos alunos parecem construir, em geral, o mesmo viés conceitual dos alunos dos outros estudos no que tange às explicações macroscópicas e microscópicas quando colocados em distintos grupos (e não classes) de Situações. Talvez seja mais cômoda a explicação macroscópica, por envolver somente uma variável, a saber, o movimento ou a variação temporal do vetor unitário normal à área de uma curva amperiana “disposta” sobre uma espira de Corrente. Os estudantes possivelmente conseguem, também, lograr êxito na compreensão do atraso das Interações Eletromagnéticas.

Eletromagnetismo é um dos conteúdos mais difíceis do ciclo básico e possui altos índices de reprovação e as UEPS parecem dar grande contribuição para a

Aprendizagem deste conteúdo. Um ponto que ainda precisa ser solucionado, no entanto, é a construção de uma UEPS para Circuitos Elétricos.

A seguir, reiteramos as observações feitas nesta seção de forma mais geral discutindo aspectos relativos a evidências de Aprendizagem Significativa.

6.2. É possível evidenciar a facilitação do domínio do conceito de Campo Eletromagnético em uma UEPS?

Um dos pontos fundamentais da Aprendizagem Significativa olhando tanto com as lentes de Vergnaud como com as de Johnson-Laird é a intencionalidade da atividade. A primeira evidência de Aprendizagem Significativa está no estabelecimento de uma meta para a resolução das Situações apresentadas ao sujeito. Se o aprendiz constrói um Objetivo adequado para aquela situação, temos um sinal de uma relação de intenção de domínio da Situação, de estabelecimento de interação entre Esquema/Modelo Mental e Situação. Isto equivale à relação não arbitrária e não literal entre aquilo que se sabe e o que se objetiva aprender.

As UEPS parecem ter facilitado este estabelecimento, pois após cada aula, os alunos eram postos a fazer interagir aquele conhecimento novo apresentado em sala, seu conhecimento prévio e as Situações apresentadas a eles. Eles podiam discutir, em grupo, e com a ajuda do professor, lembrar, esclarecer e/ou diferenciar alguns aspectos respectivos a Regras de Ação constituídas por eles ou mesmo das Inferências e, em especial, dos Conhecimentos-em-ação possuídos por eles.

Por outro lado, no início da proposta, os alunos apresentavam uma tendência de procurar por uma resposta rápida. Isto equivale a estabelecer Operações Recursivas lineares envolvendo vieses cognitivos (e.g., Fixação Funcional, Redução Funcional ou Causalidade única).

É fácil ilustrar os exemplos de Redução Funcional, em especial nas situações envolvendo Cálculos de Campos através de Equações de Campo. Alguns alunos afirmam ser o Campo Elétrico nulo em virtude de o Fluxo ser nulo quando a Superfície Gaussiana não engloba Cargas Elétricas. Ora, conhecemos situações nas quais o Campo Elétrico é não nulo, mas cujo Fluxo Elétrico associado é nulo. O caso do Dipolo Elétrico foi usado como exemplo para discutir a necessidade de diferenciar entre o Campo Elétrico e o Fluxo deste Campo Elétrico.

No caso de uma casca cilíndrica uniformemente carregada, usando o Princípio da Superposição, podemos concluir ser o Campo Elétrico nulo no seu interior⁹⁸. A soma dos Campos Elétricos devidos a todas as Cargas Elétricas envolvidas no problema em uma região no interior do cilindro é nula. O problema é resolvido usando a ideia de Simetria. Se você escolhe, no entanto, uma Superfície Gaussiana que não envolva

⁹⁸ Pontos a distâncias menores que o raio interno da casca cilíndrica, considerando a origem centrada no cilindro..

Cargas Elétricas deste cilindro, o Campo Elétrico ainda será estabelecido no Espaço, a despeito do Fluxo do Campo Elétrico ser nulo.

Muitos alunos usam a regra de ação “**SE** não há Carga Elétrica, **ENTÃO** não há Campo Elétrico”. Mais próximo do final do curso de Eletromagnetismo, eles começam a abandonar estas regras. Parece-nos mais uma questão atitudinal relativa aos problemas de Física. Em outras palavras, soa como uma forma de encarar a Física como uma mera disciplina de resolver problemas sem a necessidade de um significado Físico na sua resolução. Consideramos positiva a evolução dos alunos a um perfil mais conceitual.

É possível reparar ainda o papel exercido pelos princípios da Diferenciação Progressiva e da Reconciliação Integradora na percepção das Situações como pertencentes às mesmas classes. Tais princípios continuam ocorrendo mesmo depois das aulas expositivas, pois alunos interagem socialmente com o professor (e possíveis monitores) e entre eles próprios, destacando semelhanças e diferenças entre as Situações.

Um bom exemplo é quando os alunos tendem a dominar as Situações envolvendo interações entre Campos Elétricos e Condutores e as Situações envolvendo interações entre Campos Elétricos e Isolantes segundo o mesmo prisma, o da interação entre Campos Elétricos e portadores de Carga Elétrica. É importante destacar que as Situações diferem, mas as regras de ação envolvem a manipulação dos conceitos de Campo Elétrico (em menor frequência do conceito de Diferença de Potencial Elétrico), Força Elétrica, distribuição de Carga Elétrica e de Superposição de Campos Elétricos.

Outro bom exemplo é quando nos Estudos de Campos Magnéticos, os alunos começam a entender as interações entre Ímãs e Correntes Elétricas e entre Correntes Elétricas sob o mesmo ângulo, possibilitando assim a compreensão do Motor Elétrico na unidade de Campo Eletromagnético. Isto se torna mais notável quando os alunos possuem ideias prévias relativamente bem estabelecidas envolvendo a noção de Magnetismo intrínseco a certos tipos de materiais (Brandamante e Viennot, 2007).

Dos resultados, é notório ser conhecimento prévio crucial na Aprendizagem Significativa. O material pode ser potencialmente significativo para Eletromagnetismo em nível de Pós-Graduação, mas se não o for para o nível de Graduação, e mais, para o ciclo básico, dificilmente as UEPS conseguem êxito.

Comparando os dois últimos estudos pudemos identificar, de maneira geral, uma diferença inicial entre os estudantes. No estudo II, os aprendizes pareciam estar com um conhecimento mais claro sobre interações e isto facilitou a aquisição do conceito de Campo. Os alunos no Estudo III tinham quase nenhum conhecimento sobre o conceito. Alguns nunca haviam lido ou ouvido sobre o éter, por exemplo, algo conhecido pelos estudantes do Estudo II.

No estudo III, os aprendizes pareciam estar com um conhecimento um pouco mais difuso⁹⁹ sobre interações. Algumas vezes os alunos sentiram dificuldade, mas buscaram superá-las. De acordo com depoimentos, os alunos possuíam também menor tempo disponível para estudo¹⁰⁰ e também estavam em um estado de desmotivação. Com melhores condições iniciais e mais motivação, certamente os alunos do estudo III iriam tão longe quanto os alunos do estudo II.

Vale ressaltar que não fizemos um estudo sobre a motivação dos estudantes, isto é, não nos embasamos em Teorias de Psicologia sobre afetividade, motivação ou emoções. Nossa análise foi de cunho cognitivista, o que não bloqueia nosso entendimento sobre a real importância do problema da afetividade no ensino de Física. Deve-se ressaltar, no entanto, as impressões das turmas nas quais a proposta foi implementada.

Outro ponto a abordar está associado a influências sócio-culturais no Ensino e na Aprendizagem de conteúdos de Eletromagnetismo. A construção de um Referencial Teórico que possa abarcar ao mesmo tempo, o afetivo, o cognitivo e o sócio cultural sem tentativas de reducionismo, é importante. É uma linha a ser seguida ao longo dos próximos anos.

Dois pontos fundamentais a influenciar nos processos de Ensino-Aprendizagem são: o conhecimento prévio e os Mecanismos de Aprendizagem Significativa. Reconhecemos haver influência de aspectos sócio-culturais e de aspectos afetivos neste processo, mas nada podemos usar para destacar isto baseado nos Referenciais Teóricos que estamos usando, a menos de um *feeling* ou *faro*, a partir da vivência de três contextos culturais diferentes, a saber, uma capital e uma cidade interiorana na região Norte do país, uma capital na região Sul.

No primeiro estudo, houve um ou dois alunos descontentes com a proposta. O restante da turma, contudo, levou a proposta a sério, prestava atenção nas aulas e perguntava bastante nas sessões de resolução de problemas. Pareceu-me satisfatória a resposta da maioria da turma, com exceção, basicamente, destes dois ou três alunos preferindo a abordagem mais ortodoxa ao Ensino de Física.

No segundo estudo, quase todos os alunos se envolveram na proposta de forma bastante construtiva. Embora fossem alunos cursando uma disciplina no turno da noite e, portanto, era natural encontrarem-se mais cansados em virtude de já estarem estudando ao final do dia, eles pareciam sempre bastante alegres e brincalhões, mas respeitavam muito o horário da aula. Ficamos muito amigos depois da disciplina de Física III e como indica a análise de resultados, grande parte parecia conseguir

⁹⁹ Os alunos mencionaram não ter estudado além da lei de Coulomb para a Força Elétrica no Ensino Médio. Isto é fortemente coerente com uma realidade do município de Santarém. Raramente há professores de Física na cidade, a maioria tem formação em Matemática e ministra aulas de Física em virtude da grande oferta de trabalho nesta área.

¹⁰⁰ Grande parte dos alunos trabalhava fora da Universidade, cursava disciplinas nas quais tinham reprovado e tinham horário regular de aula indo das 13:30 às 18:30.

compreender a ideia de Interação entre Partículas e Campos, bem como a especificidade de cada um dos Campos.

No terceiro estudo, talvez o mais complicado de todos, houve três fatores complicadores para a implementação das UEPS, porém isto não impediu o envolvimento dos alunos com a proposta, embora bem mais reservado. Discutimos estes fatores abaixo.

A turma encontrava-se em estado de desmotivação. Em algumas entrevistas (apresentadas no apêndice C), eles apresentam as razões para a falta de motivação sendo a primeira delas o curso novo de Engenharia Física da Universidade Federal do Oeste do Pará ainda não ter sido aprovado junto ao MEC naquela época. O segundo era a abordagem didática de alguns professores que comprometeram o aprendizado de disciplinas de Física. O terceiro, que foi comentado em sala de aula por eles, era a dificuldade tida por eles em Cálculo.

Os alunos, em sua maioria, eram ou bolsistas ou profissionais assalariados e, provavelmente, a maior fonte de estudos deles era dentro de sala de aula. Alguns apresentavam fortes dificuldades de compreensão do conteúdo, mas ao longo do tempo o entendimento do conceito de Campo Eletromagnético ficou mais claro e o entendimento de novas Situações facilitado.

Em seguida apresentamos uma discussão sobre a capacidade explanatória de Greca e Moreira que integra Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação.

6.3. Qual a capacidade explanatória da proposta de Greca e Moreira (2002) que integra Modelos Mentais e Esquemas de Assimilação?

Integrar Esquemas de Assimilação e Modelos Mentais foi uma proposta bastante engenhosa, frutífera e enriquecedora para a área de Ensino de Física. Foi possível entender de um prisma epistemológico mais completo o Significado do conceito de Conceito. Foi possível, também, entender porque o conhecimento humano é tão Situacional. Johnson-Laird introduziu esta ideia no tratamento de Modelos Mentais, e Vergnaud já havia apontado isto há pelo menos trinta anos!

A ideia de construir um Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético pareceu-nos mais oportuna ainda e discutir Eletromagnetismo de acordo com esta referência didático-epistemológica facilita a identificação das dificuldades dos alunos e quais classes de Situações devem ser abordadas para vencer estas dificuldades e para orientar o processo de Ensino.

A proposta permitiu, ainda, ao mesmo tempo, abarcar entidades cognitivas carregando conhecimento tanto em longo como em curto prazo. Foi possível analisar, ainda, as transições de uma estrutura menos estável para uma mais estável, uma das evidências de Aprendizagem Significativa apontadas no trabalho. Foi possível estabelecer diálogos com os alunos e tais diálogos podem, também, ser orientados por estes padrões.

Qual é, no entanto, a grande contribuição da proposta? E como essa proposta se Enquadra nas UEPS? A ideia de dominarmos um Campo Conceitual está imersa tanto na tese de Vergnaud (1982) como nas UEPS. Para analisar o domínio do conhecimento, foi preciso reconstituir, portanto, possíveis Operações de Pensamento usadas pelos estudantes para inferir possíveis Representações Internas. Foi preciso, também, categorizar o conteúdo em Classes de Situações. Estes dois processos surgem naturalmente da proposta. Desta forma, a proposta contribui tanto para orientação do Ensino como avaliação da Aprendizagem.

O grande problema encontra-se em determinar a quantidade de Situações que o aluno deve dominar da mesma forma para que um Modelo Mental se estabilize em Esquema de Assimilação. Contribuímos para a proposta sugerindo algumas formas de analisar o problema. Fazemos a descrição abaixo.

A primeira diz respeito ao caráter de organização invariante da ação. O Esquema é uma organização invariante da conduta para uma classe de Situações. Para identificar um Esquema, é preciso evidenciar uma organização invariante da conduta para um conjunto grande de Situações pertinentes à mesma Classe. Devem-se mudar elementos da forma mais ampla possível. Caso o estudante repita a organização da conduta, garante-se a construção de um Esquema.

Um bom exemplo é quando o estudante compreende de fato o Ímã e um fio de Corrente Elétrica sob um mesmo núcleo comum. E quando falamos de núcleo comum, não mencionamos um conhecimento-em-ação solto, mas envolve o estabelecimento de uma Representação Interna para processar Operações de Pensamento de forma a serem organizadas de forma invariante.

A segunda diz respeito à estabilidade do Esquema. Se uma conduta é repetida várias vezes para uma Situação com os mesmos elementos, mas com distintos parâmetros como, por exemplo, nos casos em que mudamos valores de Carga Elétrica, mudamos a variável a ser descoberta num problema, etc, então temos uma evidência independente da primeira apresentada acima.

Um bom exemplo é quando o estudante compreende a Força Elétrica devida ao Campo Elétrico sobre uma Carga Elétrica de prova com distintos valores de Carga Elétrica e de Campo Elétrico. Mudam-se parâmetros, mas a Situação continua sendo basicamente a mesma.

A terceira diz respeito aos conhecimentos-em-ação deste Esquema. Se o sujeito estabelece referência a Objetos e Relações nas Situações usando o mesmo núcleo de Conhecimentos-em-ação, temos uma terceira evidência da construção de um Esquema. Para por em prática este ponto, é preciso variar as Situações tanto em elementos, como parâmetros.

A quarta diz respeito às Representações Externas usadas para apresentar a conceitualização. Quanto maior a coerência interna do conjunto de Símbolos (pictóricos

ou não pictóricos) usados para Representar a parte explícita das Operações de Pensamento, maior a probabilidade da constituição de um Esquema.

Nosso estudo não teve como foco a discussão deste problema, mas o encontramos na hora de argumentar sobre a transformação de um Modelo Mental em um Esquema. Falamos de Modelos Mentais estáveis e fomos bastante prudentes na hora de considerar um Modelo Mental transformado em Esquema.

Podemos afirmar ter sido um bom referencial para trabalhar com UEPS em Eletromagnetismo e pretendemos, em breve, dar novas contribuições à proposta em torno de aspectos envolvendo *tomada de decisão, afetividade, cultura e contexto social*, além de *aspectos cognitivos* na Aprendizagem de Física, como, por exemplo, a estabilização de Modelos Mentais em Esquemas.

6.4. Que Classes de Situações, Operações de Pensamento e Representações Externas podem ser enquadradas no Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético para orientação do Ensino em nível de Física Geral (graduação)?

Neste trabalho apresentamos possíveis Classes de Situações para se abordar em uma disciplina de Eletromagnetismo em nível de Física Geral. Foi possível arrolar as Operações de Pensamento empregadas pelos estudantes no domínio das Situações e as Representações Externas usadas por eles. A seguir, retomamos alguns dos resultados mais importantes do trabalho com respeito a esta proposta inicial de Campo Conceitual.

As UEPS podem ser organizadas a partir das classes de Situações propostas no trabalho e levando em conta as Operações de Pensamento construídas e Representações Externas utilizadas pelos alunos. É natural o professor optar por focar mais uma ou outra classe de Situações que outras. Isto muda em função do professor da disciplina, dos objetivos desta e dos conhecimentos prévios da turma.

Neste trabalho supusemos ser o conceito de Campo desconhecido ou vago para os alunos e, assim, focamos na descrição de interações Eletromagnéticas usando o conceito de Campo e somente após isto trabalhamos cálculos do Campo Eletromagnético. Para uma disciplina de Eletromagnetismo Clássico do ciclo profissional do curso de Física, por exemplo, talvez seja mais adequado focar no aspecto operacional por se supor o conhecimento prévio mais associado ao conceito de Campo.

Um ponto relevante para a discussão e já discutido de forma geral por Vergnaud (1982) é o da influência das Situações na conceitualização, mas não há esta discussão em Eletromagnetismo e cremos haver poucas discussões deste sentido em Física. Furió e Guisasola (1998) já haviam levantado tal discussão de forma bastante tangencial afirmando ser a conceitualização dos estudantes diferentes dependendo do tipo de Situação adotada. Os autores atestam diferir a conceitualização em situações acadêmicas e cotidianas.

Uma resposta conjecturada por nós a esta questão envolve a ideia de referência. Para dominar uma Situação, é preciso usar uma Representação Interna a ser adaptada às Situações. Isto significa ser necessário o uso de um Esquema ou Modelo Mental para Representar a Situação, isto é, para fazer referência a ela. No uso desta representação, atribui-se características aos objetos relacionados na Situação. Para tal e para a tomada de Inferências, é necessária a construção de Regras de Ação ou Operações Recursivas, ou seja, é preciso realizar uma Operação de Pensamento.

O Modelo Mental não se trata de uma Imagem Mental. Pode-se entendê-lo como uma Representação Mental, com estrutura análoga aos objetos representados, de um conjunto de Significados relacionados e interpretados pelo cérebro. Atribuímos, então, capacidade ao Modelo Mental ou ao Esquema de se adaptar a e de Representar internamente uma Situação. Este processo adaptativo é o fator distintivo entre Operações de Pensamento e Representações internas como já temos falado anteriormente. Em termos mais simplórios, as Operações de Pensamento constituem na “rodada” das Representações Internas.

O emprego de Representações Internas depende, portanto, logicamente, dos parâmetros e de elementos da Situação, dos Objetos envolvidos, de variáveis e de uma gama de fatores relacionados através dos ingredientes dos Esquemas. A construção de Operações de Pensamento e, portanto, a tomada de inferências é fortemente dependente da Situação.

Para esquematizar isto, tomamos a atividade inicial respectiva ao Campo Magnético. Muitos alunos conseguem entender a Força Magnética sobre uma partícula usando a Força de Lorentz (evidenciando o S.I.B.2) quando a fonte do Campo Magnético não está explicitada e o Campo Magnético é apresentado. Quando introduzimos ímãs e omitimos o Campo Magnético, a maior parte dos estudantes constrói Operações de Pensamento compatíveis com a manipulação da Representação Interna S.I.B.6.

Outro bom exemplo, é quando alguns estudantes, algumas vezes, ativam Esquemas para descrever Interações Elétricas sem usar o conceito de Campo Elétrico em Situações nas quais temos duas distribuições de Cargas Elétricas conhecidas, enquanto os mesmos alunos constroem Modelos Mentais usando o conceito de Campo Elétrico de maneira geral para descrever Interações Elétricas, quando os objetos envolvidos na Situação são uma Distribuição de Carga Elétrica conhecida e um Campo Elétrico devido a uma Distribuição de Carga Elétrica omitida.

Ao final das UEPS, os alunos, em geral, apresentam-se menos suscetíveis a estes efeitos, o que evidencia um maior domínio de determinada Classe de Situações. Este conhecimento coerente e unificado é uma evidência de Aprendizagem Significativa e sugere uma melhora nas relações de estabelecimento de referência a aspectos da Situação. Os alunos estudados por Furió e Guisasola (1998) certamente tinham dificuldade em estabelecer referências com aspectos das Situações, desta forma, tendiam a usar raciocínios nos quais podiam se ancorar para tentar dominá-las.

Isto reforça a tese de Vergnaud (1996) de serem os Esquemas adaptáveis e dependentes das Situações, a tese de Johnson-Laird (1980) de os Modelos Mentais terem forte viés Situacional e a proposta de Greca e Moreira (2002) da possibilidade de agrupar Modelos Mentais e Esquemas. Nossa contribuição é aplicar esta ideia ao Eletromagnetismo e evidenciar a dependência do conhecimento prévio com respeito às Situações.

Mas como poderíamos avançar mais? A noção de Conhecimento-em-ação é fundamental neste ponto. A referência ao real ocorre simultaneamente à conceitualização. Para entendermos um Problema, é preciso fundamentalmente enquadrar os elementos do Problema em categorias pertinentes ou não e estabelecer relações tomadas como verdadeiras sobre a Situação. Teoremas-em-ação e Conceitos-em-ação são estes elementos.

Retomemos o exemplo relativo às fontes de Campo Magnético. Quando trocamos as fontes de Campo Magnético, dependendo da fonte colocada e de se o Campo Magnético está explícito ou não, o estudante pode criar um Modelo Mental ou ativar um Esquema. Então os elementos e parâmetros da Situação, mudam a forma pela qual a mesma é dominada.

O estudante, para resolver uma Situação, identifica Objetivos para esta Situação. Algumas vezes estes Objetivos, em geral estabelecidos a partir da leitura dos enunciados e, obviamente, carregando a conceitualização, são erroneamente adotados e, desta forma, o estudante dá uma resposta fora de contexto. Acontece frequentemente de os estudantes apresentarem respostas certas em um contexto inadequado.

Após elaborar um Objetivo, o estudante inicia o processo de tomadas de Inferência. Para isto, deve usar seus Conhecimentos-em-ação para implementar o mecanismo de conceitualização e, em seguida, construir Regras de Ação. Ora, este processo é rápido e, muitas vezes, implícito, de forma a ser bastante seguro afirmar ocorrer a passagem de uma etapa para outra de maneira rápida.

Ao construir Regras de Ação, o estudante processa Teoremas-em-ação construídos a partir de Conceitos-em-ação. Se o faz desta forma, obviamente, para estabelecer referência com respeito aos ímãs, o estudante vai usar seu conhecimento prévio ou o que aprendeu em aula sobre os ímãs. Espera-se ser mais estável essa concepção ao longo do curso, quando o estudante começa a construir uma estrutura cognitiva a partir da construção de Modelos Mentais.

Desta forma, cremos ter uma resposta a este problema. Esta resposta evoca outra pergunta: como classificar Situações em mais fáceis ou mais difíceis? A resposta a este questionamento é complexa e demanda mais dados sobre isto, mas podemos adiantar algumas dimensões de análise como, por exemplo, *dificuldade matemática*, *presença de elementos de geometria complicada*, *quantidade de passos a ser seguidos para domínio*, *e coexistência da Situação em duas classes distintas*, são bons exemplos. A princípio a quantidade de Problemas em uma classe de Situações é infinita.

Outro ponto a ser discutido é o de que, por alguma razão, alguns alunos conseguem fortificar mais ainda alguns de seus conhecimentos prévios cujo caráter de Obstáculo Epistemológico (Bachelard, 1996) está fortemente presente. As UEPS propõem o princípio da desaprendizagem neste tipo de Situação.

Mas como desaprender alguma coisa Aprendida Significativamente? O professor deve, como provedor de Situações Problema, procurar o mais rápido possível despertar a atenção dos estudantes para estas dificuldades. Várias fontes são, portanto, importantes. Podemos mencionar como exemplos o uso de História da Ciência no caso do Modelo Mental ou Esquema ter um precedente na História, Modelagem Computacional, no caso de um experimento de pensamento ou a discussão com o aluno resulte infrutífera, etc. Deve-se perceber que o aluno enxerga “bem” o mundo com aquela percepção. Certo tipo de desconforto cognitivo deve ser, portanto, gerado.

Modelos Mentais e Esquemas descrevem de forma bastante clara as Operações de Pensamento, mas cabe destacar a diferença estabelecida no trabalho, qual seja, a de que Modelos Mentais descrevem Operações de Pensamento de curto prazo, ou seja, ocorrem na Memória de Trabalho e são construídos provisoriamente para resolver um problema. Esta é uma possível razão de serem tão maleáveis.

Em uma mesma tarefa, alguns alunos resolvem duas situações da mesma classe de formas distintas. Modelos Mentais, mais que Esquemas são muito mais dependentes das Situações aos quais são endereçados. Na interação com as Situações, eles são muito mais modificados que os Esquemas. Os últimos, por sua vez, ocorrem na memória de longo prazo e estão associados não a uma conduta invariante, mas a uma conduta organizada de forma invariante.

Para a construção desta proposta inicial do Campo Conceitual do conceito de Campo Eletromagnético e para a própria análise do êxito das UEPS implementadas, foi necessário realizar a reconstituição das Operações de Pensamento realizadas pelos alunos.

Confesso que esta busca foi semelhante à de um detetive cruzando provas e hipóteses em busca da identificação de um assassino. A cada caso, ele reúne evidências indicando um caminho ou outro, mas sempre com ideias prévias na mente como no caso de Vera, personagem de Luana Piovani no seriado Dupla Identidade, uma psicóloga forense construindo o perfil de um psicopata na cidade do Rio de Janeiro até chegar a Eduardo Borges, o real assassino, através do cruzamento de informações e de hipóteses construídas em base de distúrbios psicológicos do potencial suspeito. Travamos a analogia para discutir que não se trata de uma busca pelo conhecimento através da “descoberta”, mas partindo de hipóteses. Ainda na analogia com o seriado policial, o Delegado Dias, chefe de Vera, busca, como Francis Bacon, a procura do Serial Killer sem levantar hipóteses, mas através da busca cega através dos dados.

Continuamos a discussão apresentando alguns pontos observados como limitantes no emprego da UEPS. Mais precisamente, argumentamos a favor do trabalho docente em grupo para construção das UEPS.

6.5. Aspectos limitantes para a implementação de uma UEPS

É importante discutir alguns aspectos limitantes para a implementação das UEPS em larga escala. O primeiro deles é o de ser necessária a presença de um professor especialista na disciplina, que tenha domínio do Campo Conceitual da matéria a ensinar. Neste trabalho, defendemos ser fundamental para isto o mapeamento de Operações de Pensamento e a classificação de Situações e de Representações.

Esta tarefa demanda muito tempo e esforço para ser realizada por somente um professor (caso contrário não seriam necessários quatro anos para se escrever uma tese fazendo uma **proposta inicial** para o Campo Conceitual do Eletromagnetismo). No caso do estado do Pará, um professor de Ensino Médio com salário base de 1451,00 com percentual mínimo de 20% da carga horária destinado a planejamento didático (disponível em <http://revistaeducacao.uol.com.br/textos/107/salarios-dos-professores-279028-1.asp>), se torna inviável a aplicação de um projeto desta magnitude, sem a reunião de diversos professores.

Ainda que tomemos como referência o meu caso, professor universitário de Classe Assistente (40 h), com cargo de coordenação do Centro Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico (20 h) e 50% destinado ao planejamento didático (10 h). Temos, na prática, uma disciplina de 60 horas semestrais e uma de 90 horas semestrais para ministrar. Considerando o volume semanal de atividades, três provas individuais e uma turma típica de 15 – 40 alunos, torna-se trabalhosa a implementação das UEPS.

Jocosamente a UEPS incentiva o trabalho em grupo entre os alunos, mas muitas vezes os docentes sentem certo incômodo com a presença de um colega que possa avaliar seu trabalho. Não se deve parar no discurso da “união faz a força” ou do “trabalho em grupo acima de tudo”. Para construir e avaliar uma UEPS, é fundamental, como diria Vergnaud, a reunião de especialistas no assunto, especialistas em epistemologia, professores e, especial, alunos de licenciatura em Física (no nosso caso) para a construção de um curso baseado na metodologia. Sem isto, o trabalho se torna muito maior.

É fundamental ter em vista que toda metodologia para coleta e análise de dados deve ser levada em conta para o mapeamento de Operações de Pensamento realizadas pelos alunos. Isto torna mais rico o processo de descrição do Campo Conceitual do Conceito de Campo Eletromagnético.

Muitas vezes, existem alunos não predispostos a aprender significativamente. Toda tentativa de incluir estes alunos na proposta deve ser realizada. Existem numerosas formas de atrair este aluno para a aprendizagem de Física, no entanto, uma

das mais fundamentais é o respeito à velocidade de construção e desconstrução de Representações Internas.

Existem alunos que por razões ambientais ou culturais possuem maior predisposição ao aprendizado de Física, outros já preferem História, enquanto alguns preferem Biologia. Existem alunos que gostam de Música. Neste ponto, um fator crucial é a criatividade do professor em construir Situações-problema passíveis de serem relacionadas ao conhecimento prévio dos estudantes. Caso contrário, nada feito, afinal, pré-disposição a relacionar aquilo que se sabe com o conteúdo a ser aprendido, é uma condição primordial para a ocorrência da Aprendizagem Significativa.

É importante, ainda, o estabelecimento de uma relação de diálogo com os estudantes. Um ambiente no qual eles possam participar das decisões é fundamental para sentirem-se à vontade para participar da proposta. Em todos os estudos, em especial no estudo II, a relação estabelecida com a turma foi muito boa e os estudantes parecem ter aderido à metodologia e se envolvido na Aprendizagem Significativa do conteúdo, conforme destacamos no Apêndice C.

A despeito dos entraves e dificuldades, é um trabalho que pretendo seguir pelo resto da vida e isto me foi encorajado por diversos alunos. E é isso que me faz querer continuar na docência. É a sensação de o dever estar sendo cumprido e de ter influenciado positivamente na vida de algumas pessoas, mesmo nos encontrando somente duas a três vezes na semana, durante duas a três horas.

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

Nesta seção apresentamos algumas perspectivas futuras para a continuidade do importante trabalho com Unidades Didáticas Potencialmente Significativas (as UEPS). As primeiras, dizem respeito à construção de Campos Conceituais de conceitos estruturantes da Física de maneira geral. É importante desenvolvermos estruturas didáticas de referência (Campos Conceituais) para facilitar a organização do Ensino e a Avaliação da Aprendizagem. A proposta de Greca e Moreira (2002) nos deu orientação para tal e aprofundamos a abordagem seguida por eles para integrar os referenciais teóricos de Johnson-Laird e Gérard Vergnaud e tomamos a ideia de Campo Conceitual como elemento chave neste processo.

Para estruturar o ciclo básico de Física na Universidade (Física I, Física II, Física III e Física IV), julgamos ser necessária a construção dos Campos Conceituais dos seguintes conceitos:

- Campo Eletromagnético (iniciada neste trabalho);
- Estado de um Sistema Quântico;
- Força;
- Energia;
- Matéria;
- Ondas;
- Entropia.

A partir da construção dos Campos Conceituais destes conceitos, desejamos propor uma mudança curricular na Universidade Federal do Oeste do Pará, bem como a realização de oficinas para docentes que trabalharão com as disciplinas de Física Geral.

Em longo prazo, estima-se uma adaptação ao Ensino Médio e proposição de mudança curricular ao governo do Estado do Pará, bem como a realização de estudos sobre tal reorganização curricular no Ensino Médio, com docentes da rede e com estudantes. É onde pretendo contribuir com a minha região. Tenho consciência de ser o passo mais difícil de ser alcançado, pois devido a fortes entraves políticos e dificuldades estruturais, muito provavelmente a proposta, se algum dia tramitar em algum órgão de representatividade política como, por exemplo, a assembleia legislativa do Estado do Pará, muito provavelmente será engavetada ou arquivada. Sabemos dos outros e fortes interesses (financeiros e, por vezes escusos e espúrios) sendo discutidos por estas casas.

Outro ponto a ser trabalhado no futuro é a articulação das UEPS com as disciplinas de laboratório. Tendo a Física como uma de suas facetas a experimentação, torna-se importante não só a exploração da experimentação como um fim em si mesmo, mas uma discussão e uma articulação de pontos dentro do processo que podem facilitar a aprendizagem de conceitos, de procedimentos e de atitudes em Física.

Um ponto importante é a introdução de Tecnologia no Ensino. Pretendemos aprofundar a discussão neste ponto, a saber, o dos efeitos da introdução de Modelagem

e de Simulação Computacional nas UEPS. Uma forma de fazer isto já vem sendo pensada, no entanto, não houve tempo hábil para implementar um programa de atividades envolvendo Modelagem e Simulação Computacional em algum dos estudos, visto não focarem este problema de pesquisa. Pretende-se ancorar no conhecimento já produzido na área e realizar a articulação dos princípios da UEPS com estas informações da literatura de Modelagem e Simulação Computacional no Ensino de Física.

Outra frente de trabalho é a construção de UEPS em Mecânica Quântica. O proponente da tese já trabalhou em sua dissertação de Mestrado com a temática de Ensino de Mecânica Quântica através do Ensino do conceito de Evolução Temporal em Mecânica Quântica. Pretendemos reelaborar este trabalho de uma forma a enquadrá-lo nos moldes das UEPS para facilitar a aprendizagem de conceitos de Física Quântica a partir dos conceitos de Estado Quântico e de Evolução Temporal.

Um ponto a ser mencionado diz respeito à própria análise das Operações de Pensamento realizada pelos alunos. A teoria de tomada de decisões articulada com a proposta de Greca e Moreira (2002) poderá lançar luz sobre os problemas de vieses cognitivos desenvolvidos pelos alunos durante a resolução de problemas. Fica claro em alguns trabalhos na literatura um teorema-em-ação que está associado à classe de situações da execução de Cálculos de Campos Elétricos, a saber, o de que “*quando o Fluxo do Campo Elétrico é nulo, o Campo Elétrico é nulo*”. É preciso mais estudo para determinar a razão de os estudantes estabelecerem estas relações de Redução e de Fixação Funcional.

Neste trabalho propusemos Unidades de Ensino visando à Aprendizagem Significativa do conceito de Campo Eletromagnético, analisamos as Operações de Pensamento dos estudantes, as classes de Situações em que possuem maior dificuldade e as Representações Externas usadas por eles, ou seja, propusemos uma forma inicial para o Campo Conceitual do Eletromagnetismo, contudo, não explicamos a razão da ocorrência das relações de vieses cognitivos. Preocupamo-nos em entender que Esquemas e Modelos Mentais estes estudantes usam, mas não era escopo do trabalho entender a razão de usarem tais Esquemas e Modelos Mentais, ou seja, as tomadas de decisão no intermeio do processo. Uma associação deste tipo está prevista e deve encabeçar os novos trabalhos de construção de novos Campos Conceituais.

8. REFERÊNCIAS

- Abd-El-Khalick. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of literature. *International Journal of Science Education*. 22(7), 665-701.
- Araujo, I., Veit, E. & Moreira, M. (2007). Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para eletricidade e de Lei de Ampère em nível de Física Geral. 6(3), p. 601-629.
- Ausubel, D. P. (2000). *Acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Ausubel, D. P., Novak, J. & Hanesian, H. (1980). *Psicologia Educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Bachelard, G. (1996). *A Formação do Espírito Científico*. Rio de Janeiro: Editora Contraponto.
- Bardin, L. (2008). *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70.
- Bradamante, F. & Viennot, L. (2007). Mapping Gravitational and Magnetic Fields with children 9-11: relevance, difficulties and prospects. *International Journal of Science Education*. 29(3), p. 349-372.
- Bunge, M. (2009). *Teoria e realidade*. São Paulo: Editora Perspectiva.
- Chalmers, A. F. (1975). Maxwell and the displacement current. *Physics Education*. 32(1), p.45-49.
- Chalmers, A.F. (1991). *O que é Ciência afinal?* Brasília: Editora da UNB.
- Criado, A. & García-Carmona, A. (2010). Prospective teachers' difficulties in interpreting elementary phenomena of Electrostatic interactions: indicators of the status of their intuitive ideas. *International Journal of Science Education*, 32(6), p. 769-805.
- Fourez, G. (1995). *A construção das ciências: introdução à filosofia e à ética da ciência*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista.
- Furió, C. & Guisasola, J. (1995). Dificultades de aprendizaje de los conceptos de Carga y de Campo Eléctrico en estudiantes de Bachillerato y Universidad. *Enseñanza de las Ciencias*. 16(1), p.131-146.
- Furió, C. & Guisasola, J. (1997). Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de Campo y Potencial Eléctrico. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 259-271.
- Furió, C. & Guisasola, J. (1997). Difficulties in Learning the concept of Electric Field. *Science Education*. 82(), 511-526.

- Furió, C. & Guisasola, J. (2001). La enseñanza del concepto de Campo Eléctrico basada en un modelo de aprendizaje como investigación orientada. *Enseñanza de las Ciencias*. 19(2), 319-334.
- Furió, C., & Guisasola, J. (1998). Difficulties in learning the concept of Electric Field. *Science Education*. 82(4), 511-526.
- Furió, C., Guisasola, J. & Zubimendi, J. (1998). Problemas históricos y dificultades de aprendizaje en la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. *Investigações em Ensino de Ciências*. 3(3), p165-188.
- Furió, C., Guisasola, J., Almudí, J. M., & Ceberio, M. (2003). Learning the Electric Field Concept as Oriented Activity. *Science Education*. 87(5), 640- 662.
- Gil-Pérez, D., & Carrascosa-Alis, J. (1994). Bringing pupils' learning closer to a scientific construction of knowledge: A permanent feature in innovations in Science Teaching. *Science Education*. 78(3), 301-315.
- Greca, I. M. (2004). Representaciones Mentales. In: Moreira, M.A. (Org). *Representações Mentais, Modelos Mentais e Representações Sociais*.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A.(1998). Modelos Mentales y aprendizaje de Electricidad y Magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*. 16(2), 289-303.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A.(2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências*. 7(1), 31-53.
- Guisasola, J. Almudí, J. & Zuza, K. (2010). Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética. 32(1), p. 1401.
- Guisasola, J., Almudí, J. & Furió, C. (2005). The nature of Science and Its implications for Physics textbooks.
- Guisasola, J., Almudí, J. & Zubimendi, J. (1998). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del Campo Magnético y elección de objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*. 21(1), p.79-94.
- Guisasola, J., Almudí, J. & Zuza, K. (2011). University students' understanding of Electromagnetic induction. *International Journal of Science Education*. (versión online), p. 1-26.
- Guisasola, J., Almudí, J., Mikel, C. (2003). Concepciones alternativas sobre el Campo Magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección. *Enseñanza de las Ciencias*. 21(2), p.281-293.
- Guisasola, J., Almudí, J., Salinas, J., Zuza, K. & Ceberio, M. (2008). The Gauss and Ampère Laws: different laws but similar difficulties for student learning. 29 p. 1005-1016.

- Guisasola, J., Montero, A. & Fernández, M. (2008). La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo. 30(1), p.1604.
- Guisasola, J., Zubimendi, J., Almudí, J. & Cerberio, M. (2008). Dificultades persistentes en el aprendizaje de la electricidad: estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de Carga Eléctrica. Enseñanza de las Ciencias. 26(2), p.172-192.
- Halliday, D., Resnick, R., & Krane, K. (2004). Física 3. Rio de Janeiro: LTC.
- Johnson-Laird, P. (1980). Mental models in cognitive science. Cognitive Science. 4(1), 71-115.
- Karam, R., Coimbra, D. & Pietrocola, M. (2014) Comparing Teaching Approaches about Maxwell's Displacement Current. Science and Education. 23, p.1637-1661.
- Krapas, S., da Silva, M. (2008). O conceito de Campo: polissemia nos manuais, significados na Física do passado e da atualidade. Ciência e Educação. 14(1), p.15-33.
- Landau, L., & Lifshitz, M. (1975). The classical theory of fields. Butterworth Heinemann.
- Llancaqueo, A. Caballero, M. C., Moreira, M. A. (2003). El aprendizaje del concepto de Campo em Física: una investigación exploratória a la luz de la teoría de Vergnaud. Revista Brasileira de Ensino de Física. 25(4), 399- 417.
- Martín, J. & Solbes, J. (2001). Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de Campo em Física. Enseñanza de las Ciencias, 19(3), 393-403
- Moreira, M. A. (1996). Modelos mentais. Investigações em Ensino de Ciências. 1(3), 193-232.
- Moreira, M. A. (1997). Aprendizagem Significativa: um conceito subja- cente. In Moreira, M.A., Caballero, M.C. e Rodríguez, M.L. (orgs.) Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo.
- Moreira, M. A. (2002). A teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. Investigações em Ensino de Ciências. 7(1), p. 7-29.
- Moreira, M. A. (2003). Linguagem e Aprendizagem Significativa. Conferência proferida no IV encontro internacional de Aprendizagem Significativa: Maragogi, AL, Brasil.
- Moreira, M. A. (2011). Unidades de enseñanza potencialmente significativas. Aprendizagem Significativa em revista. 1(1), 43-63.
- Narjaikaew, P., Emarat, N., & Cowie, B. (2009). The effect of guiding note taking during lectures on Thai university students' understanding of Electromagnetism. Research in Science and Technological Education. 27(1), p. 75-94.

Park, J., Kim, I., Kim, M. & Lee, M. (2001). Analysis of students' process of confirmation and falsification of their prior ideas about electrostatics. *International Journal of Science Education*. 23(12), p. 1219-1236.

Pantoja, G.C. (2011). Sobre o Ensino do conceito de Evolução Temporal em Mecânica Quântica. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Pantoja, G.C., Moreira, M.A. (2015). A potentially meaningful teaching unit for the teaching of the concept of Field in Physics. *Latin American Journal of Physics Education*. 9 (1).

Pocovi, M., Finley, F. (2003). Historical evolution of Field view and Textbook accounts. *Science & Education*. 12 (4), 387-396.

Pocovi, M., Hoyos, E. (2011). Corriente de Desplazamiento: su presentación en libros didácticos y su comprensión por parte de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*. 29 (2), p. 275-288.

Popper, K. (1972). *Conhecimento objetivo*. Belo Horizonte: Editora Itatiaia.

Salversbergh, E., de Jong, T., & Fergusson-Hessler, M. (2002). Situational Knowledge in Physics: the case of Electrodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*. 39(10), p.928-951.

Shen, J., & Linn, M.C. (2011). Connecting scientific explanations and everyday observations: A technology enhanced curriculum on modeling static electricity. *International Journal of Science Education*, 33(12), p.1597-1623.

Silva, I. ; Freire, O. ; Silva, A. P. B. A imagem pública de Arthur Holly Compton: um físico quântico ou clássico?. In: Olival Freire Jr; Osvaldo Pessoa Jr; Joan Bromberg. (Org.). *Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Culturais*. Campina Grande: EDUEPB, 2010, v. , p. 411-422.

Thong, W. & Gunstone, R. (2008). Some students conceptions of Electromagnetic Induction. *Research in Science Education*. 38 (), p.31-44.

Tipler, P., & Mosca, G. (2006). *Física para cientistas e engenheiros*. Rio de Janeiro: LTC.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (Eds.) *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum.

Vergnaud, G. (1996). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*. 17(2), 167-181.

Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) Learning and teaching mathematics, na international perspective. Hove: Psychology Press Ltd.

Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representations for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*. 17(2), p.167-181.

Vergnaud, G. (2007). En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*. 12(2), 285-302.

Vergnaud, G., Booker, G., Confrey, J., Lerman, S., Lochhead, J., Sfard, A. Sierpinska, A., Wheeler, D. (1990). Epistemology and psychology of mathematics education. In Nesher, P., Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: a research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Cambridge: Cambridge University Press), p.14-30.

Viennot, L. & Raison, S. (1999). Design and evaluation of a research-based teaching sequence: the superposition of the Electric Field. *International Journal of Science Education*. 21(1), p.1-16.

Wandersee, J.H., Mintzes, J.J., & Novak, J.D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In: *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, ed. D. Gabel, New York: Simon & Schuster Macmillan, 177–210.

APÊNDICE A – Ficha catalográfica de achados da revisão da literatura

Campo

Trabalho e autor: *Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de Campo en Física.* Martín e Solbes (2001)

Motivações: **1)** Os alunos pensam em termos de forças, pois para eles Campos são entidades confusas e desprovidas de significado; **2)** eles o consideram como *região do espaço que delimita a influência de uma entidade física.* **3)** As forças são atribuídas às fontes e não ao Campo, o que corresponde ao pensamento Newtoniano que, segundo os autores, é influência da forma pela qual o conteúdo é ensinado. **4)** Os alunos sequer reconhecem as *diferenças entre uma teoria de Campo para interações e uma teoria de ação à distância,* bem como desconhecem *as vantagens destas teorias de Campo sobre as teorias de ação à distância.* **5)** Os alunos, não relacionam o avanço científico ao tecnológico. **6)** Os alunos não conhecem a interpretação dos aspectos energéticos associados às interações, ou seja, desconhecem que o Campo *é uma entidade real dotada de energia e de momentum.*

Achados importantes: **1)** investigações orientadas (incluem a formulação e resolução de problemas abertos, emissão e contrastação de hipóteses) tendem a facilitar a aprendizagem; **2)** aproximar-se do conhecimento prévio dos alunos, introduzindo a ideia de Campo pelo já conhecido Campo Gravitacional tende a facilitar a introdução do e motivação para o estudo do conceito de Campo; **3)** atenuação das ideias Newtonianas tende a não reforçar o conhecimento prévio dos estudantes, abrindo novas possibilidades para aprender de forma mais adequada o conceito de Campo.

Contribuições para a pesquisa: **1)** Introduzir o conceito de Campo e discussões qualitativas em situações-problema, incluindo o conceito de Campo de forma mais precoce possível; **2)** Apresentar o Campo como agente da interação, possuindo realidade física e independência da força, sendo um ente dotado de energia e de momentum. O trunfo deles é usar a ênfase nas situações de propagação de ondas eletromagnéticas.

Trabalho e autor: *El concepto de Campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias.* Llancacqueo, Caballero e Moreira (2003)

Motivações: Entender como os estudantes constroem conceitos e representações relacionados à ideia de Campo em Física.

Achados importantes: Várias categorias de pensamento.

Contribuições para a pesquisa: **1)** Sua proposta didática que busca introduzir o conceito de Campo através de situações-problema.

Trabalho e autor: *Historical Evolution of the Field View and Textbook Accounts*. Pocovi e Finley (2003)

Motivações: Comparar a abordagem ao conceito de Campo feito por dois livros didáticos usados comumente como referência para cursos de Física Básica/Geral.

Achados importantes: Vários problemas na introdução do conceito de Campo em ambas as obras, tais como: **1)** A mistura de razões pedagógicas e históricas para a introdução do conceito de Campo (por Tipler), **2)** apresentação das visões de Campo e de ação-à-distância como suplementares (por Halliday), **3)** a mistura de dois elementos corretos mas que são independentes **a)** evitar o problema com a ação à distância, e **b)** a crença de Newton em algo material que mediasse as interações (tal mistura foi feita por Tipler), **4)** Tipler não menciona a equivalência do mecanismo de ação-à-distância e do Campo na eletrostática. **5)** A introdução arbitrária do conceito de Campo a partir de um diagrama para explicar a ação à distância e a ação-mediada-por-campos.

Contribuições para a pesquisa: **1)** Esclarecimento acerca de falhas de livros didáticos comuns, alertando-nos para a necessidade do estabelecimento de uma construção epistemologicamente coerente para a história do conceito de Campo. **2)** Apresentação de uma visão de Campo mais adequada que considera este como um ente físico com realidade independente de qualquer substância material e que possui energia e momentum.

Trabalho e autor: *O conceito de Campo: polissemia nos manuais, significados na Física do Passado e da atualidade*. Krapas e da Silva (2008)

Motivações: mapear em livros didáticos o significado do conceito de Campo e identificar estes conceitos com ideias contemporâneas e passadas com respeito ao conceito de Campo.

Achados importantes: **1)** Livros didáticos descaracterizam o tratamento histórico para justificar a introdução do conceito de Campo no Ensino de Física, **2)** alguns livros didáticos usam uma linguagem não clara para a introdução do conceito, **3)** a comparação entre ação mediada por Campos e ação à distância. **4)** Elaboração de sete categorias de significados para livros didáticos: **a)** Campo é espaço, **b)** Campo é vetor, **c)** Campo é curvatura do espaço, **d)** Campo armazena energia, **e)** Campo interage com partículas, medeia a interação entre partículas, **f)** Campo se propaga, é suporte para propagação, **g)** Campo preenche o espaço.

Contribuições para a pesquisa: **1)** As categorias encontradas mostram-nos uma polissemia do conceito de Campo que deve ser sanada e esclarecida em uma abordagem didática séria ao conceito, **2)** Esclarecimento de falhas de livros didáticos.

Campo Elétrico

Trabalho e autor: Furió e Guisasola (2001, 2003)

Motivações: Testar o uso da abordagem de ensino por investigação orientada que se baseia na ideia de distribuir os alunos em grupos de investigação como se fossem pesquisadores juniores sob a orientação de um professor, no qual eles são postos frente a problemas nos quais eles discutem soluções intra e inter grupos visando a formulação e testagem de hipóteses.

Achados importantes: **1)** Em comparação com grupos de controle, os estudantes do grupo experimental obtiveram notas com diferenças estatisticamente significativas. **2)** as entrevistas mostram que, de fato, os estudantes do grupo experimental usam, em sua maioria, o conceito de Campo de forma adequada, embora 20% deles as use de forma mais semelhantes à ideia de fluido elétrico. **3)** Os estudantes parecem ter alcançado uma mudança metodológica no que tange aos raciocínios de senso comum.

Contribuições para a pesquisa: Aspectos importantes da metodologia podem ser traduzidos para a linguagem da nossa pesquisa pelos aspectos **1)** ativação da intencionalidade - uso de atividades que justifiquem a introdução do conceito de Campo Elétrico, **2)** ênfase no conhecimento prévio - a abordagem favorece a construção de conhecimentos a partir do conhecimento prévio dos estudantes. **3)** Situações dão sentido aos conceitos - no intuito de quebrar a arbitrariedade e acriticidade, os pesquisadores introduzem situações-problema para fazer com que os conceitos tenham sua necessidade de introdução revelada. **4)** Progresso das situações às definições formais - os conceitos não são definidos, mas surgem do confronto com as situações-problema. Os autores corroboram, ainda, os critérios apresentados para classificação da aprendizagem dos estudantes com respeito ao Campo Elétrico.

Trabalho e autor: Araújo et al. (2007)

Motivações: Testar uma intervenção didática envolvendo simulações computacionais e atividades colaborativas presenciais com alunos de ensino superior.

Achados importantes: **1)** Alunos percebem o computador como instrumento que facilita a aprendizagem, **2)** parceiros mais capazes ajudam na aprendizagem, **3)** Confusão entre carga líquida e corrente líquida, bem como confundir curva com superfície amperiana. **4)** Visão da lei de Gauss sob seu aspecto operacional somente. **5)** Confusão entre Campo Elétrico e Fluxo Elétrico. **6)** Não sabe escolher a superfície gaussiana. **7)** Confusão das dimensões da gaussiana com a dos objetos que compõem o sistema. **8)** Dificuldade em identificar a carga líquida envolvida pelo sistema. **9)** Confusão entre fluxo do Campo Elétrico e fluxo de cargas.

Contribuições para a pesquisa: Identificação de dificuldades de estudantes e sugestões de trabalho com simulações computacionais e atividades colaborativas presenciais.

Trabalho e autor: Criado e García-Carmona (2010)

Motivações: Estudar dificuldades de estudantes em fenômenos básicos de eletrostática e testar uma abordagem didática embasada no ensino por investigação orientada com professores europeus do que equivaleria ao ensino fundamental no Brasil. O estudo parte do pressuposto de que existem concepções concorrentes na estrutura cognitiva dos

estudantes e que um dos critérios de escolha para adoção de uma concepção é o grau de certeza sobre elas. É objeto de estudo, ainda, a avaliação do grau de dependência contextual destas concepções (algo bastante estabelecido em psicologia e coerente com a teoria dos Campos Conceituais que afirma que esquemas se adaptam de formas distintas a classes de situações diferentes).

Achados importantes: **1)** Divisão das concepções alternativas em três grupos de situações: **a)** atração entre corpos carregados, **b)** repulsão entre corpos carregados **c)** atração entre corpo neutro, corpo carregado. **2)** Para **a)** atração entre corpos carregados, temos a concepção "*atração ocorre em corpos neutro-polarizados com cargas de sinais iguais frente a frente*". **3)** Para a segunda classe **b)** repulsão entre corpos carregados, temos as concepções: "*repulsão ocorre em corpos neutro-polarizados com cargas de sinais iguais frente a frente*" e "*ambos estão neutros, pois se estivessem carregados, eles se atrairiam. O estado neutro é responsável pela repulsão*". **4)** Para a terceira classe **c)** atração entre corpo neutro, corpo carregado, temos as concepções "*ambos carregados, com cargas de sinais opostos*", "*atração ocorre em corpos neutro-polarizados com cargas de sinais frente a frente*". **5)** O grau de certeza para estas concepções antes da abordagem era bastante baixo. O grau de dependência contextual, mostra que para a atração e indução, há pouca variação das concepções, mas para repulsão, quando há troca de contexto para a situação-problema, ocorre mudança nas concepções. **6)** Os autores discutem ainda que a aprendizagem da ideia de repulsão entre objetos carregados é mais facilmente se a instrução faz um paralelo entre as situações de atração e repulsão. **7)** após a instrução houve melhora das concepções, diminuição da incerteza conceitual e do grau de dependência contextual. No entanto, a atração entre objetos carregados foi mais facilmente assimilada que a repulsão entre objetos carregados. Já a indução entre corpo carregado e corpo neutro gerou concepções alternativa com maior estabilidade que as outras duas. **8)** Duas dificuldades rígidas foram inferidas e apresentam evidência: **a)** confusão entre objetos carregados e objetos neutro-polarizados, **b)** necessidade de simetria na interação (ou ambos estão carregados ou ambos estão neutros - para atração não há diferença entre as configurações de cargas - c-n ou c-c -).

Contribuições para a pesquisa: Reiterar o papel da investigação no ensino de Física e apresentar uma estrutura de referência para interpretação de dificuldades dos estudantes com o conceito de Carga Elétrica. Trazer a ideia de graus de certeza é um grande ponto, pois pode-se tentar uma articulação com os graus de certeza e o conhecimento nas etapas operatória/predicativa futuramente. Estudar que tipos de conhecimento associam-se mais a maiores graus de certeza pode nos dar ideia de como lidar com certas concepções. Deve-se ressaltar que tal ideia cabe para um projeto futuro e não para tal trabalho.

Trabalho e autor: Viennot e Raison (1999)

Motivações: Apresentar uma proposta didática para ensinar o princípio de superposição baseada na ideia de superposição de transparências.

Achados importantes: As investigações em raciocínios de senso comum, apresentadas pelos pesquisadores aponta para: **1)** a ignorância, por parte dos alunos, de uma causa se não há efeito visível, **2)** causalidade única (uma causa para um efeito), **3)** esquecer outros efeitos, **4)** Dificuldade em inferência de todos os efeitos gerados a partir de uma causa e de identificar todas as causas que geram um efeito. Para o conteúdo de Física temos as concepções: **5)** Só há campo se houver mobilidade de cargas (consequência: não há campo no interior de condutores), **6)** Causa na fórmula (Furio e Guisasola - cargas fora da Gaussiana não contam). Quanto à proposta didática, os pesquisadores enfatizaram os seguintes aspectos: **7)** Uso de transparências para realizar a superposição, **8)** discussão do papel das cargas externas à gaussiana para enfatizar que o Campo Elétrico resultante é a superposição de múltiplos efeitos.

Contribuições para a pesquisa: Apresentar diretrizes efetivas para ensinar o princípio da superposição, um princípio central na Física.

Trabalho e autor: Başer e Geban (2007)

Motivações: Buscar facilitar uma melhor compreensão dos estudantes em eletrostática através de atividades visando a mudança conceitual. Os autores investem em analogias como uma das principais metodologias para o ensino. Eles enumeram seis pontos para introduzir frutiferamente as analogias: **1)** Introduzir o conceito-alvo, **2)** dar dicas para a recuperação da analogia, **3)** identificação dos atributos chaves dos conceitos analógico e alvo, **4)** mapeamento de similaridades, **5)** indicação das diferenças, **6)** desenho de conclusões. Os autores desenvolvem o processo de mudança conceitual conforme Roth (1985) e Posner et al. (1982), isto é, as visões clássicas da mudança conceitual. A maior parte das atividades envolvia atividades de mudança conceitual. O conteúdo da proposta versou sobre estrutura da matéria, transferência de cargas, linhas de Campo, potencial e energia potencial e capacitores.

Achados importantes: **1)** Os autores afirmam ter conseguido resultados positivos no que tange à aprendizagem e afirmam, no entanto, não terem alterado a atitude dos estudantes frente à Física. Estudantes possuem muitas dificuldades a respeito dos conceitos de Carga Elétrica: **2)** objetos neutros não possuem carga, **3)** corpos carregados possuem somente elétrons ou prótons, **4)** atrito é a causa da eletricidade estática. Os autores trazem também evidências, na literatura, de que os estudantes tampouco compreendem o conceito de Campo Elétrico, apresentando as seguintes dificuldades: **5)** Consideração das linhas de Campo como entidades reais. **6)** Dificuldade de entendimento na representação das linhas de Campo. **7)** Força está dirigida sempre ao longo das linhas de Campo. **8)** Existe um número finito de linhas de Campo. **9)** Linhas de Campo podem se cruzar. Başer e Geban trazem, ainda, evidências de que os estudantes pouco entendem os mecanismos de transferência de carga, apresentando as dificuldades a seguir: **10)** Não há transferência de carga entre dois objetos metálicos com cargas de mesmo sinal. **11)** A transferência de carga entre corpos com cargas de distintos sinais ocorre até que um deles fique neutro. **12)** Não há transferência de carga entre um corpo carregado e um neutro. **13)** As cargas ficam iguais após o carregamento por contato. Os autores apresentam, também, evidências de que os estudantes não

compreendem a importância do conceito de diferença de potencial: **14)** Cargas pulam de uma placa do capacitor para a outra; **15)** Capacitores de placas paralelas armazenam carga elétrica. **16)** Estudantes não sabem o que é carga elétrica líquida. **17)** Capacitores de placas paralelas armazenam voltagem. **18)** Estudantes não sabem o que é um Capacitor.

Contribuições para a pesquisa: Discutir concepções sustentadas por estudantes sobre Carga Elétrica, Campo Elétrico, Potencial Elétrico e processos de transferência de carga elétrica. É importante, pois o trabalho se aprofunda mais que outros em alguns dos conceitos.

Trabalho e autor: Shen e Linn (2011)

Motivações: Testar a metodologia de integração de conhecimento que: **1)** Enfatiza a importância de se construir conhecimento a partir das diversas ideias que os estudantes trazem à sala de aula. **2)** Toma como premissa a aprendizagem a adição de novas ideias e distinção dentre visões através da evidência científica. **3)** A unidade ajuda os estudantes a distinguir ideias e criticar, através de discussão colaborativa. **4)** Possui um Ambiente virtual de pesquisa em ciência (WISE) que permite atividades de pesquisa guiadas, avaliações embutidas, discussão em grupos, colaboração em pares, e customização do professor. **5)** Inclui as seguintes atividades que, buscavam focar três pontos de vista do eletromagnetismo: a visão do campo, a visão da energia e a visão corpuscular (da carga). A sequência de atividades proposta aos estudantes **a)** Assistir a um vídeo; **b)** Atividades do tipo mão-na-massa; **c)** Exploração de experimentos virtuais; **d)** Construção de um aparato experimental; **e)** Revisão e discussão em grupo.

Achados importantes: A partir de uma revisão de literatura, os autores identificam que: **1)** Objetos neutros possuem carga negativa. **2)** Objetos neutros possuem carga negativa. **3)** A concepção de carga líquida não é entendida. **4)** Apenas condutores podem conter carga, enquanto isolantes não. **5)** Apenas condutores podem ser submetidos à indução eletrostática. **6)** A carga se balanceia entre materiais (transferência de ambos os tipos de carga. **7)** Cargas não são transportadas entre condutores submetidos a uma diferença de potencial. **8)** Se a concepção anterior não ocorre para um dado aluno, ele tende a pensar que cargas cessam o seu transporte quando a quantidade de cargas nos condutores é igual. **9)** os modelos atômicos não estão ligados aos fenômenos observados. Quanto ao uso da metodologia, os autores concluíram que: **10)** Estudantes integraram as três visões do eletromagnetismo, **11)** Permitiu o melhor entendimento das diferenças das concepções deles em relação as apresentadas nas visualizações. **12)** Foram ajudados pelas questões de reflexão a reconciliar as três visões. **13)** Melhoraram a organização do seu conhecimento. **14)** Escores indicam que eles ligam o conteúdo de eletromagnetismo às observações cotidianas. **15)** Muitos estudantes integraram as visões embasadas em carga e em partícula, mas tiveram dificuldade com as de energia.

Contribuições para a pesquisa: Tanto a revisão da literatura apresentada pelos autores como sugestões associadas à metodologia de integração de conhecimento e a ideia de

abordagem multicontextual (abordagem de Carga, abordagem de Campo e abordagem Energética).

Trabalho e autor: Furió e Guisasola (1997a)

Motivações: Estudar as concepções de estudantes sobre o conceito de Campo Elétrico e construir estruturas de referência para a análise das dificuldades destes estudantes.

Achados importantes: **1)** Desenvolvimento do perfil conceitual Coulombiano que engloba as seguintes características: **a)** o conceito de carga subjaz a uma filosofia substancialista de fluido elétrico (concentrado nos corpos), **b)** cargas elétricas exercem forças à distância em outros corpos, **c)** a interação elétrica ocorre instantaneamente, independente do meio em que ocorre a interação, **d)** eletricidade e magnetismo são separados. **2)** Desenvolvimento do perfil conceitual Maxwelliano que agrupa as seguintes características: **a)** seguimento da cosmologia Kantiana, **b)** a carga elétrica encontra-se sobre um prisma atomista, mas a interação não está localizada nas cargas, porém distribuída ao longo de todo o espaço, **c)** distingue entre os conceitos de força e de Campo, **d)** as informações sobre as distribuições de carga são tão importantes quanto informação sobre o Campo, **e)** o meio onde ocorrem as interações adquire importância, **f)** a interação não é instantânea, **g)** eletricidade e magnetismo são unificadas. **3)** Dificuldades dos estudantes: **a)** não conseguir usar a ideia de Campo em situações de conflito cognitivo, restando como alternativa a ideia de ação-à-distância, **b)** não conseguir distinguir entre Força e Campo, **c)** estudantes apresentam erros de raciocínio como, por exemplo, o reducionismo funcional (a já citada redução do Campo à força, por exemplo), causalidade simples (associar um efeito a uma causa), raciocínio de "senso comum".

Contribuições para a pesquisa: Elaboração de perfis conceituais de referência que devem servir de base para o estabelecimento do Campo Conceitual associado ao conceito de Campo Eletromagnético. Deve-se reparar que a pretensa tarefa estabelece uma organização, em situações, do conceito de Campo Eletromagnético e não do de interação eletromagnética à distância. É um recorte necessário e suficiente.

Trabalho e autor: Furió e Guisasola (1998)

Motivações: Identificação de dificuldades dos estudantes relativas à interação entre cargas elétricas e construir estruturas de referência para a análise das dificuldades destes estudantes. Vale ressaltar que este trabalho se distingue do anterior (Furió e Guisasola, 1997a) por focar mais na ontologia do conceito de carga elétrica.

Achados importantes: **1)** Desenvolvimento do perfil conceitual Pré-Newtoniano que engloba as seguintes características: **a)** materiais são elétricos (se manifesta por um fluido elétrico) ou não elétricos, **b)** A eletricidade é um fluido e o atrito causa o transbordamento deste, **c)** isolantes e condutores são classificados segundo a possibilidade de não passagem ou passagem de um fluido para o outro, **d)** a indução elétrica é explicada pela atmosfera elétrica. **2)** Desenvolvimento do perfil Newtoniano

que agrupa as seguintes características: **a)** A eletricidade está associada a objetos carregados, **b)** As cargas elétricas podem se mover através dos condutores e é desta forma que ocorre o carregamento por contato, **c)** a eletrização por atrito é um processo de troca de cargas. **d)** A ação elétrica se realiza à distância pela lei de Coulomb. **3)** Identificação do fato de que em situações de conflito cognitivo os estudantes regridem a modelos pré-newtonianos de carga elétrica, enquanto que em situações acadêmicas, eles tendem a usar o Newtoniano, demonstrando, desta forma tanto uma incapacidade de transferência e de uso da Ciência como instrumento de leitura do mundo real, relegando esta última tarefa a raciocínios de senso comum. **4)** Identificação de dificuldades metodológicas e procedimentais nos estudantes (redução funcional, raciocínio linear, fixação funcional, causalidade simples), **5)** semelhança entre as construções históricas da eletrostática e as construções cognitivas dos estudantes.

Contribuições para a pesquisa: Apresentação de perfis conceituais de referência que devem servir de base para o estabelecimento do Campo Conceitual associado ao conceito de Carga Elétrica. Apresentação de dificuldades dos estudantes com respeito ao conceito de carga elétrica, facilitando a construção de estratégias que ajudem a solucionar tal problema.

Trabalho e autor: Furió e Guisasola (1997b)

Motivações: Estudar as concepções de professores e formas de apresentação por livros-texto relativas ao conceito de Campo Eletromagnético.

Achados importantes: **1)** os autores perceberam que os livros-texto: **a)** introduzem o conteúdo de forma arbitrária, linear¹⁰¹ e acrítica¹⁰² os conceitos de Campo Elétrico e de Potencial Elétrico, **b)** em minoria apresentam as vantagens de uma abordagem através do conceito de Campo em relação, **c)** não apresentam explicitamente os problemas gerais que a teoria do Campo Elétrico se propôs a resolver, **d)** em geral, não diferenciam abordagens de Campo e de ação à distância, **e)** falta de discussão sobre mudanças ontológicas nas teorias visando fenômenos de eletricidade **2)** os autores evidenciaram que os professores: **a)** também introduzem o conteúdo de forma acrítica, **b)** usa a justificativa da "lógica" da sequência do livro didático, **c)** pouco discutem as vantagens da introdução dos conceitos de potencial elétrico e de Campo Elétrico, **d)** da categoria universitária falham em explicitar as diferentes visões Maxwelliana e Coulombiana, embora conheçam ambas, **e)** da categoria ensino básico desconhecem a teoria de

¹⁰¹ Epistemologicamente, o conhecimento científico progride por rupturas, pela substituição de teorias por outras teorias incomensuráveis com àquelas. Isto é radicalmente contrário à ideia de que o conhecimento científico se constrói por acumulação e por continuidades. Um bom exemplo é a diferença entre a concepção geocêntrica e a concepção heliocêntrica do sistema solar. Não é possível sustentar as duas ao mesmo tempo, uma rompe com a outra.

¹⁰² Há forte consenso na Filosofia da Ciência (da qual a Epistemologia e a Ontologia compõem parte) sobre o fato de o conhecimento científico ter sua gênese em problemas. Uma visão acrítica não apresenta os problemas dando origem a um determinado conceito científico.

Maxwell e se referem ao átomo de Bohr como fundamental para abordar o Eletromagnetismo.

Contribuições para a pesquisa: Demonstrar aspectos relativos a materiais de ensino-aprendizagem que destoam tanto de premissas vigentes na pesquisa educacional, demonstrar possíveis fontes de dificuldades de estudantes de teoria eletromagnética.

Trabalho e autor: Furió e Guisasola (1995)

Motivações: Os autores visam estudar as dificuldades dos estudantes relativas aos conceitos de Campo Elétrico e de Carga Elétrica.

Achados importantes: **1)** poucos estudantes usam o conceito de Campo Elétrico de forma adequada, **2)** a maioria dos estudantes sustenta um modelo de fluido elétrico para a carga elétrica, **3)** existe um paralelismo entre a construção das concepções históricas e as dos estudantes (devido à interação daquelas com o conhecimento prévio destes, há uma mistura sem precedentes na história da Ciência). **4)** Os autores estabelecem critérios para a aprendizagem significativa do conceito de força: **a)** diferenciação clara entre Campo e Força, **b)** reconhecimento do papel do meio na interação eletromagnética, **c)** discriminação entre as ideias coulombianas e Maxwellianas em uma situação do tipo "Gaiola de Faraday". **5)** quanto ao conceito de carga, muitos estudantes assumem uma concepção semelhante à do fluido elétrico, mas a maioria assume que a matéria é elétrica, **6)** Poucos não possuem o conhecimento-em-ação da conservação de carga elétrica (criacionistas), **7)** Na análise dos fenômenos de polarização elétrica as concepções dos estudantes variam entre explicações: **a)** Newtoniana/Maxwelliana (minoria, que analisa a situação da separação de cargas em função da força exercida pelo Campo Elétrico, **b)** Gilbertiano que analisa a situação supondo, inconscientemente o efeito "halo" para explicar a atração, **c)** Frankliano que justifica que a matéria está carregada, mesmo não estando. **8)** Quanto ao conceito de Campo, os estudantes confundem os conceitos de Campo e de Força Elétrica e, em geral, não conseguem assimilar a ideia de Campo em um ponto.

Contribuições para a pesquisa: Desenvolvimento tanto de um quadro de referência das concepções dos estudantes relativas a conceitos importantes do eletromagnetismo, como critérios para classificação de aprendizagem significativa do conceito de Campo Elétrico.

Trabalho e autor: Guisasola et al. (2008)

Motivações: Estudar as concepções de estudantes sobre as leis de Gauss e de Ampère.

Achados importantes: **1)** alunos apresentam dificuldades de redução funcional (pensar de uma forma a desconsiderar variáveis), a fixação funcional (encontrar uma receita para todos os problemas a partir de um aspecto da realidade) e a causalidade simples (um encadeamento linear de proposições que desconsidera fatores importantes). **2)** estudantes apresentam dificuldades em entender as leis, os conceitos de fluxo e de

circulação e o conceito de Campo. **3)** Estudantes atribuem o Campo presente nas equações de fluxo e de circulação à carga/corrente englobada pela curva amperiana. **4)** Uso de procedimentos de senso comum na aplicação das leis de Gauss e de Ampère. **5)** Desconsideração do vetor normal/tangencial à superfície/curva, para o uso das leis de Gauss/Ampère.

Contribuições para a pesquisa: Desenvolvimento tanto de um quadro de referência das concepções dos estudantes relativas às leis de Gauss e de Ampère. Corroboração dos processos de raciocínio de senso comum utilizado pelos estudantes.

Trabalho e autor: Park et al. (2001)

Motivações: Estudar como estudantes de educação média e educação superior manipulam hipóteses quando se confrontam com evidências favoráveis ou contrárias a essas e comparar os mecanismos de rejeição e aceitação de hipóteses com teorias falseacionistas bem conhecidas na epistemologia, a saber, as de Popper e de Lakatos.

Achados importantes: Os estudantes, em geral, consideram que a: **1)** Não há campo elétrico no interior de um isolante, somente no interior de condutores, **2)** isolantes não geram Campos Elétricos, pois não passa corrente neles, **3)** não conseguem diferir entre condutores e isolantes, **4)** um eletroscópio é um instrumento usado para descobrir se um material é condutor ou isolante. **5)** As concepções mais estruturadas são mais resistentes à mudança e concentram-se em geral em uma espécie de núcleo duro cognitivo.

Contribuições para a pesquisa: Apresentar um quadro de referência tanto para a geração de hipóteses sobre fenômenos eletrostáticos como para a corroboração de estruturas referenciais concernentes às dificuldades dos estudantes com respeito ao assunto.

Trabalho e autor: Greca e Moreira (1997)

Motivações: Analisar os processos de resolução de problemas de estudantes para classificar se eles usavam ou não modelos mentais concernentes ao conceito de Campo Eletromagnético

Achados importantes: **1)** seis categorias (com a inferior não construindo modelos mentais e resolvendo problemas à base de tentativa e erro, e com a superior construindo modelos mentais de capacidade preditiva e explicativa muito boa, com conceitos hierarquizados e diferenciados e resolvendo problemas de forma muito boa). No artigo os autores apresentam uma tabela que detalhada. **2)** As categorias que não formam modelos mentais, a saber, 0 (n=3), 1(n=3) e 2 (n=3) diferem entre si somente na habilidade de resolução de problemas e na articulação das proposições. As categorias 3 (n=7), 4 (n=7) e 5 (n=2). Na categoria 3, de transição, os alunos conseguiam desenvolver um modelo de Campo Elétrico, mas não de Campo Eletromagnético. Nas categorias 4 e 5 houve a construção de modelos mentais.

Contribuições para a pesquisa: Corroboração dos mecanismos cognitivos de aprendizagem de novos conceitos físicos através de modelos mentais.

Trabalho e autor: Furió e Guisasola (1997b)

Motivações: Analisar o contexto histórico da evolução da teoria do Campo Elétrico, desde a época pre-Newtoniana à Maxwelliana. Neste trabalho, tomando como referência este contexto histórico, no qual explicitamente ocorrem saltos qualitativos entre diferentes programas de pesquisa (mudanças ontológicas e conceituais), analisam as formas pelas quais professores e livros didáticos introduzem os conceitos de Campo Elétrico e potencial.

Achados importantes: Os pesquisadores evidenciaram nos livros-texto: **1)** uma introdução arbitrária, linear e acrítica, massiva dos conceitos de Campo e de potencial, **2)** uma minoria de livros apresentando as vantagens de uma abordagem através do conceito de Campo em relação à "ação-a-distância", **3)** falta de explicitação dos problemas gerais que a teoria do Campo Elétrico se propôs a resolver, **4)** somente um terço dos livros didáticos diferencia as abordagens Newtoniana e Maxwelliana ao Campo Elétrico, **5)** falta de discussão sobre mudanças ontológicas nas teorias visando fenômenos de eletricidade. Os pesquisadores evidenciaram nos professores: **6)** Os professores também introduzem o conteúdo de forma acrítica, **7)** a justificativa da "lógica" da sequência do livro didático., **8)** falta de discussão das vantagens e dos problemas que permitem introduzir os conceitos de Campo e potencial elétrico, **9)** professores universitários, embora reconheçam as diferenças entre os programas Newtoniano e Maxwelliano, falham em explicitar as mudanças ontológicas entre os dois programas, **10)** um número muito baixo de professores de ensino básico que menciona as teorias de Maxwell para abordar os conceitos, sendo a maioria dos professores vinculados ao modo de pensar Newtoniano ou ao modelo de Bohr.

Contribuições para a pesquisa: Trazer um panorama acerca da construção conceitual de livros didáticos e de perfis pedagógicos de professores, o que nos dá, ao mesmo tempo uma visão de processos didáticos usuais (permitindo-nos garantir inovação) e de identificação de fontes de problemas didáticos.

Campo Magnético

Trabalho e autor: Campo Magnético: diseño y evaluación de estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje como investigación orientada. Furió e Guisasola (2005)

Motivações: **1)** Concepções alternativas (contextualmente dependentes): **a)** alunos não conhecem as fontes de \vec{B} **b)** não enxergam relação entre imã e espira de corrente, **c)** não compreendem as diferenças entre o Campo Magnético estacionário e o Campo Elétrico estacionário. **2)** Dificuldades procedimentais. **3)** Construir uma sequência didática de acordo com as premissas da investigação orientada para ensinar o conceito de Campo Magnético estacionário.

Achados importantes: 1) Investigações orientadas facilitam a aprendizagem em comparação com a abordagem tradicional: **a)** melhoras no conhecimento acerca das fontes de Campo Magnético, sobre Campo Magnético e funcionamento dos ímãs, **b)** melhora na diferenciação e comparação de semelhanças entre os Campos Elétrico e Magnético.

Contribuições para a pesquisa: 1) Construção de indicadores de aprendizagem significativa: **a)** ímãs são fontes de Campo (tem dois polos, atuam à distância, giram bússolas), **b)** linhas de Campo Magnético são sempre fechadas (lei de Gauss), **c)** cargas em movimento criam Campo Magnético, **d)** saber analisar de forma qualitativa o Campo Magnético de uma barra carregada, **e)** saber analisar e expressar de forma qualitativa o Campo Magnético devido a carga em movimento, elemento de corrente, espira, solenóide, **f)** saber usar o modelo de Ampère de ímãs como espiras de corrente, **g)** saber que os conceitos científicos são usados para resolver problemas tecno-sociais, **h)** analisar situações problematizadoras, conhecer hipóteses de trabalho, realizar experimentos, obter modelos e desenvolver outras habilidades relativas ao fazer científico.

Título e autor: Simulações computacionais na aprendizagem da Lei de Gauss para a eletricidade e da Lei de Ampère em nível de Física Geral. Araujo e Veit. 2007

Motivações: 1) pesquisar a eficiência de simulações computacionais na aprendizagem das leis de Ampère e de Gauss do Magnetismo, 2) estudar dificuldades dos estudantes com estas leis.

Achados importantes: 1) simulações computacionais, por facilitar e propiciar a ação dos estudantes parecem facilitar a aprendizagem significativa em Física, 2) atividades colaborativas presenciais criam a sensação de melhor aprendizado nos alunos, 3) Contribuições para a pesquisa: 1) Sugerir simulações computacionais como metodologia didática facilitadora da aprendizagem significativa e 2) apresentar as dificuldades dos alunos ao aprender a lei de Ampère.

Título e autor: The Gauss and Ampere laws: different laws but similar difficulties for student learning. Guisasola, Almudi, Salinas, Zuza e Cerberio.

Motivações: estudar as fontes de dificuldades dos estudantes com respeito às leis de Gauss e de Ampère.

Achados importantes: presença de fixação funcional e de redução funcional no uso da lei de Gauss e na lei de Ampère, desconsideração do princípio da superposição (campos eletricos e magneticos sao criados por cargas/correntes dentro da gaussiana / amperiana), se fluxo/circulação é zero, então o Campo Elétrico/Campo Magnético é nulo

Contribuições para a pesquisa: mostrar que as leis de gauss e ampère se ancoram na maioria das vezes, nas estruturas cognitivas dos alunos, em procedimentos de raciocínio de senso comum

Título e autor: Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario. Selección de cuestiones realizadas para su detección. Guisasola, Almudi e Ceberio.

Motivações: estudar as causas do pouco entendimento dos estudantes relativo ao conceito de Campo Magnético, dadas as concepções alternativas dos estudantes Achados importantes: **1)** dificuldades dos estudantes com respeito às fontes de Campo Magnético - **a)** cargas elétricas em repouso são fonte de Campo Magnético, **b)** força magnética é semelhante à elétrica, **2)** concepções dos estudantes com respeito ao ímã ser fonte de Campo Magnético - **a)** a imantação é a passagem de um humor magnético, **b)** natureza magnética do ímã é seu material, **c)** magnetismo como região do espaço e intrínseca ao material, **d)** magnetismo é uma nuvem ao redor de um corpo que atua sobre outro, **e)** modelo de campo - elétrons em movimento criam campos magnéticos que se superpõem criando um Campo macroscópico, **3)** dificuldades de relação à comparação entre ímãs e espiras de corrente - **a)** estudantes não identificam corretamente as fontes de Campo Magnético **b)** não conseguem justificar porque Ímãs são fontes de Campo Magnético, **c)** confundem Campo Magnético com força magnética, **d)** confusão com o fenômeno da indução eletromagnética, **4)** dificuldades na compreensão operacional do Campo Magnético - **a)** dificuldade de aplicar corretamente a definição operativa do Campo Magnético **5)** dificuldades em identificar os objetos que sentem a ação do Campo Magnético, **6)** **a)** Campo Magnético exerce força sobre cargas em repouso, **b)** confusão entre pólos de ímas e cargas elétricas, **7)** dificuldades de compreensão da aplicação da força magnética - **a)** estudantes não entendem a lei de Lorentz para a força, **b)** associam gravidade e magnetismo, **c)** somente há interação magnética se há meio material, **d)** confundem a interação elétrica com a magnética, **8)** dificuldades de aplicação da terceira lei de Newton no contexto eletromagnético - **a)** não consideram a ação e reação, **9)** dificuldades em distinguir os campos eletrostático e magnetostático - **a)** usam lei de Coulomb para entender interação entre correntes, **10)** dificuldades em aplicar leis do eletromagnetismo - **a)** afirmam a condição de simetria sem explicar o que ela significa, **b)** uso meramente algorítmico da lei de Ampère, **c)** confundem circulação e Campo.

Contribuições para a pesquisa: mostrar semelhanças e diferenças entre as dificuldades experimentadas pelos estudantes que aprendem eletromagnetismo entre as leis de Gauss e de Ampère

Título e autor: Mapping Gravitational and Magnetic Fields with Children 9–11: relevance, difficulties and prospects. Bradamante e Viennot. 2007.

Motivações: construir uma proposta didática para ensinar crianças de 9-11 sobre os Campos Magnético e Gravitacional, aproveitando-se das ideias prévias que as crianças nta possuem sobre Campo e sobre mapeamento.

Achados importantes: **1)** ideias prévias das crianças - **a)** confundem fenômenos magnéticos e gravitacionais, **b)** creem que estejam a pontos limitados do espaço (onde há matéria), **2)** crianças não levam em conta a ideia de mapeamento de um Campo em pontos do espaço, **3)** crianças não estabelecem orientação para a interação entre ímas, **4)**

crianças associam a causa dos efeitos magnéticos aos ímãs, **5)** existem evidências na primeira emergência do conceito de orientação, **6)** crianças perceberam que as linhas de força não apontam todas para o centro de simetria do problema, **7)** crianças não possuem dificuldades com a ideia tridimensional de Campo, **8)** a semelhança entre ímãs e a Terra se mostra meramente de atração, **9)** há evidências de dissociação por parte das crianças da geometria e das linhas de Campo.

Contribuições para a pesquisa: identificar concepções de crianças sobre Campo Magnético e nos ajudar a entender quais as concepções mais estáveis sobre Campo Magnético visto terem maior história que outras concepções mais recentes.

Título e autor: Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. Guisasola, Almuñí e Zubimendi.

Motivações: estudar as dificuldades dos estudantes para objetivos de ensino do conceito de Campo Magnético.

Achados importantes: **1)** cargas elétricas em repouso são fontes de Campo Magnético, **2)** polo norte de um ímã é positivo, polo sul negativo, **3)** confundem imantação com polarização, **4)** atribuem existência real às linhas de campo, **5)** confundem Campo e Força **6)** linhas de Campo são a força magnética **7)** não levam em conta a natureza relativística do Campo Magnético. Objetivos de ensino: **a)** identificar fontes de Campo Magnético, **b)** entender a interação magnética através dos conceitos de Campo, linha de Campo e superposição, **c)** distinguir entre Campo Elétrico e Campo Magnético (fontes, forma das linhas e ação dos campos), reconhecer o Caráter relativístico do campo. O ensino deve ser problematizado e deve facilitar a construção de conhecimentos ontológicos e procedimentais.

Contribuições para a pesquisa: apresentar critérios para aprendizagem significativa e objetivos de ensino para a aprendizagem do conceito de Campo Magnético.

Título e autor: Difficulties in Learning the Introductory Magnetic Field Theory in the First Years of University.

Motivações: Semelhantes ao artigo “*Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza*”.

Achados importantes: Semelhantes ao artigo “*Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza*”.

Contribuições para a pesquisa: Semelhantes ao artigo “*Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza*”.

Título e autor: the nature of science and its implications for Physics textbooks - Guisasola, Almodí e Furió. 2005.

Motivações: a ausência de discussões sobre a natureza da ciência em livros didáticos. Os autores buscaram construir critérios de reconhecimento da visão de ciência expressa pelos livros didáticos, construíram um referencial para a visão de ciência como associada a saltos conceituais (deslocamento ontológico) e aplicaram a livros didáticos.

Achados importantes: autores reconhecem dificuldades dos estudantes e as relacionam às apresentações inadequadas de livros de Física, quase todos os livros não problematizam o conceito de Campo Magnético através de situações problematizadoras, a ideia de fonte de Campo não é problematizada, a quase totalidade dos livros sequer menciona mudanças nas teorias do magnetismo, não há esforço para a integração do conhecimento em física, limitações da teoria não são apresentadas.

Contribuições para a pesquisa: mostra as deficiências dos livros didáticos em questões epistemológicas e revela que alguma iniciativa de construção de material potencialmente significativo deve ser construído, apresentar um referencial teórico para orientar a construção de textos de Física enfocando a natureza da Ciência, visando diminuir a arbitrariedade histórica apresentada pelos livros didáticos.

Indução Eletromagnética

Autor e título: Concepciones de futuros profesores de ciencias sobre un concepto «olvidado» em La electricidad: La fuerza electromotriz. Guisasola, Montero e Fernandez (2005).

Motivações: encontrar indicadores de aprendizagem significativa do conceito de força eletromotriz e estudar como os estudantes assimilam tal conceito.

Achados importantes: 1) indicadores de aprendizagem significativa do conceito de força eletromotriz - **a)** saber que a fem é uma característica dos geradores de energia e não do circuito ou das cargas, **b)** entender a fem como o trabalho por unidade de carga realizado por forças não eletrostáticas para separar cargas elétricas, **c)** a fem é uma grandeza que quantifica a energia transferida por um Campo não conservativo, **d)** saber distinguir entre a força eletromotriz e a diferença de potencial, **e)** saber que Campos Elétricos induzidos estão associados a Campos conservativos, pois são criados por Campos Magnéticos variáveis. 2) hipóteses sobre Dificuldades: **a)** estudantes não distinguem entre características das cargas e dos Campos e circuitos, **b)** estudantes não entendem a fem como característica da pilha (tratam as fems como ddps), apresentam dificuldades relativas ao conceito de diferença de potencial. 3) dificuldades: **a)** estudantes apresentam dificuldades no conceito de fem, **b)** não reconhecem que é uma característica da pilha, **b)** atribuem-na a características das cargas, **c)** tem dificuldades em entender os conceitos de fem e de diferença de potencial na indução eletromagnética. 4) possíveis fontes: definição pobre do conceito de força eletromotriz

Contribuições para a pesquisa: mostrar possíveis dificuldades que os estudantes encontrem previamente e ao longo do processo de ensino.

Autor e título: Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética (2010). Guisasola, Almudí e Zuza.

Motivações: Estudar as concepções desenvolvidas pelos estudantes em Indução Eletromagnética.

Achados importantes: 1) metade dos estudantes compreendem que uma corrente induzida é criada quando variamos uma corrente, 2) poucos estudantes entendem que existe um Campo não Coulombiano que faz surgir uma FEM em uma espira em um Campo Magnético variável com o tempo, 3) estudantes entendem a variação do fluxo magnético, mas não entendem que a origem da corrente induzida pode ser devida a uma força magnética e não devido a um processo de indução eletromagnética originário de um Campo Elétrico induzido, 4) alunos creem ser as correntes induzidas originadas da ação direta do Campo Magnético sobre o circuito, 5) alguns alunos atribuem a corrente induzida à passagem de corrente próxima ao fio, 6) muitos alunos pensam que a área na lei de Faraday é a área onde há Campo Magnético e não a área do circuito móvel.

Contribuições para a pesquisa: Mostrar dificuldades que os estudantes encontram previamente e ao longo do processo de ensino do conceito de indução eletromagnética.

Autor e título: La historia del concepto de fuerza electromotriz en circuitos eléctricos y la elección de indicadores de aprendizaje comprensivo (2008). Guisasola, Montero e Fernández.

Motivações: analisar o avanço histórico da construção do conceito de força Eletromotriz.

Achados importantes: 1) Sec. XVIII e Sec. XIX – Coulomb, Lagrange, Poisson, Laplace estabeleceram as bases da ação à distância, 2) Sec. XVIII – Volta propõe o fluido galvânico para explicar a eletricidade como estando associado a uma força exercida no sentido de separar cargas e mantê-las separadas, 3) Sec. XIX – desenvolve-se o estudo da eletrodinâmica. Ohm propõe as forças eletroscópicas, Kirchoff (1847) propõe a introdução do conceito de energia para explicar o funcionamento de circuitos, 4) Sec. XIX – Maxwell (1865) trabalha a ideia de Campos e a ideia de Energia, 5) ao longo dos séculos XVIII e XIX o conceito de Força Eletromotriz evolui de uma força desconhecida para uma energia por unidade de carga relacionada a um Campo Elétrico não conservativo. 6) Os autores julgam como adequado para ensinar o modelo de Kirchoff para alunos entre 16-18 anos. 7) Os autores enumeram os seguintes indicadores de aprendizagem compreensiva do conceito de força eletromotriz: a) entender que a corrente é gerada por uma tensão, b) compreender que a separação de cargas gera diferença de potencial, c) entender que a pilha cede energia para sistemas elétricos. Tal energia é originada da separação de cargas através de mecanismos químicos $fem = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$, d) $V_{ab} = - \int_a^b \frac{\vec{F}}{q} \cdot d\vec{l}$, e) entender que a fem é característica dos

geradores de energia, **f)** adquirir conhecimento procedimental científico, **g)** compreender aspectos ligados à CTS.

Contribuições para a pesquisa: mostrar um panorama histórico do conceito de força eletromotriz e sugerir indicadores para avaliar a compreensão do conceito.

Autor e título: Some students conception of Electromagnetic induction (2008). Thong e Gunstone.

Motivações: Estudar concepções de estudantes sobre a indução eletromagnética.

Achados importantes: Os alunos apresentam as seguintes concepções: **1)** corrente induzida varia proporcionalmente com a corrente em um solenoide, ou seja, uma dificuldade de perceber que o Campo e a variação temporal do Campo são descritos por dois vetores diferentes, **2)** deve haver contato entre o fluxo magnético e uma bobina externa para haver fem (Guisasola et al., 2004), **3)** forças/potenciais eletrostáticos são responsáveis pela FEM.

Contribuições para a pesquisa: Assim como Guisasola et al. (2008/2011) os autores buscam investigar as dificuldades dos estudantes em indução eletromagnética.

Autor e Título: Situational knowledge in physics: the case of electrodynamics (2002). Salversbergh, de Jong e Fergusson-Hessler.

Motivações: estudar o conhecimento situacional de pessoas divididas em grupos de experientes, proficientes e novatos.

Achados importantes: **1)** Competência está associada à estrutura das situações-problema, **2)** Diferenças no uso de múltiplas representações são mais relevantes que diferenças no uso de um tipo específico de representação, **3)** resultados indicam que diferenças entre experientes e novatos estão ao longo de dimensões diferentes quando comparadas as diferenças entre novatos proficientes e não proficientes. **4)** O conhecimento situacional dos estudantes com respeito aos conteúdos varia (novato-experiente) nos pólos: fenomenológico-abstrato, temporal-vínculos, topológico-geométrico, questões-dados, numérico-qualitativo. **5)** O conhecimento situacional dos estudantes com respeito à estrutura varia (novato-experiente): fragmentado-coerente, inferência simples – inferência de múltiplas fontes, difuso-localizado, representações simples-representações múltiplas.

Contribuições para a pesquisa: Pode nos apresentar uma forma bastante alinhavada à ideia dos esquemas de Vergnaud para analisar o conhecimento dos estudantes. Servirá como base para projetos futuros de investigação.

Autor e Título: University Students' Understanding of Electromagnetic Induction (2011). Guisasola, Almudí e Zuza.

Motivações: as mesmas do estudo “Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética”.

Achados importantes: os mesmos do estudo “Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética”.

Contribuições para a pesquisa: as mesmas do estudo “Dificultades de los estudiantes universitarios en el aprendizaje de la inducción electromagnética”.

Autor e Título: The effect of guided note taking during lectures in Thai university students’ understanding of electromagnetism (2009). Narjaikaew, Emarat e Cowie.

Motivações: ver qual a influência do ato de tomar nota nas aulas

Achados importantes: Estudantes que tomavam notas nas aulas iam melhor em testes conceituais.

Contribuições para a pesquisa: não conseguimos enxergar uma contribuição relevante para a pesquisa.

APÊNDICE B – Descrição detalhada das aulas nos estudos II e III

Apresentaremos, nesta seção, o detalhamento das aulas realizadas nos três estudos explanatórios. O segundo e o terceiro estudo foram praticamente iguais, com a pequena diferença da introdução de uma aula enfocando o funcionamento do rádio no terceiro estudo. Os objetivos das tarefas e das aulas serão apresentados, bem como as tarefas realizadas. O intuito é apresentar um exemplo de como o conteúdo pode ser relacionado em uma UEPS.

Campo

A unidade potencialmente significativa enfocando o conceito de Campo, de forma geral, foi apresentada em seis aulas. Na primeira delas, visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma pequena atividade com quatro problemas através dos quais inferimos o modo pelo qual os estudantes estabelecem o processo de conceitualização (via esquemas de assimilação e modelos mentais). Na segunda aula introduzimos o conceito de Campo em um panorama geral, enfocando sua relação com interações. Na terceira aula, visamos discutir o conceito de fontes de Campo para tão logo discutir as entidades físicas geradoras do Campo. Na quarta aula, visamos estreitar, detalhar e diferenciar a relação entre Campos e Interações discutindo as quatro interações conhecidas na natureza (até então conhecidas). Na quinta aula, introduzimos o aspecto representativo (pictórico/geométrico) dos Campos, a saber, linhas de Campo, diagramas de setas e gráficos. Na sexta aula, introduzimos o conteúdo representacional (simbólico) matemático associado aos Campos, em outras palavras, as equações de Campo, fundadas nas idéias de Fluxo e de circulação.

Aula 1 - Aula inicial

Na primeira aula, de forma compatível com premissas da psicologia cognitiva, propusemos uma tarefa inicial que requeria um processo de conceitualização do real para ser completa. Através deste processo de conceitualização poderíamos estimar como estava o conhecimento prévio dos estudantes, se ele incorporava ou não ideias de Campo e como o faziam.

Propusemos quatro questões, a primeira delas, enfocando a ontologia do Campo Gravitacional tentava sondar conhecimentos prévios dos estudantes acerca do que concebiam sobre éter e sobre Campo. Na segunda, que precisava de uma assunção implícita do princípio da equivalência (que posteriormente evidenciou que os estudantes não distinguem entre massa gravitacional e massa inercial), pedia-se que se explicasse porque dois corpos em queda livre chegam ao solo ao mesmo tempo. Na terceira buscava-se estudar conhecimentos relativos ao conceito de linhas de Campo e de sua ontologia. Na quarta buscava-se investigar alguma relação entre Campo e energia.

A primeira questão visava estabelecer uma distinção ontológica entre ação mediada pelo meio e ação à distância, bem como estudar que características ontológicas os alunos associam ao conceito de Campo. A segunda questão objetivava o estudo das relações estabelecidas pelos alunos entre os conceitos de Campo e de Força e o estudo

das características dinâmicas associadas pelos alunos a corpos submetidos ao Campo Gravitacional Terrestre. A terceira questão visava o estudo das características ontológicas atribuídas pelos alunos ao conceito de Campo e ao conceito de Linhas de Campo, bem como a análise das características ontológicas atribuídas à realidade do Campo. A quarta questão enfatizava o estudo da concepção dos estudantes acerca da localização da energia e o estudo das características ontológicas associadas pelos estudantes ao Campo Gravitacional.

No primeiro estudo também foi apresentada uma tarefa distinta desta como sondagem de conhecimento prévio, no entanto, a tarefa consistiu de um mapa mental dos conceitos que os alunos associavam a eletromagnetismo.

Aula 2 - O conceito de Campo

Nesta aula introduzimos o conceito de Campo partindo da sua relação com a ideia de força, tomando o último conhecimento prévio presente nas estruturas cognitivas dos estudantes¹⁰³.

O primeiro tópico apresentado, intitulado *Campos e Forças*, é um resgate do duelo intelectual entre os programas de pesquisa associados à ideia de Campo e de Ação-instantânea-à-distância. Com este objetivamos a apresentação da problematização Campo x ação-à-distância, a apresentação das diferenças ontológicas entre as concepções de ação à distância e de Campo, bem como o estabelecimento das vantagens das teorias de Campo em relação às de ação à distância.

O segundo tópico apresentado, intitulado *Realidade do Campo*, é uma diferenciação explícita das ideias de Campo e de Força. Com este tópico objetivamos a apresentação da distinção entre ação à distância, ação contígua do meio e ação mediada por Campos, bem como a apresentação da primeira distinção entre os conceitos de Campo e de força.

O terceiro tópico apresentado, denominado *Interação entre Partículas e Campo* representa a introdução da concepção atual de que partículas interagem com outras partículas através da mediação de Campos. Com este tópico, objetivamos a apresentação do conceito de Fontes de Campo, do conceito de Campo em um ponto e da ideia da interação entre uma partícula e um Campo que transporta energia.

A atividade relativa à aula 2, composta por três problemas, tem certos objetivos de pesquisa. A primeira questão visa o estudo de como os estudantes fazem referência a objetos da realidade através do conceito de sistema físico. Ela objetiva entender que concepções os estudantes desenvolvem a respeito da localização da energia. A segunda questão visa à procura por evidências de concepções associadas à finitude da velocidade de propagação do Campo Eletromagnético. A terceira questão tem como meta o estudo das relações entre Campo e Força.

¹⁰³ O conceito de força nos é apresentado desde a mais tenra idade como associado à ideia de empurrões e puxões. Mesmo que fosse o caso de apresentarmos o conteúdo no ensino médio, poderíamos usá-lo e, adaptando a instrução, usá-lo como subsunçor e diferenciá-lo antes de adentrar à ideia de Campo. Não é o caso aqui, pois os alunos em questão já haviam estudado Física I e Física II.

Na segunda aula da unidade nós discutimos com menos ênfase na transferência de energia e momentum e enfatizamos a ideia de mapear algo no espaço que medeia à interação. A tarefa foi também distinta da proposta na segunda aula do estudo 2, porém será apresentada posteriormente na discussão dos resultados.

Aula 3 - Fontes de Campo

Nesta aula trazemos a ideia de fontes de Campo, isto é, objetos dotados de características especiais que criam Campos no espaço. Introduz-se a carga elétrica e a massa como dois tipos de fontes. A massa é enfatizada por ligar-se ao conhecimento prévio dos estudantes.

O primeiro tópico apresentado é denominado *Partículas criam Campos que interagem com outras partículas*. Neste discutimos a ideia do Campo Gravitacional criado por massa (na gravitação clássica e na relatividade geral), a ideia do Campo Elétrico criado por carga e mencionamos o mecanismo de indução (Campos podem ser fontes de Campos), principalmente o da indução eletromagnética.

O segundo tópico apresentado é intitulado *Cargas fonte e Cargas de prova*. Neste introduzimos os conceitos de fonte de Campo e de carga de Prova, ressaltando que tanto uma como outra criam Campos no espaço, mas que as últimas geram Campos desprezíveis em função da sua pouca magnitude, servindo, portanto, como teste para a detecção dos Campos. Aproveitamos ainda esta discussão para justificar a satisfação à terceira lei de Newton usando a ideia de Campo.

O terceiro tópico apresentado é denominado *Princípio da Superposição*. Discutimos nele o caráter linear das teorias de Campo (Campo resultante é a soma dos Campos devidos a todas as fontes) e diferenciamos os casos de distribuições discreta e contínua de carga tratando a integração como uma soma de porções infinitesimais.

A atividade relativa à aula três, composta por três problemas, tem alguns objetivos relativos à pesquisa sobre a aprendizagem dos estudantes. A primeira questão objetiva estudar que variáveis os estudantes enumeram como relevantes/irrelevantes para o estudo do Campo Gravitacional Terrestre. A segunda questão objetiva o estudo das relações de estabelecimento de referência à realidade usando os conceitos de massa de fonte e de massa de prova e o estudo das concepções associadas aos mecanismos de transferência de momentum e de energia. A terceira questão objetiva estudar as características ontológicas associadas ao princípio da superposição.

Esta aula não existe na primeira unidade, resolvemos inseri-la para enfatizar aspectos de referência a certos objetos em problemas, tais como as noções de carga teste e carga de prova. Acreditamos que isto ajude a diferenciar estes aspectos nas estruturas cognitivas dos estudantes.

Aula 4 - Fontes de Campo

Nesta aula aprofundamos as relações entre Campos e Interações já iniciada na primeira aula.

O primeiro tópico foi denominado *algumas situações envolvendo interações entre objetos e Campos*. Nele fizemos uma revisão das ideias apresentadas nas aulas passadas e a apresentamos exemplos enfocando a interação entre objetos e Campos (interações nuclear forte, nuclear fraca, gravitacional e eletromagnética).

O segundo tópico foi intitulado *associação de transporte de energia ao Campo*. Nele discutimos a transferência de energia e de momentum pelo Campo e as diferenças ontológicas no conceito de Campo na Física Clássica e na Física Quântica.

O terceiro tópico foi denominado *os Campos fundamentais da natureza*. Neste tópico apresentamos os quatro Campos fundamentais da natureza e suas fontes, a saber, o Campo Eletromagnético, o Campo Gravitacional, o Campo Nuclear forte e o Campo nuclear fraco, bem como seus componentes quânticos e clássicos (no eletromagnético e no gravitacional).

A atividade relativa à aula 4 teve duas questões. Na primeira questão, objetivamos estudar como os estudantes concebem as características dos Campos Gravitacional e Eletromagnético e o mecanismo de transferência de momentum e de energia na interação gravitacional. Na segunda questão requisitamos aos alunos a construção de um mapa conceitual no qual pudemos estudar se eles usavam os conceitos de Campo, de interação, de partícula mediadora e se eles revelavam concepções acerca de características ontológicas do Campo Eletromagnético e se apresentavam exemplos de fenômenos físicos envolvendo o conceito de Campo.

A aula equivalente a esta no primeiro estudo teve um tratamento das Forças e Campos Fundamentais na natureza e apresentação das mesmas em um mapa conceitual.

Aula 5 - Representando Campos

Nesta aula visamos discutir e ensinar a construir representações pictóricas associadas ao conceito de Campo, a saber, linhas de Campo, Diagramas de setas e Gráficos.

O primeiro tópico foi denominado *Representações de Campos*. Neste apresentamos brevemente as variedades de formas de representação dos Campos.

O segundo tópico foi chamado *Representações de Campos por Linhas de Campo*. Neste, discutimos a distinção ontológica entre Campo e Linhas de Campo, apresentamos a definição de Campo Vetorial, discutimos o mecanismo de construção de linhas de Campo e as vantagens/desvantagens da representação por linhas de Campo.

O terceiro tópico foi chamado *Representações de Campos por diagramas de flechas*. Neste, discutimos a distinção ontológica entre Diagramas de flecha e Campo, rerepresentamos a definição de Campo Vetorial, discutimos o mecanismo de construção de diagramas de flecha e as vantagens/desvantagens da representação por Diagramas de Flecha.

O quarto tópico foi chamado *Representações de Campos por gráficos*. Neste discutimos o problema da necessidade de representar cada componente do Campo Vetorial e apresentamos as vantagens/desvantagens da representação por gráficos.

A tarefa relativa à aula 5 teve alguns objetivos de pesquisa a serem descritos a seguir. A primeira questão objetivou estudar como os estudantes representam o Campo Elétrico de uma chapa carregada muito extensa (com densidade de carga uniforme) por linhas de Campo, como os estudantes representam o Campo Elétrico de uma chapa carregada muito extensa (com densidade de carga uniforme) por diagramas de flechas e como os estudantes representam o Campo Elétrico de uma chapa carregada muito extensa (com densidade de carga uniforme) por gráficos. A segunda questão visou estudar como os alunos representam o Campo Gravitacional associado a um disco (com densidade de massa uniforme) por linhas de Campo, como os estudantes representam o Campo Gravitacional (com densidade de massa uniforme) por diagramas de flechas, como os estudantes representam o Campo Gravitacional (com densidade de massa uniforme) por gráficos. A terceira questão objetivou estudar como os alunos representam o Campo Gravitacional associado a uma esfera (com densidade de massa uniforme), por linhas de Campo, por diagramas de flechas e por gráficos.

No primeiro estudo o conteúdo desta aula foi apresentado em conjunto com o conteúdo da sexta aula em uma aula intitulada Representando Campos. Percebeu-se que poderíamos distinguir entre representações pictóricas e representações matemáticas e discuti-las com maior cuidado em duas aulas.

Aula 6 - Equação de Fluxo e de Circulação

Nesta aula discutimos os conceitos de Fluxo e Circulação para introduzir a representação em forma de equações (simbólica) do conceito de Campo.

O primeiro tópico foi intitulado *Representando o Campo por equações*. Neste, discutimos as vantagens/desvantagens das representações por equações e como podemos juntar o significado das equações de Campo para conhecer o Campo.

O segundo tópico foi intitulado *Equação de Fluxo*. Neste, discutimos a ideia intuitiva de fluxo, apresentamos a relação entre as fontes e o fluxo através do princípio da superposição e o significado físico-matemático do fluxo.

O terceiro tópico foi intitulado *Equação de circulação*. Neste, discutimos a ideia intuitiva de circulação, apresentamos a relação entre circulação e fontes através do princípio da superposição e o significado físico-matemático da circulação.

A tarefa relativa à aula 6 tem diversos objetivos de pesquisa a serem descritos a seguir. A primeira questão visa estudar que grandezas físicas os alunos consideram relevantes para o estudo do Campo Gravitacional, que características geométricas são consideradas relevantes pelos estudantes na modelagem do Campo Gravitacional, que significados os estudantes atribuem ao conceito de fluxo e que significados os estudantes atribuem ao conceito de circulação, como os estudantes interpretam a junção das equações de Campo. A segunda questão objetiva estudar que grandezas físicas poderiam deixar mais preciso, do ponto de vista do estudante, o modelo do Campo Gravitacional e que processos físicos poderiam deixar mais preciso, do ponto de vista do estudante, o modelo do Campo Gravitacional. A terceira visa estudar que grandezas físicas poderiam ser negligenciadas, do ponto de vista dos alunos, sem perda

considerável da precisão do modelo e que considerações geométricas poderiam ser negligenciadas, do ponto de vista dos alunos, sem perda de precisão do modelo.

Campo Elétrico

A unidade potencialmente significativa enfocando o conceito de Campo Elétrico é apresentada em onze aulas. Na primeira delas, visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma atividade com doze problemas através dos quais inferimos o modo pelo qual os estudantes conceitualizam e, após o término desta, apresentamos o conceito de Campo Eletrostático de forma geral em um panorama geral, enfocando sua relação com os conceitos de Força Elétrica, Diferença de potencial e carga elétrica. Na segunda aula, visamos discutir a lei de Gauss de forma ampla, incluindo o seu significado físico que associa a carga elétrica à fonte do Campo Elétrico. Na terceira aula, visamos detalhar o caráter operacional da lei de Gauss, ou seja, usar a mesma para calcular Campos Elétricos. Na quarta aula, introduzimos o conceito de diferença de potencial através da ideia de trabalho realizado pela força elétrica sobre uma carga de prova. Na quinta aula, estreitamos a relação entre Campos Elétricos e diferenças de potencial introduzindo o conceito de superfícies equipotenciais. Na sexta aula introduzimos, após ter discutido o conceito de Campo Elétrico nas aulas anteriores, o conceito de Força Elétrica exercida pelo Campo Elétrico sobre um objeto carregado. A aula sete trata sobre a lei de Coulomb como método para conhecimento do Campo Elétrico associado a uma distribuição de cargas conhecida. A aula oito trata sobre condutores em equilíbrio eletrostático. A aula nove trata sobre isolantes. A décima aula discute aspectos ligados à eletricidade na atmosfera e encerramos a unidade com uma avaliação somativa individual. A seguir fazemos uma breve discussão das aulas

Aula 1 - Contextualizando a eletrostática

Nesta aula passamos aos alunos uma tarefa com doze problemas para serem resolvidos em uma hora. As questões eram de múltipla escolha (cinco itens) e deveriam ter sua resposta justificada para evitar respostas aleatórias e para podermos inferir mais profundamente aspectos da estrutura cognitiva dos estudantes.

Na primeira questão visamos estudar as concepções de força eletrostática entre cargas. Vale ressaltar que não é necessário conceito de Campo para a explicação da questão, pois neste caso, podemos falar somente em forças entre cargas. A descrição em termos de Campo pode ser usada para descrever o mecanismo da interação, mas não é necessária para descrever a fenomenologia.

Na segunda questão queremos estudar as concepções de força eletrostática entre cargas. Deve-se destacar que, assim como na primeira questão, não é necessário o conceito de Campo para a explicação, pois neste caso, podemos falar somente em forças. A descrição em termos de Campo pode ser usada para descrever o mecanismo da interação, mas não é necessária para descrever a fenomenologia. A questão estabelece uma relação direta entre intensidade da força e massa da carga de prova.

Na terceira questão, visamos estudar a conceitualização dos estudantes quando colocados em uma situação na qual existe um Campo Elétrico (com as fontes omitidas) em relação ao movimento das cargas (estado de movimento).

A quarta questão visa estudar a conceitualização dos estudantes quando colocados em uma situação na qual existe um Campo Elétrico (com as fontes omitidas) em relação ao movimento das cargas (direção e sentido).

A quinta questão visa estudar a conceitualização dos estudantes quando colocados em uma situação na qual existe um Campo Elétrico (com as fontes omitidas) em relação ao movimento das cargas (intensidade da aceleração).

A sexta questão objetiva introduzir a ideia de Campo Elétrico na situação. Queremos saber como os estudantes tratam do Campo Elétrico quando ele é explicitado. Sendo uma questão relativa à gaiola de Faraday, é extremamente necessário que se use o conceito de Campo. A questão enfoca, especialmente a presença (mais apropriadamente ausência) de um Campo Elétrico resultante no interior de um condutor.

A sétima questão introduz a ideia de Campo Elétrico na situação. Queremos saber como os estudantes tratam do Campo Elétrico quando ele é explicitado. Sendo uma questão relativa à gaiola de Faraday, é extremamente necessário que se use o conceito de Campo. A questão enfoca, especialmente a presença (mais apropriadamente ausência) de um Campo Elétrico resultante no interior de um isolante.

A oitava questão introduz a ideia de Campo Elétrico na situação. Queremos saber como os estudantes tratam da interação entre uma partícula e um Campo Elétrico quando ele é explicitado. Sendo uma questão relativa à gaiola de Faraday, é extremamente necessário que se use o conceito de Campo. A questão enfoca, especialmente a força nula exercida por um Campo Elétrico no interior de um condutor que confina a partícula.

A nona questão visa estudar a concepção dos estudantes sobre Cargas em Movimento devido a uma diferença de potencial.

A décima questão tem como objetivo estudar a concepção dos estudantes sobre Cargas em Movimento devido a uma diferença de potencial.

A décima primeira questão objetiva estudar a variação de energia potencial de uma Carga Elétrica e o caráter conservativo do Campo Eletrostático.

A décima segunda questão visa estudar a variação de energia potencial de uma Carga Elétrica e o caráter conservativo do Campo Eletrostático.

Após a apresentação da tarefa fizemos uma breve introdução ao conteúdo de eletricidade estática de forma geral.

O primeiro tópico, denominado *Evolução histórica da eletrostática*, tinha como escopo apresentar a evolução ontológica/epistemológica da eletrostática e teve como pontos de destaque: as teorias pré-Newtonianas, as teorias Newtonianas, as teorias de Campo.

O segundo tópico, denominado *Interação entre cargas elétricas*, teve como escopo apresentar, de forma geral, os conceitos de Carga Elétrica como propriedade fundamental da natureza, Campo Elétrico como entidade física real que medeia a interação entre cargas e Potencial Elétrico como uma propriedade associada ao Campo e à Energia Potencial Elétrica.

Eletricidade estática, tecnologia e fenômenos do cotidiano foi o terceiro tópico usado como motivador da unidade. Em algumas das aulas, fomos mais abstratos, mas em outras discutimos alguns fenômenos do cotidiano, como por exemplo, a polarização e a blindagem eletrostática. Usou-se tal tópico, portanto, para motivar os alunos a enxergarem algum sentido em estudarem um tema tão abstrato.

A aula equivalente no primeiro estudo teve a discussão de características gerais da eletrostática e introdução à lei de Gauss e proposição de uma tarefa já tratando sobre eletromagnetismo.

Aula 2 - A lei de Gauss para a eletrostática

Nesta aula, discutimos de forma genérica uma lei de geral do eletromagnetismo, a lei de Gauss e introduzimos sua visão na descrição do Campo Elétrico através do conceito de fluxo.

No primeiro tópico, denominado *O papel da lei de Gauss na eletrostática*, discutimos a ideia de carga elétrica criando Campo Elétrico no espaço, a ontologia do Campo e da interação eletromagnética, a realidade do Campo Elétrico e sua função de mediar forças (transporte de momentum e de energia).

O segundo tópico, intitulado *a lei de Gauss e seu significado Físico*, visou discutir o Fluxo Elétrico e o sentido do Campo criado por cargas elétricas, a ontologia da interpretação qualitativa do fluxo (Campos Elétricos não são Linhas de Campos Elétricos), o significado da Superfície gaussiana, do Campo Elétrico Resultante, do vetor normal e da carga englobada pela gaussiana.

O terceiro tópico, denominado *Lei de Gauss e princípio da superposição*, objetivou discutir a lei de Gauss como lei de fluxo do Campo Elétrico resultante associado a todas as cargas do problema, o fluxo do Campo Elétrico do dipolo e o fechamento das interpretações de fluxo em termos das linhas de Campo.

A atividade vinculada à aula 2 teve diversos objetivos de pesquisa que serão descritos a seguir. A primeira questão visou estudar como os estudantes interpretam o Fluxo do Campo Elétrico criado por uma carga no exterior de uma superfície gaussiana. A segunda questão buscava estudar como os estudantes interpretam o Fluxo do Campo Elétrico criado por uma carga no interior da superfície gaussiana e a terceira questão visava estudar a relação entre Campo Elétrico e fluxo de Campo Elétrico estabelecida pelos alunos.

A aula relativa a este tópico no estudo 1 seguiu as mesmas linhas gerais da aula do estudo 2, no entanto, a atividade proposta foi um pouco diferente.

Aula 3 - Aplicações da lei de Gauss para a eletrostática

Esta aula visa a abordagem de problemas clássicos de livro-texto usando a lei de Gauss, é fundamental para o desenvolvimento de conhecimento procedimental relativo ao cálculo de Campos Eletrostáticos.

No primeiro tópico, intitulado *o papel da simetria na lei de Gauss*, discutimos a ideia matemática da simetria na lei de Gauss (constância do Campo Elétrico sobre a superfície gaussiana), a ideia física da simetria na lei de Gauss (invariância de um sistema físico frente a uma transformação) e aprofundamos os conceitos de simetria e de transformações (translação, rotação, reflexão).

Após tratar das operações de transformação, vale a pena discutir sobre como a carga elétrica pode ser distribuída em um dado objeto. O segundo tópico, denominado *as distribuições de carga e a lei de Gauss* visou esta discussão. Neste tópico abordamos o conceito de densidade de carga como descritivo de uma distribuição de carga e as situações nas quais ocorrem a simetria da distribuição de cargas e simetria do Campo Elétrico.

O terceiro tópico visou o desenvolvimento de deduções de caráter meramente operacional usando a lei de Gauss e foi intitulado *situações físicas a partir das quais obtemos o Campo a partir da lei de Gauss*. Nesta etapa da aula calculamos o Campo Elétrico criado por uma esfera carregada (pontos no interior e no exterior), o Campo Elétrico criado por um cilindro longo carregado e o Campo Elétrico criado por uma placa extensa carregada.

Os objetivos da tarefa vinculada à aula 3 são descritos a seguir. As três questões requeriam o cálculo do Campo Elétrico usando a lei de Gauss. Com isto objetivamos estudar os significados associados pelos estudantes: à carga na lei de Gauss, ao conceito de Fluxo, ao conceito de Superfície Gaussiana, ao conceito de Superfície Gaussiana, ao conceito de Campo Elétrico na lei de Gauss. A primeira questão versa sobre um cilindro com densidade linear de carga uniforme, a segunda sobre uma chapa muito grande, a terceira sobre uma esfera.

As discussões sobre as aplicações da lei de Gauss foram mais operacionais que conceituais no primeiro estudo, por isso optamos por dar ênfase na ideia de simetria no segundo estudo e retirando, talvez, a resolução de um ou dois exemplos de cálculos de Campos Elétricos, afinal, os estudantes os fariam, com ajuda do professor, em sala de aula.

Aula 4 - Equação de circulação na eletrostática

Esta aula visa a introdução e abordagem do conceito de potencial eletrostático e da equação de circulação para a eletrostática como lei geral para este domínio específico do eletromagnetismo. Visamos estabelecer a primeira relação entre energia/trabalho realizado pelo Campo Eletrostático, aproximando mais ainda os estudantes da noção de que o Campo Elétrico possui energia.

O primeiro tópico foi denominado *breve revisão sobre equações de Maxwell*. Nele, rerepresentamos as equações de Maxwell e discutimos a lei de Faraday para a eletrostática.

O segundo tópico foi denominado *Movimento de cargas e energia potencial elétrica*. Nele debatemos as motivações da tecnologia para estudar o conceito de potencial elétrico e a ideia de trabalho motor realizado pelo Campo Elétrico sobre cargas em um circuito;

O terceiro tópico foi denominado *Potencial Elétrico e Energia Potencial Elétrica*. Nele fizemos a distinção entre Energia Potencial Elétrica e Potencial Elétrico e a dedução simplificada da equação de circulação.

A tarefa vinculada à atividade 4, visa estudar na primeira questão, Estudar possíveis significados atribuídos pelos estudantes ao conceito de diferença de potencial. Na segunda questão visamos estudar os significados atribuídos pelos estudantes ao conceito de diferença de potencial e os significados atribuídos pelos estudantes ao conceito de Campo Elétrico (e sua possível relação com a diferença de potencial). Na terceira questão visamos estudar como os alunos calculam a diferença de potencial entre dois pontos no espaço, dada uma distribuição de cargas.

Nesta aula, apresentamos uma reformulação mais profunda da estrutura do tópico, enfatizando mais o aspecto conceitual da diferença de potencial como associada ao Campo e como associada ao trabalho realizado sobre uma carga pelo Campo Elétrico criado por uma distribuição arbitrária de cargas elétricas.

Aula 5 - Potencial Elétrico e Campo Elétrico

Nesta aula, objetiva-se a introdução da relação entre Potencial Elétrico e Campo Elétrico de forma a enfatizar as superfícies equipotenciais, a noção de Potencial Elétrico devido a uma distribuição de cargas conhecida e a relação entre o Potencial Elétrico (global) e o Campo Elétrico (local), tanto o conhecimento do Campo Elétrico a partir do Potencial Elétrico como o conhecimento do Potencial Elétrico a partir do Campo Elétrico. Inicia-se a aula com uma breve revisão do que foi estudado nas quatro aulas anteriores.

O primeiro tópico, denominado *Superfícies equipotenciais*, introduz através do problema da desfibrilação cardíaca a noção de superfícies equipotenciais, disto segue a apresentação da relação entre Campo Elétrico e Superfícies Equipotenciais. Por fim, retorna-se ao problema da desfibrilação e se relaciona a função Potencial Elétrico criada pelo desfibrilador à superfície equipotencial.

O segundo tópico, intitulado *Conhecendo o potencial elétrico devido a uma distribuição de cargas dada* introduz um esclarecimento que estabelece um recorte necessário a um curso de Física III, o tratamento de situações restrito a problemas com distribuições de cargas conhecidas¹⁰⁴. Em seguida apresenta-se a expressão para o

¹⁰⁴ Para tratarmos de problemas em que não se conhece a distribuição de cargas, é necessário resolver a equação de Laplace. Em qualquer curso de Física III aluno algum tem o conhecimento matemático

Potencial Elétrico criado no espaço por uma distribuição de cargas conhecidas, a partir da noção de potencial estabelecido no espaço por uma carga puntual e do princípio da superposição para variáveis contínuas.

No terceiro tópico, denominado *Potencial elétrico criado no espaço por uma distribuição de cargas conhecida*, discute-se e deduz-se a relação diferencial entre Campo e Potencial.

A atividade relativa à aula cinco tem, basicamente, três objetivos de pesquisa. O primeiro visa estudar como os estudantes relacionam o conceito de diferença de potencial ao conceito de diferença de energia potencial. O segundo é estudar como os alunos relacionam a arbitrariedade do potencial à diferença de potencial e ao Campo Elétrico. O terceiro é estudar como (e se) os estudantes relacionam a ideia de diferença de potencial ao movimento de cargas elétricas (alteração da energia potencial de um sistema de cargas).

Modificamos também a estrutura desta aula introduzindo o problema da desfibrilação para dar sentido à ideia de superfície equipotencial (o coração é, em boa aproximação, um condutor elétrico, bem como o desfibrilador). Nas aulas referentes ao estudo um, exploramos mais o aspecto formal-matemático dos conceitos (as relações matemáticas entre potencial e Campo, por exemplo), o que pode ter dificultado o estabelecimento de algumas pontes conceituais necessárias aos alunos com menor habilidade de interpretação matemática.

Aula 6 - Força Entre Cargas Elétricas

Esta aula visa esclarecer dois pontos: o primeiro, o de que a matéria não pode ser dividida em elétrica e não elétrica e o segundo de que toda a matéria interage com Campos Elétricos, mas que há sistemas especiais que mostram características importantes.

O primeiro tópico, denominado *A matéria é elétrica*, visa a apresentação formal da ideia de que tudo é composto de objetos dotados de carga elétrica – o exemplo das moléculas de DNA. Apresentamos como exemplo a reprodução da molécula de DNA e discutimos o papel do movimento térmico, da atração eletrostática e da configuração chave-fechadura na reprodução.

O segundo tópico, intitulado *Força entre cargas elétricas*, visa a abordagem da situação da interação entre um dipolo elétrico e um Campo Eletrostático e a seguinte relação com o aquecimento de comida no forno de microondas.

O terceiro tópico, chamado *Aspectos energéticos da interação eletrostática*, visa a discussão da situação da interação entre um dipolo elétrico e um Campo Eletrostático (visão energética) e a seguinte relação com o aquecimento de comida no forno de microondas.

A atividade relativa a aula 6 tem basicamente quatro objetivos de pesquisa. O primeiro é estudar como os alunos usam a lei de Lorentz para a eletricidade na interação entre um elétron e o Campo Elétrico criado por um anel carregado, o segundo é estudar como os alunos relacionam o conceito de carga de prova à ideia da produção de um Campo não relevante ao problema. Ambos são relativos à primeira questão. O objetivo relacionado à segunda questão (terceiro objetivo) é estudar como os alunos usam a lei de Lorentz para a eletricidade na interação entre uma esfera com carga ($q = -e$) e o Campo Elétrico criado por um disco carregado. O quarto objetivo (vinculado à terceira questão) é estudar como os alunos usam a lei de Lorentz para explicar a interação entre o Campo Elétrico criado por um objeto carregado e um isolante neutro (polarização).

Na aula relativa à força entre cargas elétricas, nós discutimos as forças e torques exercidos por um Campo uniforme sobre um dipolo para discutir o aquecimento de comida em um microondas. Foi um tópico que aproveitamos e a ele acrescentamos o problema da reprodução do DNA.

Aula 7 - Lei de Coulomb

Nesta aula apresenta-se a Lei de Coulomb (comumente chamada, mas de forma errônea) para o Campo Elétrico.

O primeiro tópico trata da dedução do \textit{Campo Elétrico criado por um anel}. Realiza-se a dedução usual do Campo criado por um anel com carga uniformemente distribuída ao longo de seu comprimento.

O segundo tópico trata da dedução do \textit{Campo Elétrico criado por um disco}. Realiza-se a dedução usual do Campo Elétrico criado por um disco com carga uniformemente distribuída sobre sua superfície.

A atividade relativa à aula 7 é um mapa conceitual que visa entender que relações os alunos estabelecem entre os conceitos até então apresentados, a saber, Campo Elétrico, Força Elétrica, Carga Elétrica, Fluxo Elétrico, e Potencial Elétrico.

A aula relativa ao estudo 1 era semelhante à aula descrita no estudo 2.

Aula 8 - Condutores

Após a parada de rumo para apresentação de um tópico clássico de livros textos que, por exigências institucionais, deve ser tratado, voltamos a estudar a lei de Gauss em dois outros contextos, a saber, condutores e isolantes.

O primeiro tópico foi intitulado *Blindagem eletrostática*. Nele discutimos a ideia geral da blindagem eletrostática, o princípio da gaiola de Faraday.

O segundo tópico foi denominado *estrutura microscópica de condutores*. Neste, discutimos as ideias de elétrons “livres” e de íons da rede cristalina. Discute-se, em seguida, o efeito da polarização ocorrente em condutores em um Campo Elétrico.

No terceiro tópico, chamado *Condutores, diferenças de potencial e Campos Elétricos*, apresentamos as ideias de equilíbrio eletrostático, de movimento térmico e de condutor como uma superfície equipotencial.

No quarto tópico, intitulado *Lei de Gauss e condutores*, revisamos os problemas apresentados a partir da lei de Gauss.

Na tarefa relativa à aula 8, visamos estudar como os alunos usam o conceito de Campo na conceitualização sobre condutores e gaiola de Faraday e se os alunos ventam a hipótese eletrostática na explicação, na primeira questão. Objetivamos estudar na segunda questão as noções, sustentadas pelos alunos, de alteração de distribuição de carga em um condutor fechado submetido a um Campo Elétrico, as noções, sustentadas pelos alunos, de alteração da distribuição de carga em um circuito submetido a uma ddp constante. Visamos na, terceira questão, estudar como os alunos usam o conceito de carga elétrica na explicação da blindagem eletrostática, como os alunos usam o conceito de Campo Elétrico na explicação da blindagem eletrostática e como os alunos usam o conceito de Fluxo Elétrico na explicação da blindagem eletrostática.

No estudo 1, fundimos as aulas de condutores e isolantes em uma aula, então, para uma discussão mais aprofundada, resolvemos desmembrar os dois assuntos em duas aulas.

Aula 9 - Isolantes

Nesta aula estudamos a lei de Gauss para isolantes com e sem momento de dipolo permanente.

No primeiro tópico, denominado *Indução eletrostática*, apresentamos a ideia da indução eletrostática através da menção ao experimento do “entortamento da água”.

No segundo tópico, denominado *Estrutura microscópica dos isolantes e momentos de dipolo*, discutimos as ideias de elétrons ligados e de íons da rede cristalina, e, posteriormente, de moléculas polares e moléculas apolares.

No terceiro tópico, intitulado *Isolantes, Campos Elétricos e Diferença de potencial*, temos a discussão de isolantes em um Campo Elétrico (descrição dos diferentes mecanismos de polarização), da definição do Vetor Polarização em termos de Campo e de Momento de dipolo.

No quarto tópico, chamado *Lei de Gauss e Isolantes*, introduzimos o vetor Deslocamento Elétrico à “superposição” do Campo Elétrico com a Polarização e, finalmente, discutimos os problemas do entortamento da água e da atração de papeizinhos.

A atividade relativa à atividade 9 tem os seguintes objetivos: na primeira questão se objetiva estudar como os alunos usam o conceito de deslocamento elétrico e de polarização e como os alunos usam o conceito de linhas de Campo. Na segunda questão se objetiva estudar como os alunos relacionam o efeito de temperatura na polarização de um dielétrico. Na terceira questão, visa-se estudar se os alunos usam a ideia de Campo Elétrico na conceitualização, se a idéia de Campo se vincula à de força e se a relação guarda as diferenças ontológicas entre os conceitos.

Aula 10 - Eletricidade na atmosfera

Foi passado aos alunos um material para que lessem e resolvessem em casa alguns problemas.

A leitura do texto serviu como discussão final envolvendo o conteúdo de Eletrostática. Fez-se uma revisão do conteúdo em um contexto cotidiano, isto é, a atmosfera.

O primeiro tópico, denominado, *a Terra como enorme condutor com carga negativa*, foca na discussão sobre a proposição de a Terra ser um condutor e ter potencial constante, no tratamento dos valores de Campo Elétrico na atmosfera, na descrição da formação de íons na atmosfera e na descrição dos problemas na formação de raios.

O segundo tópico, chamado *Fenômenos eletrostáticos na atmosfera terrestre*, trata da condutividade da atmosfera, dos temporais, a causa do carregamento da Terra, das diferenças de potencial na atmosfera e dos degraus relâmpago, os constituintes do relâmpago (ar ionizado aos poucos).

Todas as questões da tarefa relativa à aula dez visam estudar se os alunos conceitualizam cientificamente elementos do cotidiano.

No estudo 1 não houve o tratamento da questão da eletricidade na atmosfera com os alunos.

Aula 11 - Avaliação somativa

Na décima primeira aula, realizamos uma avaliação somativa sobre todo o conteúdo. Abaixo apresentamos os objetivos de cada questão da prova.

Na primeira questão objetivamos estudar como os alunos fazem uso da lei de Gauss para resolução de problema operacional; uso da lei de circulação para justificar Campo Conservativo.

Na segunda questão visamos estudar como os alunos fazem Uso da lei de Gauss para estudo de condutores e isolantes.

Na terceira questão objetivamos estudar como os alunos fazem uso do conceito de diferença de potencial para análise de equilíbrio eletrostático.

Na quarta questão visamos estudar como os alunos fazem uso da lei de Gauss para resolução de problema operacional; uso da lei de circulação para justificar Campo Conservativo.

Na quinta questão requeremos uma discussão sobre aspectos conceituais associados à Lei de Gauss, à equação de Circulação, à Força Elétrica e ao conceito de Diferença de Potencial.

Na sexta questão requeremos a construção de um mapa conceitual a partir da palavra Campo Elétrico para ver como os alunos relacionam os conceitos trabalhados na unidade.

Uma modificação em relação ao primeiro estudo foi a diminuição do número de questões para que os alunos pudessem responder com maior tempo as questões.

Campo Magnético

A unidade potencialmente significativa enfocando o conceito de Campo Magnético é apresentada em treze aulas. Na primeira delas, visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma atividade com nove problemas através dos quais inferimos o modo pelo qual os estudantes conceitualizam e, após o término desta, apresentamos o conceito de Campo Magnético de forma geral em um panorama geral, enfocando sua relação com os conceitos de Força Magnética e Corrente Elétrica. Na segunda aula, visamos discutir a lei de Gauss do magnetismo de forma geral, incluindo o seu significado físico que impõe a inexistência de monopólos magnéticos. Na terceira aula, visamos introduzir a lei de Ampère e discutir o fechamento das linhas de Campo a partir da idéia de circulação. Na quarta aula, objetivamos explorar o caráter operacional da lei de Ampère, isto é, o cálculo de Campos Magnéticos. Na quinta aula, ampliamos a definição de corrente elétrica para movimentos ordenados de carga elétrica e discutimos o papel dos Campos Elétricos no estabelecimento da Corrente Elétrica. Na sexta aula introduzimos o conceito de Força Magnética sobre carga em movimento partindo do pressuposto de que os Campos Magnéticos só exercem forças sobre objetos que compartilham da natureza das fontes, ou seja, cargas em movimento. A aula sete trata sobre a Força Magnética exercida sobre um fio de Corrente Elétrica como ampliação da ideia geral de Força Magnética sobre uma carga elétrica em movimento. A aula oito trata sobre a lei de Biot-Savart, o análogo da lei de Coulomb para o Campo Magnético. A aula nove compara aspectos gerais do Campo Elétrico e do Campo Magnético. A décima aula inicia a discussão sobre materiais magnéticos, tratando sobre Diamagnéticos e Paramagnéticos. A décima primeira aula finaliza o estudo sobre materiais magnéticos introduzindo na discussão o ferromagnetismo. A décima primeira aula discute aspectos relativos ao Campo Magnético Terrestre. Finaliza-se a unidade com a décima terceira aula, na qual se aplica uma avaliação somativa.

A única diferença com relação ao primeiro estudo é a aula acrescentada sobre corrente elétrica, na qual diferenciamos o conceito que parece amplamente geral para os alunos.

Aula 1 - Contextualizando a Magnetostática

Nesta aula passamos aos alunos uma tarefa com oito problemas para serem resolvidos em uma hora. Algumas das questões eram de múltipla escolha (cinco itens), mas todas deveriam ter sua resposta justificada para evitar respostas aleatórias e para podermos inferir mais profundamente aspectos da estrutura cognitiva dos estudantes.

Na primeira questão propusemos um mapa conceitual para estimar as ligações entre palavras-conceito da estrutura cognitiva dos estudantes relacionadas ao conceito de Campo Magnético.

Na segunda questão visamos estudar se os alunos têm algum conhecimento prévio sobre linhas de Campo Magnético e se os alunos têm algum conhecimento prévio sobre a lei de Gauss do Magnetismo.

Na terceira questão objetivamos estudar se os alunos aventam alguma hipótese relacionada ao movimento de cargas para explicar o Campo Magnético de um ímã.

Na quarta questão visamos estudar se os alunos associam pólos de ímãs a cargas elétricas.

Na quinta questão procuramos estudar se os alunos possuem alguma visão sobre a ação do Campo Magnético sobre cargas elétricas em movimento.

Na sexta questão objetivamos analisar como os alunos relacionam a força magnética ao Campo Magnético e à velocidade da carga de prova.

Na sétima questão visamos estudar se os alunos concebem uma expressão quantitativa para a força magnética exercida sobre uma carga em movimento;

Na oitava questão procuramos analisar se os alunos possuem alguma visão sobre a ação do Campo Magnético sobre cargas elétricas em movimento e se os alunos confundem pólos de ímãs com cargas elétricas.

Logo após a entrega da tarefa introduzimos aspectos amplamente gerais do conteúdo. O primeiro tópico, denominado *A evolução histórica do estudo do magnetismo* discutiu modelos Pré-Newtonianos, modelos Newtonianos e modelos Faradayanos/Maxwellianos para as interações entre cargas elétricas em movimento. O segundo tópico, intitulado *Interação entre cargas em Movimento*, introduz a noção de corrente elétrica como movimento de cargas elétricas e o Campo Magnético como agente da Força Magnética. O terceiro tópico, de cunho motivacional, discute brevemente algumas aplicações da *Magnetostática na Tecnologia e em fenômenos do cotidiano*.

No primeiro estudo somente passamos a tarefa para sondagem de conhecimentos prévios dos estudantes e tal atividade consistia das quatro primeiras questões descritas acima.

Aula 2 - Lei de Gauss do Magnetismo

Nesta aula apresentamos a ideia da inexistência de monopólos magnéticos com o intuito de evidenciar de início a diferença entre os Campos Elétrico e Magnético.

O primeiro tópico, denominado *Revisão e resumo*, trata da rerepresentação do conteúdo das quatro equações de Maxwell – ênfase na lei de Fluxo para o Campo Magnético.

O segundo tópico, denominado *Lei de Gauss do Magnetismo*, trata da ideia conceitual de as linhas de Campo Magnético atravessam duas vezes qualquer superfície gaussiana, da ausência de monopólos magnéticos na natureza.

O terceiro tópico, denominado *Ausência de monópolos magnéticos*, discute as semelhanças e diferenças entre dipolos elétricos e magnéticos e compara um ímã e uma

espira de corrente para introduzir a ideia de que correntes são fontes de Campo Magnético e cumprem o papel que seria atribuído a uma carga magnética inexistente e, ainda, discute-se a aplicação do modelo para ímãs.

A atividade relativa a aula 2 tem três objetivos. O primeiro deles é estudar se os alunos dominam a ideia de Fluxo de um Campo Magnético (ideias acerca da lei de Gauss do Magnetismo). O segundo objetivo é estudar e instigar a separação ontológica, por parte dos alunos, entre pólos de um ímã e cargas elétricas. O terceiro objetivo é estudar como os alunos representam uma situação em que é necessário o uso do princípio da superposição dos Campos Magnéticos.

Aula 3 - Circulação e Lei de Ampère

Nesta aula focamos diferenciar o conceito de circulação e introduzir a lei de Ampère como fundamental à magnetostática

Neste tópico, denominado *Circulação e lei de Ampère*, discutimos generalidades sobre a circulação de um Campo Vetorial, comparamos a lei de Ampère com a lei de Gauss, abordamos os elementos da lei de Ampère, relacionamos a lei de Ampère ao princípio da superposição, discutimos a ideia de correntes englobadas pela curva amperiana e descrevemos o uso da regra da mão direita para convenção do sentido de integração.

Na atividade relativa à aula 3 tínhamos dois objetivos de pesquisa. O primeiro (primeira questão) era estudar se os estudantes distinguem entre Campo Magnético e Circulação do Campo Magnético e o segundo (segunda questão) era estudar como os estudantes concebem as semelhanças entre ímãs e correntes elétricas.

Aula 4 - Lei de Ampère e suas aplicações

Nesta aula tivemos o objetivo de usar a lei de Ampère operacionalmente, isto é, usando a ideia de simetria das distribuições de corrente elétrica para calcular Campos Magnéticos associados a sistemas altamente simétricos.

O primeiro tópico foi denominado *Campo Magnético criado por um fio conduzindo corrente* e discutia o cálculo do Campo para pontos no interior do fio e para pontos no exterior do fio.

Discutiu-se ainda, no segundo tópico, denominado *Campo Magnético criado por um solenóide muito longo conduzindo corrente*, o cálculo do Campo Magnético deste sistema.

O terceiro e último tópico discutia o *Campo magnético criado por uma bobina toroidal conduzindo corrente*.

A tarefa relativa à aula 4 tinha três objetivos, a saber, estudar como os alunos usam a lei de Ampère para calcular o Campo Magnético associado a um sistema altamente simétrico (primeira questão), estudar como os alunos relacionam o Campo Magnético à lei de Ampère (segunda questão) e estudar como os alunos relacionam o Campo Magnético à lei de Gauss do Magnetismo (terceira questão).

Aula 5 - Corrente Elétrica

Nesta aula objetivamos descrever a natureza da corrente elétrica e distinguir entre variáveis eletromagnéticas globais (diferença de potencial, corrente e resistência) e locais (Campo Elétrico, densidade de corrente e resistividade).

No primeiro tópico, denominado *Campos Elétricos e Correntes Elétricas*, discutimos a ideia do rompimento do equilíbrio eletrostático, fazemos a definição de corrente circuital – operacional, discutimos a diferença entre o movimento ordenado e o movimento randômico de portadores de carga e discutimos o sentido da corrente.

No segundo tópico, denominado *densidade de corrente e velocidade de deriva*, abordamos o conceito de densidade de corrente, as trocas energéticas entre Campo-elétrons livres e elétrons-livres rede cristalina. Encerramos a discussão relacionando a densidade de corrente à velocidade de deriva.

No terceiro tópico, chamado *Materiais Ôhmicos*, discute-se a densidade de corrente como resposta do condutor a um Campo aplicado, as ideias de resistividade e de resistência elétrica.

A atividade relativa à aula 5 tem três objetivos, a saber, estudar como os alunos relacionam microscopicamente o movimento de cargas elétricas ao aumento de energia interna através das colisões com íons da rede cristalina (primeira questão), estudar como os alunos concebem a velocidade dos elétrons e a distinguem da velocidade com que se propaga o Campo Eletromagnético (segunda questão), e estudar como os alunos usam a definição operacional de corrente elétrica (terceira questão).

Aula 6 - Força Magnética sobre cargas em movimento

Nesta aula, visamos introduzir a ideia específica da interação de uma partícula em movimento com um Campo Magnético. Ideia já discutida em termos gerais anteriormente em tópicos descrevendo interações entre partículas e Campo.

O primeiro tópico, intitulado *Revisão*, trata das equações de Maxwell tanto para o Campo Eletrostático como para o Campo Magnetostático e os compara.

O segundo tópico, chamado *Força Magnética sobre carga em movimento*, discute a força elétrica exercida pelo Campo Elétrico sobre uma carga em movimento uniformem, faz uma revisão das interações gravitacional e elétrica – introdução da ideia de força magnética a partir da lei de Ampère e analisa o movimento de uma partícula em um Campo Magnético estacionário.

A atividade referente à aula seis tem uma questão somente com quatro objetivos de pesquisa. Estes são o estudo de como os estudantes representam a interação entre uma carga elétrica em movimento e um Campo Magnético uniforme, de como calculam operacionalmente a força magnética exercida sobre o elétron, de se possuem claro o conceito de carga de prova e do Campo Magnético da carga de prova, de como descrevem o movimento da partícula sofrendo a ação da força do Campo Magnético.

Aula 7 - Força Magnética sobre um fio de corrente

Nesta aula expandimos as ideias da aula sobre força exercida por um Campo Magnético em uma carga em movimento

No primeiro tópico, denominado *Revisão e resumo*, reapresentamos a lei de Gauss do magnetismo através da ideia de inexistência de monopólos magnéticos, revisamos a ideia de que as correntes são as fontes do Campo Magnético (lei de Ampère) e discutimos a força exercida sobre uma carga em movimento.

No segundo tópico, denominado *Força Magnética sobre um fio de corrente*, discutimos o princípio de superposição de forças magnéticas através da abordagem da força resultante sobre o fio como estando associada à soma de forças sobre elétrons livres.

Na tarefa relativa à aula 7, tínhamos quatro objetivos de pesquisa, a saber, estudar se os alunos atribuem importância para a geometria de um fio de corrente (primeira questão), estudar como os alunos concebem e representam a interação entre um Campo Magnético e um fio de corrente e se os são capazes de fazer referência a aspectos reais não mencionados diretamente em uma questão (segunda questão), e estudar a possibilidade de os alunos terem compreendido a relação direta entre ímãs e espiras de corrente (terceira questão).

Aula 8 - A lei de Biot-Savart

Nesta aula apresenta-se a Lei de Biot-Savart (comumente chamada, mas de forma errônea) para o Campo Magnético.

No primeiro tópico, denominado **A lei de Biot-Savart**, descrevemos as variáveis da lei de Biot-Savart.

No segundo tópico, intitulado *Campo Magnético devido a uma espira circular de corrente*, fazemos a descrição do problema em coordenadas cilíndricas, usamos a lei de Biot-Savart para a descrição do Campo Magnético criado no espaço por uma espira circular de corrente, abordamos a descrição para longas distâncias (introduzimos o Campo Magnético de dipolo e o momento magnético).

No terceiro tópico, denominado Campo Magnético criado por um solenóide finito, tratamos da superposição do Campo de várias espiras localizadas sobre o solenóide e o caso limite do solenóide muito comprido (Campo Magnético uniforme no interior do solenóide).

A atividade relativa à aula oito tem uma questão e três objetivos de pesquisa, quais sejam, estudar como os alunos representam as variáveis relevantes para o cálculo do Campo Magnético de uma distribuição de correntes elétricas conhecida, estudar como os alunos calculam o Campo Magnético de um fio reto finito conduzindo corrente, usando a lei de Biot-Savart e estudar aproximações de fio muito comprido e de fio muito curto.

Aula 9 - Campo Elétrico x Campo Magnético (comparações)

Nesta aula focamos distinguir, definitivamente, os Campos Eletrostático e Magnetostático em alguns aspectos e integrá-los em outros.

No primeiro e único tópico da aula, denominado *Comparação entre os Campos Eletrostático e Magnetostático*, fazemos a apresentação das equações de Campo Eletrostático e de Campo Magnetostático, em seguidas discutimos a força de Lorentz e Força Eletromagnética, e estabelecemos a comparação entre as intensidades das forças elétrica e magnética.

Na tarefa relativa à aula 9, visamos estudar como os estudantes distinguem a ação da força elétrica e da força magnética sobre uma carga elétrica em movimento (primeira questão), estudar como os estudantes usam a lei de Ampère e a lei de Gauss para calcular Campos Elétricos e Campos Magnéticos de sistemas altamente simétricos (segunda questão), estudar como os estudantes distinguem as duas leis (segunda questão) e estudar como os alunos usam as equações de Campo da Eletrostática e da Magnetostática (terceira questão).

Aula 10 - Diamagnéticos e paramagnéticos

Nesta aula visamos introduzir a ideia de momentos de dipolo magnético na caracterização da matéria. Visa-se conceituar materiais paramagnéticos e diamagnéticos.

No primeiro tópico, ao qual chamamos *Modelos de átomos como espiras de corrente*, fizemos considerações sobre o momentum angular dos elétrons.

No segundo tópico, ao qual denominamos Paramagnetismo sobre o paramagnetismo associado a momentos de dipolo magnéticos permanentes, introduzimos o conceito de Magnetização e a lei de Curie.

No terceiro tópico, que chamamos *Diamagnetismo*, trata do diamagnetismo associado à ausência de momentos de dipolo magnéticos permanentes e da Indução de momentos de dipolo em diamagnéticos (lei de Faraday).

Na atividade relativa à aula 10, fazemos referência ao conteúdo da aula 9 e, através desta, objetivamos estudar como os alunos distinguem os Campos Eletrostático e Magnetostático.

Aula 11 - Ferromagnéticos

Nesta aula distinguimos materiais com magnetização permanente residual dos materiais sem este tipo de magnetização.

No primeiro tópico discutimos ideias gerais sobre ferromagnetismo e por isto, o denominamos *ideias gerais sobre ferromagnetismo*. Dentre os tópicos, fizemos a descrição do ferromagnetismo como efeito quântico da interação entre o spin de átomos vizinhos, discutimos a Temperatura de Curie, e casos genéricos de Magnetização não uniforme.

No segundo tópico, denominado *Histerese*, fizemos a descrição e a construção do gráfico de histerese, discutimos os domínios magnéticos de Weiss e abordamos os efeitos de Temperatura ocorrentes no magnetismo.

Na atividade relativa à aula 11, visamos, na primeira questão, estudar como os alunos representam um material ferromagnético em termos dos seus momentos de dipolo, se os alunos conseguem, a partir do dado de que o material tem um momento magnético não-nulo, inferir que ele é paramagnético, como os alunos trabalham as noções de energia interna e energia potencial associada à interação Campo Magnético – dipolo magnético. Na segunda questão, visamos estudar que influências os estudantes atribuem à Temperatura sobre a magnetização, isto é, se usam a Lei de Curie, analisar como os alunos representam a ideia de corrente induzida por Campo Magnético variável (Lei de Faraday), estudar se os alunos conseguem identificar uma espira de corrente a um ímã e qual o sentido e direção da força (qualitativamente), analisar se os alunos compreendem a formação de momentos de dipolos induzidos em diamagnéticos. Na terceira questão objetivamos estudar se alunos conseguem distinguir entre ferromagnéticos e paramagnéticos.

Aula 12 - Campo Magnético Terrestre

Assim como na unidade relativa ao conceito de Campo Elétrico, nós discutimos a aplicação do conceito de Campo Magnético em um sistema de interesse dos estudantes, o Campo Magnético do planeta em que vivem.

Dividimos a aula em cinco tópicos *O Campo Geomagnético* no qual descrevemos aspectos gerais do Campo Magnético terrestre, *o padrão do Campo Magnético Terrestre* no qual discutimos a forma dipolar do Campo Magnético terrestre, *A variação secular e a condutividade magnética do Manto* onde se discutem aspectos relativos a correntes elétricas no manto e a variação do Campo Magnético, *a condutividade elétrica do núcleo* no qual se discute a presença de correntes elétricas no núcleo e *o mecanismo de dínamo* que apresenta a teoria mais aceita sobre a origem do Campo Magnético Terrestre.

Aula 13 - Avaliação somativa

Na décima terceira aula, realizamos uma avaliação somativa sobre o conteúdo. Abaixo seguem os objetivos de cada questão

A primeira questão enfoca a descrição do mecanismo do Espectrômetro de Bainbridge – Força exercida por um Campo Magnético uniforme.

A segunda questão visa estudar a interação de uma espira de corrente com um Campo Magnético criado por um solenóide – Uso operacional da lei de Ampère e da noção de interação de momentos de dipolo magnético com o Campo Magnético.

A terceira questão objetiva estudar como os alunos fazem a distinção entre circulação do Campo Magnético e Campo Magnético na lei de Ampère.

A quarta questão faz o uso da lei de Ampère para o cálculo operacional do Campo Magnético e da lei de Gauss para completar o conhecimento do Campo.

A quinta questão visa a discussão de aspectos conceituais associados à Lei de Gauss do Magnetismo, à lei de Ampère e à Força Magnética.

A sexta questão é um mapa conceitual começando da palavra Campo Magnético.

Com respeito ao estudo 1, reduzimos o número de questões e modificamos algumas delas.

Indução Eletromagnética

A unidade potencialmente significativa enfocando o conceito de Campo Eletromagnético e Indução Eletromagnética é apresentada em nove aulas. Na primeira delas, visamos estudar o conhecimento prévio dos estudantes através de uma atividade com seis problemas através dos quais inferimos o modo pelo qual os estudantes conceitualizam e, após o término desta, apresentamos o conceito de Campo Eletromagnético e de indução eletromagnética de forma geral em um panorama geral, enfocando sua relação com os conceitos de Força Eletromagnética, Corrente Elétrica, Carga Elétrica e Indução Eletromagnética. Na segunda aula, visamos discutir a lei de Faraday como lei geral do eletromagnetismo, incluindo o seu significado físico que impõe a criação de um Campo Elétrico variante a partir de um Campo Magnético variante. Na terceira aula, visamos tratar de correntes elétricas induzidas, tanto por Campos Elétricos induzidos no espaço como por forças magnéticas devidas a espiras em movimento, reconciliando a ideia de corrente induzida e fem induzida, distinguindo, ao mesmo, tempo da ideia de Campo Elétrico induzido. Na quarta aula, objetivamos explorar o funcionamento genérico de geradores e motores. Na quinta aula, discutimos historicamente a construção do conceito de corrente de deslocamento e a evolução de seu significado. Na sexta aula introduzimos a lei de Ampère-Maxwell como equação geral do eletromagnetismo e logo a comparamos com a lei de Faraday. A aula sete trata sobre a interação eletromagnética (força de Lorentz) e da conservação da carga. A aula oito trata sobre o transporte de momentum e de energia. Aula nove finaliza a unidade com a realização de uma avaliação somativa.

A diferença crucial entre o primeiro e o segundo estudo é uma aula sobre os erros cometidos por Maxwell na construção epistemológica/ontológica do conceito de corrente de deslocamento. Outro fator importante agora diz respeito à distinção mais acentuada entre situações nas quais ocorre o movimento de uma espira em um Campo Magnético estacionário e a variação de um Campo Magnético frente a uma espira variando e integração das duas situações usando o conceito de fluxo magnético. Há que se destacar que não foi feita qualquer atividade de sondagem do conhecimento prévio dos estudantes no primeiro estudo durante esta etapa.

Aula 1 - Contextualizando a eletrodinâmica

Nesta aula passamos aos alunos uma tarefa com oito problemas para serem resolvidos em uma hora. Algumas das questões eram de múltipla escolha (cinco itens),

mas todas deveriam ter sua resposta justificada para evitar respostas aleatórias e para podermos inferir mais profundamente aspectos da estrutura cognitiva dos estudantes.

A primeira questão estimava as ligações entre palavras-conceito da estrutura cognitiva dos estudantes relacionadas ao conceito de indução de Campos Elétricos e Magnéticos (mapa conceitual).

A segunda questão estudava se os alunos têm alguma idéia inicial acerca da idéia de variação de fluxo de Campo Magnético, haja vista que já foi apresentada a idéia de fluxo aos mesmos e analisava se os alunos associam a variação de fluxo magnético a uma corrente induzida em uma espira.

A terceira questão estudava se os alunos vinculam a corrente elétrica somente a fontes externas do tipo bateria e estudava se os alunos relacionam, de forma mais aberta, a variação de fluxo de Campo Magnético à indução de corrente elétrica.

A quarta questão analisava se os alunos associam correntes elétricas variáveis a Campos Magnéticos variáveis e estudava se os alunos associam Campos Magnéticos variáveis a correntes elétricas induzidas.

A quinta questão estuda se os alunos vêem alguma relação entre Campos Magnéticos variantes e Campos Elétricos variantes.

A sexta questão analisa se os alunos associam a ação do Campo Magnético a objetos com portadores de carga em movimento.

Aula 2 - A Lei de Faraday-Lenz: Campos Elétricos induzidos

Nesta aula descrevemos a ideia fundamental de que um Campo Magnético variante cria um Campo Elétrico variante no espaço, ou melhor, a variação de fluxo Magnético cria uma circulação de Campo Elétrico no espaço.

O primeiro tópico, denominado *revisão*, traz a apresentação das equações da eletrostática, da magnetostática, da eletrodinâmica e da continuidade, para relembrar os aspectos já discutidos e compará-los com os da eletrodinâmica.

O segundo tópico, chamado *Equação da continuidade*, enfoca a lei de Faraday como uma lei de circulação fundamental, discute a criação de Campos Elétricos pela variação de Campos Magnéticos, a variação de fluxo de Campo Magnético, o Fluxo do Campo Vetorial através de uma superfície aberta e sua variação e as componentes variáveis do fluxo: área, vetor normal à superfície e Campo Magnético.

A atividade relativa à aula 2 reúne três objetivos de pesquisa, a saber, estudar se os alunos conseguem analisar as situações em que ocorre variação de fluxo simultaneamente (primeira questão), estudar se os alunos conseguem associar a lei de Faraday à lei de Lorentz para prever a dinâmica de um elétron em uma região em que há Campo Magnético variável com o tempo (segunda questão), e estudar se os alunos apresentam compreensão da Lei de Faraday para a circulação do Campo Elétrico (terceira questão).

Aula 3 - Lei de Faraday-Lenz: Correntes elétricas induzidas

Nesta aula estendemos o papel dos Campos não-eletrostáticos criados por Campos Magnéticos variantes à resposta dada por condutores aos mesmos - corrente elétrica induzida e distinguimos estas situações das correntes induzidas criadas em espiras em movimentos em regiões de Campo Magnético estacionário.

O primeiro tópico, denominado *força eletromotriz induzida*, discute a associação da circulação a uma fem induzida em um circuito, a experiência de Faraday e introdução do conceito de corrente induzida, a conservação da energia e o sentido da corrente induzida, a regra da mão direita para a orientação do vetor tangente à amperiana, e o clássico experimento da aproximação/afastamento do ímã.

A tarefa relativa à aula 3 tem sete objetivos de pesquisa, quais sejam, estudar se os alunos entendem a corrente elétrica induzida como efeito da ação da força de um Campo Elétrico induzido no espaço em que há um condutor e se os alunos distinguem entre corrente elétrica induzida e Campo Elétrico induzido (Primeira questão), estudar se os alunos associam diferenças de potencial a Campos Eletrostáticos e Forças Eletromotrizes a Campos não eletrostáticos (Segunda questão), estudar se os alunos conseguem usar a lei de Faraday para prever a corrente induzida em um circuito, como os alunos representam a dinâmica de um fio de corrente submetido a um Campo Magnético, se os alunos associam a variação de fluxo a um Campo Magnético estático e um circuito com comprimento variando e se os alunos compreendem o balanço de energia do sistema (Terceira questão).

Aula 4 - Geradores e Motores

Nesta aula discutimos mecanismos gerais de transformação de energia mecânica em energia elétrica (geradores) e vice-versa (motores).

No primeiro tópico, chamado *geradores*, fizemos a dedução da equação do gerador e discutimos a transformação de energia mecânica em elétrica.

No segundo tópico, denominado *motores*, realizamos a discussão da força eletromotriz e a força contraeletromotriz na equação dos motores e a transformação de energia elétrica em mecânica.

Na tarefa relativa à aula 4 objetivamos estudar se os alunos vislumbram trocas de energia mecânica em energia elétrica (primeira questão), se os alunos vislumbram a força magnética exercida sobre cargas em movimento no rotor e se conhecem a lei de conservação do momentum angular (segunda questão) e se os alunos compreendem as transformações de energia elétrica em energia mecânica ocorridas no motor (terceira questão)

Aula 5 - Corrente de Deslocamento

Nesta aula discutimos o artigo de Chalmers (1975) no qual ele apresenta os erros históricos de Maxwell. A aula expositiva, nesta situação ocorreu após a tarefa que visava saber se os alunos tinham alguma noção sobre o conteúdo. Discutiui-se o modelo de esferas e redemoinhos apresentados por Maxwell para representar mecanicamente o

éter e os problemas com tal modelo e sequente abandono, por parte do cientista, da ideia de um modelo mecanicista para representar as interações eletromagnéticas.

A atividade consistia de três questões. Na primeira, perguntava-se aos estudantes o que entendiam por corrente de deslocamento. A segunda pedia aos mesmos que estabelecessem uma comparação entre as leis de Ampère-Maxwell e a Lei de Faraday-Lenz. A terceira pede aos alunos que calculem o Campo Magnético criado por um Campo Elétrico variável produzido a partir das placas de um capacitor com carga variável (de forma senoidal).

Aula 6 - lei de Ampère-Maxwell

Nesta aula buscamos apresentar a Lei de Ampère Maxwell em paralelo com a Lei de Faraday, após termos discutido algumas das sutilezas históricas na construção da teoria eletromagnética.

Nesta aula apresentamos como primeiro tópico o “capacitor de Maxwell” (que Maxwell nunca apresentou) e nele discutimos a necessidade de se introduzir a corrente de deslocamento para validar a lei de Ampère e discutimos a interpretação da corrente de deslocamento.

Como segundo tópico, apresentamos a lei de Ampère-Maxwell e discutimos como trabalhar com tal equação de forma operacional, da mesma forma que fizemos para a Lei de Faraday.

A atividade relativa à aula consistia de uma relação de três problemas correlatos e mutuamente dependentes. No primeiro pede-se aos estudantes que se calcule a carga de um circuito LC. No segundo problema, pede-se aos alunos que calculem o Campo Magnético criado a partir do Campo Elétrico variável nas placas do capacitor. Na terceira questiona-se se há diferença nos efeitos das correntes de deslocamento e de condução.

Aula 7 – Interação eletromagnética e conservação da carga

Nesta aula visamos discutir a interação eletromagnética como mediada por uma onda eletromagnética e focar a conservação da carga.

O primeiro tópico, chamado *revisão das equações de Maxwell*, faz a reapresentação das equações de Maxwell e de seu conteúdo Físico.

O segundo tópico, denominado *conservação da carga elétrica* discute a continuidade da carga elétrica, faz a dedução da equação da continuidade.

O terceiro tópico, denominado *o atraso da interação eletromagnética*, realiza a discussão da força como alteração de momentum tendo a onda eletromagnética (campo eletromagnético) como mediadora da força e da ideia de localização da energia e do

momentum na onda. Finaliza-se a discussão tratando-se a lei de Lorentz para a força eletromagnética.

A tarefa relativa à aula 7, tem como objetivos propor aos alunos aplicação do conhecimento de equações de Maxwell em situações de interesse (primeira questão), estudar se os alunos levam em conta a produção de Campos Elétricos/ Campos Magnéticos induzidos e se os alunos levam em conta o atraso da interação eletromagnética (segunda questão), estudar se os alunos são capazes de calcular um Campo Magnético no espaço usando a lei de Ampère-Maxwell e se os alunos conseguem distinguir entre corrente elétrica de condução e corrente elétrica de deslocamento (Terceira questão).

Aula 8 – Interação eletromagnética e conservação da carga

Nesta aula trazemos a ideia de transporte de energia e de momentum pelo Campo Eletromagnético.

O primeiro tópico, denominado *Transporte de energia*, realiza-se a discussão da equação de balanço de energia para o Campo Eletromagnético e a discussão em termos do exemplo do capacitor de placas paralelas.

O segundo tópico, chamado *Transporte de momentum*, realiza a discussão da equação de balanço de momentum para o Campo Eletromagnético.

Ao invés de apresentar uma tarefa aos estudantes, nesta aula aproveitamos para apresentar a solução ondulatória das equações de Maxwell para o Campo Eletromagnético. Realizamos, desta forma, a junção da ideia conceitual da onda como sendo um ente transportador de momentum e energia, com as equações de conservação de momentum e de energia eletromagnéticos. Encerramos a disciplina reiterando, então, que o Campo Eletromagnético é uma entidade real necessário para a conceitualização da interação eletromagnética.

Aula 9 – Avaliação somativa

Através da avaliação somativa, visamos avaliar como os estudantes desenvolveram seu conhecimento com respeito a Campos Eletromagnéticos variáveis com o tempo.

A primeira questão visa a análise do uso operacional da lei de Ampère Maxwell para o cálculo do Campo Magnético.

A segunda questão enfoca a discussão das equações de Maxwell, da equação de Lorentz e vínculo com o conceito de Campo Eletromagnético.

A terceira questão estuda o uso, pelos alunos, da lei de Faraday para explicar conceitualmente a frenagem magnética.

A quarta questão faz uso operacional da Lei de Faraday para calcular a força exercida por uma espira em movimento em um Campo Magnético.

A quinta questão vê como os alunos fazem a discussão do transporte de momentum e energia pelo Campo Eletromagnético após a variação de cargas/correntes – Lei de Faraday/Lei de Ampère-Maxwell.

A sexta questão estuda um mapa conceitual construído a partir do conceito de Campo Eletromagnético.

APÊNDICE C – RELATOS SOBRE A DISCIPLINA DE FÍSICA III

Aluno D – Estudo 1

“Eu acho que a forma como a cadeira está sendo dada é muito satisfatória. O sistema de (geralmente) termos meia aula expositória *(SIC) e meia aula de tarefas parece bem eficiente, pois a aula não se torna maçante (sonífera). E ao resolver os exercícios em aula logo em seguida de vermos a teoria, faz com que as dúvidas surjam e possamos resolvê-las com auxílio dos colegas e professores.

O Eletromagnetismo é um conteúdo complicado por si só, devida a sua natureza abstrata, mas os professores estão lidando muito bem. E também são muito atenciosos. Estão de parabéns!

A única coisa que eu sinto falta é de uma lista de exercícios para se resolver em casa opcionalmente, pois embora resolvemos problemas em aula, eles são poucos e talvez uma lista com mais exercícios fosse útil”

Aluno E – Estudo 1

“Tenho gostado das aulas de Física III, o esquema de avaliação é bom e fazendo trabalhos em aula estudamos com antecedência para a prova e não deixamos tudo para a última hora. Acho que faltam uma abordagem mais aprofundada em cima de circuitos elétricos, tenho tido dificuldade nos exercícios em que temos que resolver problemas com eles, talvez se tivessem esperado para inserir eles após o magnetismo, teria sido mais completo e ‘absorvível’”

Aluno S – Estudo 1

“Achei a estrutura das aulas extremamente benéfica *(SIC) ao aprendizado, pois sou ‘vagabundo’ e em aulas mais tradicionais acabo aprendendo pouco por ter preguiça de fazer as tradicionais listas de exercícios, enquanto as tarefas em aula são leves, mas ao mesmo tempo constroem aprendizado global da matéria apresentada. Além disso, apresentação teórica curta no início de algumas aulas permite que acompanhe a matéria sem ficar tedioso e as tarefas, novamente, ficam o que foi apresentado de forma eficiente.”

Aluno U – Estudo 1

“As aulas no geral são boas, talvez um pouco corridas, mas eu prefiro assim do que enrolar.

Em termos de exercícios (tarefas), acho que é um bom método quando não exigem para o mesmo dia. Só tenho uma reclamação: algumas questões ficam confusas e não transmitem exatamente a pergunta. Sobre a prova, embora longa, meu problema com ela foi sobre questões do tipo: ‘temos um caso... fale tudo que puder’, pois posso escrever muita coisa e mesmo assim não abordar algo mais importante, perdendo tempo de prova”.

Aluno H – Estudo 1

“Gosto do cuidado que se tem tido com conceitos básicos, de forma a não super-enfatizar o lado quantitativo das coisas.

Acho que o sistema de tarefas demanda um maior empenho mínimo por parte do aluno, bem como a presença do mesmo em aula, nem sempre me agrada, mas ele certamente parece ter bons resultados, e por vários motivos.

Primeiramente, ele exige a atenção e envolvimento ativo do aluno. Gerando pequenos debates entre os grupos bem como reflexão individual, creio que tal sistema favoreça um desenvolvimento orgânico natural do conhecimento.

O fato de dúvidas mais específicas serem respondidas dentro dos grupos ainda permite um tratamento mais eficiente e direcionado se comparado a uma exposição genérica e voltada a uma sala inteira, uma vez que dúvidas mais simples são sanadas dentro do grupo entre os colegas.

Creio que as atividades bem como as aulas (no sentido de exposições à turma inteira) têm, em geral, sido capazes de tomar vantagem destes pontos positivos.

Como dito anteriormente, contudo, este é um sistema que toma bastante tempo, de forma que me parece que se perde “amplitude” em favor de um maior entendimento das peças fundamentais, o que não é em si um problema, mas algo que deva ser balanceado. Me parece possível que tarefas um pouco menores ou em menor número, mas que mantenham as qualidades anteriormente descritas, aliadas a uma exposição um pouco mais abrangente seriam o ideal.

Tendo dito isso, é minha opinião que a disciplina tem sido transmitida de uma forma boa até aqui”.

Aluno K – Estudo 2

“Fiquei muito satisfeito com a forma como os conteúdos nos foram passados. As aulas eram leves, ainda que nós tivéssemos desafios e problemas não-triviais de resolver. Tenho certeza que tive um contato intuitivo com a matéria, além de ser mais exigido em problemas não triviais e não repetitivos.”

Aluno L – Estudo 2

“Acredito que a Física III seja a primeira disciplina do curso onde conceitos bastante abstratos passam a fazer parte das aulas. O equilíbrio entre a análise matemática e a conceitual dos temas abordados é fundamental para uma boa assimilação dos conteúdos. Ao cursar esta disciplina trabalhamos muito bem o lado conceitual fazendo diversos mapas conceituais, sempre com uma abordagem buscando a evolução na capacidade de assimilação, de forma que para cada mapa que fazíamos, recebíamos mais de uma chance de refazê-lo e assim era possível notar nossa evolução no aprendizado. Dessa

maneira, passamos a relacionar os tópicos da disciplina não mais a fórmulas aprendidas por repetição, mas diretamente aos fenômenos físicos em estudo.”

Aluno G – Estudo 2

“A cadeira de Física Geral III (eletromagnetismo) teve uma abordagem diferenciada em comparação as demais. O conteúdo foi apresentado de maneira que deduções, contextualização histórica, discussões e aplicações foram dosados na medida certa. O aluno tinha que ler com frequência a matéria pois propostas de exercícios para entregar aconteceram em quase todas as aulas. Os exercícios eram realizados em pequenos grupos e creio que isso otimizava o tempo, de tal forma que vários assuntos foram matérias de outras cadeiras já tinham sido vistos em Física Geral III. Outro fato que acho notável é que nas corriqueiras perguntas que surgem nas cadeiras mais avançadas, onde os professores querem saber o domínio dos alunos de certos tópicos de física básica, a parte que diz respeito a Física Geral III são as mais prontamente respondidas. E para mim o principal foi que o professor, ao contrário da tendência atual, se preocupou mais com o fluxo aprender - ensinar ao invés de se esforçar simplesmente no testar. “

Aluno D – Estudo 2

“Em meados do segundo semestre de 2012, iniciei os estudo na disciplina intitulada "Física 3". Já sabia do que se tratava o assunto de estudo e estava ansioso para o começo. No tocante das minhas expectativas, ela seria um tanto quanto diferente àquelas que a precederam, e de fato o foi. O que veio antes era o início da física contemporânea, com o estudo de forças, da filosofia de Newton. Não que desenvolvimentos teóricos de dois mil e meio anos atrás não tivesse começado algum tipo de ciência, no entanto, a revolução ou então, marco, veio com o mestre da maçã. A cadeira posterior ainda trata dos desenvolvimentos de dinâmica, e todo o conteúdo seguia passo por passo tudo que Newton começou. Logo, apesar de antever que o estudo da eletricidade e magnetismo se tratava de um "campo novo" de estudo, já tinha em mente que o terceiro curso só seria uma nova etapa. Todavia, me surpreendo, não pelo conteúdo, mas como ele foi dado. Pela primeira vez na graduação, um pouco de filosofia surge antes de bruta teoria, o que incorpora o pensamento do aluno e o prepara para atacar o pensamento, criando uma boa linha de raciocínio. E a cada final de aula, os exercícios para sedimentar o que foi visto. O emprego de mapas conceituais destacava os pontos importantes e dava um fluxo no desenvolvimento das ideias e conteúdo. O textos de cada aula eram ricos na tentativa de apresentar algo que estimulasse a intuição dos graduandos, algo fundamental na pesquisa. Talvez, com toda essa dinâmica pedagógica, o que foi mais interessante se fez na apresentação da matéria "de trás para frente", ao qual incita ainda mais pontos não evidentes ou ainda, não fáceis de intuir caso a matéria seguisse o ritmo tradicional. Todos esse elementos culminaram em um jeito novo e estimulante de aula. Só tenho a agradecer o conhecimento que me foi proporcionado.”

Aluno A – Estudo 2

“As aulas com o Professor Glauco foram muito boas, pois além de serem divertidas, aprendi muito com ele. O método de ensino que ele adota era muito bom, já que éramos estimulados a discutir sobre os assuntos abordados, realizando um trabalho sobre tais assuntos ao final de cada aula. Isso me estimulou bastante a pensar, me fazendo aprender muito mais. Suas avaliações eram extremamente coerentes com suas aulas e listas de exercícios.”

Aluno B – Estudo 3

“Fazendo uma ‘breve’ análise do curso de Física III, poderia destacar que o curso foi muito bom e bem produtivo, pois acredito que todos os alunos obtiveram um bom desempenho, principalmente ao compararmos com os cursos de física anteriores (Física I e II), é lógico que os alunos que se dedicaram mais aprenderam mais, porém isso é uma questão de consciência do aluno, por exemplo, muitos alunos (cerca de 85%) reprovaram em Física I com o prof. Petrucci (nome fictício), sem querer colocar em questão a capacidade do professor, mas a metodologia utilizada no curso foi simplesmente DESESTIMULANTE. Cara, o curso foi o halliday inteiro em slides, e tome leitura de slides, slides, slides... e o cara ainda fala que é normal 90% da turma reprovar com ele em física. Física II foi bem melhor, aulas bem dinâmicas, práticas e nada de leitura de slides, um fato que achei interessante foi que todas as aulas o professor redigia um texto sobre a matéria e no final da semana pedia para algum aluno digitar, e aos poucos foi montando uma apostila que servia para estudarmos para as provas juntamente com as listas de exercícios que ele passava, dividia a turma em equipes para ir resolver questões da lista no quadro e depois passava algumas questões da lista na prova, além disso também apresentávamos seminários. Agora Física III foi muito bom por que deu uma sequência lógica em termos de metodologia inteligente, pois estimula o aluno a estudar, as aulas são bem dinâmicas e explicativas, sendo assim a aula não fica chata e também não são aulas longas, no final temos as tarefas o que são muito importantes para verificar o aprendizado na aula, se não tivéssemos as tarefas acredito que o desempenho dos alunos seria bem menor por que o que acontecesse é que a grande maioria deixa para revisar o conteúdo dias antes da prova (falo pelos outros e por mim também), fazendo as tarefas estamos sempre revisando e exercitando, e essa é uma prática que eu pretendo seguir nas outras disciplinas, aliás já havia feito isso várias vezes nos períodos anteriores porém a porcaria da preguiça atrapalha e sempre paro, mas agora vou retomar essa didática. Também acho interessante passar listas de exercícios antes das provas, pois ajuda bastante no estudo.

OBS:

As tarefas são uma jogada de mestre por que deixa os alunos que tem preguiça em uma ‘sinuca de bico’, por que querendo ou não o aluno tem que chegar cedo, prestar atenção na aula e fazer as tarefas, ou então não aprende nada direito.

Também gostei da utilização de mapas conceituais no ensino de física, embora o senhor não tenha feito nenhum mapa conceitual em sala (não que eu lembre), mas nos deu base e informações necessárias para fazermos, é muito interessante, pois podemos fazer o resumo de um curso completo em apenas um mapa conceitual, mas é claro que para isso devemos conhecer bem o conteúdo.

Só tenho a agradecê-lo pelos ensinamentos, e parabenizá-lo pelo excelente trabalho, e finalizar o email (que de breve não teve nada) por aqui porque o senhor deve estar de cansado de ler isso hahaha.”

Aluno D – Estudo 3

“Do curso: Gostei da ideia do diagnóstico da turma pra adaptar as aulas ao que a gente sabia (ou não) |-| Bom material didático... Excelente pra revisar conteúdo. |-| Gostei dos exercícios, forçam a aprender ao longo do curso e não perto das provas. |-| Gostei do 'apelo' conceitual porque às vezes (mesmo conseguindo calcular) minha leitura dos fenômenos é 'capenga'... |-| A parte de laboratório precisa melhorar... |-| Da metodologia: a melhor que já vi em curso de física. |-| sempre acho frustrante avaliação em momentos estanques... levar em conta o processo dá mais trabalho (pra todo mundo) mas é mais produtivo em todos os aspectos. |-| Aprendizado: - Não costumo aprender física nas aulas (em geral tenho a impressão de que tudo é novo quando estudo pelo livro... mas isso deve ser problema meu e não das aulas)... Só estudando em casa (perto das provas). Dessa vez os exercícios tornaram a coisa mais 'leve' e 'progressiva' eu acho (usei melhor o tempo em sala) ... Acredito que vou 'carregar' o que aprendi por mais tempo.”