

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**JÊNIFER ANDRADE DE MATOS**

**APRESENTANDO CONCEITOS DO MOVIMENTO DE QUEDA DOS CORPOS NO  
ENSINO FUNDAMENTAL ATRAVÉS DE UM APORTE HISTÓRICO E  
EPISTEMOLÓGICO**

Porto Alegre

Out/2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE FÍSICA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**JÊNIFER ANDRADE DE MATOS**

**APRESENTANDO CONCEITOS DO MOVIMENTO DE QUEDA DOS CORPOS NO  
ENSINO FUNDAMENTAL ATRAVÉS DE UM APORTE HISTÓRICO E  
EPISTEMOLÓGICO**

Dissertação de Mestrado Profissional realizada sob a orientação da Professora Dra. Neusa Teresinha Massoni, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

Out/2016

## **Agradecimentos**

Inicialmente, agradeço à minha mãe, Sandra Jussara, que sempre me incentivou a estudar.

Aos meus irmãos Jáckson, Janine e Jonas, que, por mais que estejam um pouco distantes, sei o quanto torcem por mim.

Ao meu namorado, Lucas por me acompanhar nesta jornada de aprendizagem e ensino de Física.

Às minhas amigas queridas Grazielle, Jaqueline, Josiane e Natacha que me incentivam sempre a encarar os desafios que a vida me proporciona.

À minha tia Maria Izabel por ser quase uma mãe. Obrigada pela torcida e por toda a ajuda que você me proporcionou.

Ao colégio João Paulo I – unidade Higienópolis por ter acreditado no meu trabalho ao permitir a realização das oficinas nos anos de 2014 e 2015.

Ao Giovane, meu primeiro professor de física, atual amigo e colega de profissão. Obrigada por acreditar no meu trabalho e me estimular sempre a crescer como profissional.

Aos meus colegas do mestrado Jader, Luciano Mentz, Douglas, Lisiane, Priscila, Luciano Slovinski, Glauco, Ismael e Fabrizio pelas trocas de experiências durante as aulas e pelos momentos de descontração.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por me proporcionar, novamente, uma formação acadêmica.

À professora Neusa Massoni que, durante a graduação, mostrou-me os encantos da História e Filosofia da Ciência no ensino de Física. Obrigada pela orientação e por ser esta pessoa tão educada e atenciosa com seus alunos!

A todos que torcem por mim!

A vocês meu muito obrigada!

## Sumário

RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUÇÃO .....	8
1.1 Objetivo geral e específicos da proposta .....	10
2. ESTUDOS RELACIONADOS.....	12
2.1. História e Filosofia da Ciência na Educação.....	12
2.2. Relatividade no Ensino Básico .....	17
2.3. Ensino de queda dos corpos no Ensino Básico.....	18
3. REFERENCIAL TEÓRICO E EPISTEMOLÓGICO .....	21
3.1 Referencial teórico.....	21
3.2 Referencial epistemológico.....	26
4. PROPOSTA E ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	31
5. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA .....	36
5.1. Estudo 1: aplicação preliminar (ou aplicação piloto).....	37
Encontro 1: 8 de outubro de 2014.....	38
Encontro 2: 13 de outubro de 2014.....	40
Encontro 3: 22 de outubro de 2014.....	41
Encontro 4: 29 de outubro de 2014.....	43
Encontro 5: 5 de novembro de 2014 .....	44
Encontro 6: 12 de novembro de 2014 .....	46
5.2. Estudo 2: aplicação definitiva da proposta.....	48
5.2.1 Encontro 1 .....	50
Plano de Aula 1 .....	50
Relato do Encontro 1 .....	51
5.2.2 Encontro 2.....	55
Plano de Aula 2:.....	55

Relato do Encontro 2 .....	56
5.2.3 Encontro 3.....	60
Plano de Aula 3:.....	60
Relato do Encontro 3 .....	62
5.2.4 Encontro 4.....	66
Plano de Aula 4.....	66
Relato do Encontro 4 .....	68
5.2.5 Encontro 5.....	71
Plano de Aula 5:.....	71
Relato do Encontro 5:.....	72
5.2.6 Encontro 6.....	76
Plano de Aula 6.....	76
Relato do Encontro 6 .....	77
5.2.7 Encontro 7 .....	82
Plano de Aula 7.....	82
Relato do Encontro 7 .....	83
6. DISCUSSÕES E RESULTADOS .....	88
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	103
8. REFERÊNCIAS.....	107
9. ANEXOS .....	111
ANEXO 1 .....	111
ANEXO 2 .....	114
10. APÊNDICES.....	117
APÊNDICE A .....	117
APÊNDICE B .....	119
APÊNDICE C.....	121
APÊNDICE D.....	123

APÊNDICE E .....	126
APÊNDICE F .....	127
APÊNDICE G.....	133
APÊNDICE H.....	134
APÊNDICE I .....	135
APÊNDICE J: Produto Educacional.....	138

## RESUMO

Este trabalho relata a aplicação de uma proposta didática para introduzir a Física no Ensino Fundamental através do estudo do movimento de queda dos corpos. Este fenômeno foi tratado através de três distintas teorias (Aristóteles, Física Clássica e Einstein) tomadas como sucessivos paradigmas na História da Física, o que possibilitou a discussão explícita também de aspectos epistemológicos. A proposta foi aplicada duas vezes, nos anos de 2014 e 2015, com alunos do Ensino Fundamental em formato de oficina, no turno inverso ao das aulas regulares, no colégio João Paulo I – Higienópolis, em Porto Alegre, RS. O planejamento das atividades baseou-se na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e a atividade científica foi interpretada de acordo com a visão de ciência de Thomas Kuhn (foram debatidos conceitos como paradigma, revolução científica, ciência normal e incomensurabilidade paradigmática).

Ao longo da oficina foram introduzidas, de forma qualitativa, a visão aristotélica, a Teoria Clássica e a Teoria da Relatividade Geral como sendo distintas explicações para o movimento de queda dos corpos. A proposta mostrou-se uma boa alternativa para o ensino de Física de uma maneira diferenciada, conseguindo alcançar alguns conceitos de Física Moderna e Contemporânea com resultados exitosos em ambas as aplicações, no sentido de tornar o primeiro contato dos jovens com a Física uma experiência interessante. Além disso, a proposta tornou possível proporcionar aos alunos uma noção menos ingênua e mais crítica sobre a atividade científica, mostrando a Física como uma ciência viva. No final deste trabalho (Apêndice J), há um produto educacional que mostra a sequência didática, contendo textos e atividades, como sugestão ao professor de Física desse nível de ensino.

**Palavras-chave:** história e filosofia da ciência, queda dos corpos, física no ensino fundamental, epistemologia de Thomas Kuhn.

## ABSTRACT

This work describes the application of a didactic proposal to introduce physics in elementary education through the study of the motion falling bodies. This phenomenon was treated by the study of three different theories (Aristotle's, Classical Mechanics and Einstein's) taken as successive paradigms in the history of physics, which also allowed the explicit discussion of epistemological aspects. The proposal was applied twice in the years of 2014 and 2015, with elementary school students in a workshop format in the opposite shift of the regular classes in the school João Paulo I - Higienópolis, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. The planning of activities was grounded in the meaningful learning theory of David Ausubel and scientific activity was interpreted according to Thomas Kuhn vision of science (concepts such as a paradigm, scientific revolution, normal science and paradigm incommensurability were discussed).

During the workshop the Aristotelian view, the classical theory and the General Theory of Relativity were introduced, qualitatively, as distinct explanations for falling bodies' movement. The proposal proved to be a good alternative to teach physics in a different way, managing to teach some concepts of Modern and Contemporary Physics with promising results in both applications, allowing the first contact of young people with Physics to become an interesting experience. In addition, the proposal proved to be a possible way to provide students a less naive and more critical notion of the scientific activity, showing physics as a science that is continuously evolving. At the end of this study (Appendix J), there is an educational product that shows the didactic sequence used, containing texts and activities, as a suggestion to physics teacher at this level of education.

**Keywords:** history and philosophy of science, falling bodies, physics in elementary school, Thomas Kuhn's epistemology.

## **1. INTRODUÇÃO**

O uso da História e da Filosofia da Ciência no ensino de ciências tem sido recomendado pela literatura da área de Ensino de Física, há décadas, como uma forma de humanizá-lo, mostrando ao aluno que a ciência está em constante transformação (Silveira *et al.*, 2009); que a produção do conhecimento faz uso de uma diversidade de metodologias desmistificando a crença em um “método científico” único, imutável, como uma sequência rígida de passos que levam a leis e teorias verdadeiras (Moreira & Ostermann, 1993); para contextualizar os conteúdos discutidos no ensino de Física e mostrar que existem relações indissociáveis entre as hipóteses e a experimentação, ou seja, a experimentação não tem apenas o papel de corroborar ou refutar teorias (Raicik & Peduzzi, 2013); como forma de mostrar que os conceitos e teorias não são verdades absolutas, imutáveis mas evoluem acompanhando o avanço científico e tecnológico, entre outros aspectos relevantes associados à educação científica mais reflexiva.

Ao aprender ciências através de uma abordagem que apresenta e discute aspectos associados a sua natureza, há a possibilidade de desenvolver o senso crítico dos alunos (Alves & Henrique, 2009), incitando-os a percebê-la não como um processo cumulativo marcado por descobertas de gênios individuais, mas como o resultado de um complexo esforço sócio-histórico, e colaborativo, que abarca hipóteses teóricas, técnicas e valores compartilhados (Kuhn, 2013), erros, criatividade, intuição, etc.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais Complementares - PCN+, ainda que sejam voltados ao Ensino Médio, indicam que é importante que o aluno possa “*compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismos ou certezas definitivas*” (Brasil, 2002, p. 67). Por sua vez, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Fundamental, no volume *Ciências Naturais*, destacam que a introdução de conceitos e dimensões do fazer científico, embora não aprofundada nesse nível de ensino, precisa se dar de forma adequada, evitando a ideia de que ciência se faz por mera acumulação de informações,

mas destacando a importância de heranças históricas, especialmente da Grécia antiga.

O ensino de Ciências Naturais também é espaço privilegiado em que as diferentes explicações sobre o mundo, os fenômenos da natureza e as transformações produzidas pelo homem podem ser expostos e comparados. É espaço de expressão das explicações espontâneas dos alunos e daquelas oriundas de vários sistemas explicativos. Contrapor e avaliar diferentes explicações favorece o desenvolvimento de postura reflexiva, crítica, questionadora e investigativa, de não-aceitação *a priori* de ideias e informações. Possibilita a percepção dos limites de cada modelo explicativo, inclusive dos modelos científicos, colaborando para a construção da autonomia de pensamento e ação. (Brasil, 1997, p.. 22).

Considerando que a introdução à Física é feita aos alunos, em geral, no último ano do Ensino Fundamental, é muito importante que ela seja apresentada de forma a despertar seu interesse pela ciência, contextualizando-a histórica e epistemologicamente e, com isso, permitindo reflexões sobre seu processo de desenvolvimento.

Outro fator importante a ser considerado, especialmente pelos professores de ciências, de Física em particular, e também na formação de professores é que, a despeito do esforço que a pesquisa educacional tem feito nas últimas décadas visando desconstruir visões cristalizadas e ingênuas sobre a ciência, as visões epistemológicas contemporâneas ainda não chegam à sala de aula do Ensino Básico de forma explícita e clara de maneira a despertar curiosidade e reflexões críticas nos estudantes (Massoni, 2010), razão pela qual é relevante desenvolver módulos, estratégias e materiais que possam auxiliar os educadores nessa desafiadora tarefa.

Baseados nessas ideias, desenvolvemos a presente proposta que teve por objetivo aplicar em uma oficina com alunos de 8º ano (antiga 8ª série) do Ensino Fundamental, além de elaborar um material didático para introduzir o estudo dos movimentos – em particular o movimento de queda dos corpos – através de um aporte histórico e epistemológico alinhado à noção da mudança de paradigmas proposta por Thomas Kuhn (Kuhn, 2013).

Nos encontros, durante a aplicação do projeto foram tratadas diferentes teorias explicativas sobre o movimento de queda dos corpos, iniciando pelo paradigma de Aristóteles, passando por Galileu Galilei e Isaac Newton e, de maneira conceitual, chegando a aspectos introdutórios da Relatividade Geral de Albert Einstein. Com isso, esperávamos que os alunos do Ensino

Fundamental tivessem um primeiro contato com a Física de maneira mais motivadora e questionadora.

### **1.1 Objetivo geral e específicos da proposta**

A proposta didática apresentada nesta dissertação visa mostrar que é possível ensinar conceitos de Física relacionando-os com aspectos da História e Filosofia da Ciência (HFC) para alunos de Ensino Fundamental.

Considerando que é nesse momento que os alunos têm seu primeiro contato com a Física, a partir desta ideia, o objetivo da proposta foi oferecer ao aprendiz a possibilidade de ter contato com diferentes interpretações a respeito do movimento de queda dos corpos e aprofundar-se um pouco mais na teoria clássica (comumente vista em sala de aula) com as visões de Galileu Galilei e Isaac Newton, relacionando com aspectos sociais e históricos da época em que viveram. Com isso, o aluno tem a oportunidade de revisar conceitos pré-existentes em sua estrutura cognitiva confrontando-os com os novos conceitos trazidos pelo professor, refletindo tanto conteúdos da Física (de maneira mais detalhada, caso já tenha tido contato anterior), quanto sobre o fazer científico.

Assim, o objetivo geral da proposta foi introduzir conceitos de Física e aspectos da HFC: discutir, de forma conceitual, três diferentes explicações do fenômeno de queda dos corpos desde Aristóteles até Einstein, tomando-as como distintos paradigmas.

Os objetivos específicos foram:

- Aprofundar conceitos de Mecânica (Cinemática e Dinâmica), especificamente sobre o movimento de queda dos corpos, que, em geral, é introduzida no último ano do Ensino Fundamental;
- Discutir alguns aspectos (históricos e metodológicos) da natureza da ciência;
- Apresentar, de forma introdutória, a visão de ciência de Thomas Kuhn, baseada na ideia de substituição de paradigmas;
- Descrever, introdutoriamente, pelo menos alguns aspectos de Física Moderna e Contemporânea, por exemplo, a explicação de Einstein para a queda dos corpos associada à deformação do espaço-tempo.

Como resultado da aplicação desta proposta de mestrado profissional, elaboramos um produto educacional, contendo a sequência de atividades, voltado aos professores de Ensino Fundamental no formato de Texto de Apoio para auxiliar àqueles que se interessam na aplicação de uma intervenção didática que relacione a mecânica com História e Filosofia da Ciência.

## **2. ESTUDOS RELACIONADOS**

O objetivo deste capítulo é apresentar e discutir trabalhos presentes na literatura da área de Ensino de Física e que se relacionam com o conteúdo abordado na presente dissertação. Foram selecionados 18 artigos publicados entre 2011 e 2015, bem como alguns fora desse período por sua relevância na área, que tratam sobre os seguintes temas, tomados como palavras-chave: *história e filosofia da ciência, relatividade no ensino básico e queda dos corpos*. Tais trabalhos foram obtidos nas seguintes revistas eletrônicas: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Revista Brasileira de Ensino de Física, Experiências em Ensino de Ciências, Investigações em Ensino de Ciências e Revista Eletrónica de Enseñanza de las Ciencias*.

Para complementar a relação de trabalhos selecionados com a temática *relatividade no Ensino Básico e queda dos corpos*, foram selecionadas também quatro Trabalhos de Conclusão de Curso do Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Na sequência, passamos a discutir esses trabalhos em subitens que caracterizam os temas por eles tratados.

### **2.1. História e Filosofia da Ciência na Educação**

Com relação à História e Filosofia da Ciência (HFC), notamos uma grande preocupação dos pesquisadores para inserir, de maneira explícita, discussões sobre a natureza da ciência em sala de aula tanto no Ensino Básico quanto no Superior. Desta forma, buscam mostrar ao aluno, por exemplo, que o conhecimento científico possui uma história, que a ciência cria modelos para tentar compreender e explicar a realidade, que a Física possui conexão com o cotidiano e que os conceitos e teorias científicas não são fixos e estáveis (Matthews, 1995).

Há trabalhos com sugestões sobre o tema da HFC (e. g., Francisco Jr., Andrade & Mesquita, 2015), em que os autores propõem debates no Ensino Básico a respeito da representação da atividade científica, tomando como ponto de partida a obra *Ponto de Impacto* de Dan Brown, relacionando com

aspectos históricos. A partir das análises feitas, os autores verificaram imagens distorcidas, como por exemplo, a representação de cientista “nerd”. Por outro lado, verificaram a existência de visões adequadas como, por exemplo, a não neutralidade da Ciência, mostrando o quanto a política e a economia podem influenciar na atividade científica. Estas são boas ideias para a discussão em sala de aula.

Outra proposta que tem grande relação com nosso projeto é a utilização de textos relacionados à História da Ciência, mostrando como o conceito de gravidade mudou com o tempo, abordando os modelos geocêntrico e heliocêntrico, mostrando que os conceitos científicos podem mudar com o tempo (F. Drummond *et al.*, 2015). Além dessas propostas, também vislumbramos a possibilidade de trabalhar a importância do papel da imaginação no pensamento científico. Assim, há propostas que visam explorar o imaginário dos alunos em sala de aula e mostrar que é a partir da representação abstrata que lidamos com a realidade (Gurgel & Pietrocola, 2011).

A partir da seleção de artigos, foi possível notar que a temática HFC já se fez presente no Ensino Superior e em algumas aulas do Ensino Médio tanto na modalidade regular quanto na Educação de Jovens e Adultos (EJA). Para graduandos, há propostas de uso de animações e textos que incentivam questionamentos e reflexões por parte dos alunos – futuros professores de Física – sobre a História e Filosofia da Ciência (Peduzzi, Tenfen, & Cordeiro, 2012). O material foi elaborado para estudantes da disciplina de História da Física na modalidade Educação a Distância. As animações e os textos discutem como alguns conceitos da Física evoluíram com o tempo, como, por exemplo, os de “força” e “movimento”, desde as explicações dos gregos antigos até Galileu Galilei. Além da parte sobre a história da mecânica, o material também contempla a evolução na compreensão do átomo e uma abordagem conceitual e epistemológica da Relatividade elaborada por Albert Einstein.

Outro estudo, realizado com alunos universitários, estudantes do curso de eletromagnetismo do Bacharelado em Física em uma universidade pública, abordou o conteúdo específico de eletromagnetismo ligado a aspectos da História e Filosofia da Ciência. Houve debates em sala de aula, proporcionando

um melhor entendimento de como a Física é feita (Kneubil & Ricardo, 2014) e mostrando que aspectos históricos e epistemológicos facilitam a aprendizagem desses conteúdos de Física.

Monteiro e Martins (2015) também mostram que é possível aprender conceitos físicos a partir do uso de textos com uma abordagem histórica. Nesse trabalho há um relato de uma sequência didática aplicada a alunos de graduação em Física e Geofísica que aborda como o conceito de “inércia” evoluiu no decorrer dos tempos.

Para alunos de Ensino Médio regular, localizamos um trabalho em que duas visões diferentes sobre a origem do universo foram confrontadas. A turma foi dividida em grupos para a realização de um grande debate, possibilitando, dessa forma, o desenvolvimento crítico dos jovens a partir de uma reflexão sobre a natureza da ciência. Os estudantes ficaram surpresos pelo fato de existirem duas teorias que explicam o mesmo fenômeno. Esse trabalho instigou os alunos a participarem e engajarem-se mais nas aulas (Guttmann & Braga, 2015). Além desse trabalho, encontramos outro em que foi possível aplicar, em nível médio regular, uma proposta a respeito do conteúdo de “espectroscopia” em aulas de Física relacionando com a HFC. Essa aplicação complementou o estudo de modelos atômicos vistos em aulas de Química e permitiu discutir aspectos como a evolução dos conceitos físicos, relacionando com os contextos sociais, culturais e científicos de cada época e mostrando que os modelos atômicos são construções humanas. Isso permitiu um olhar mais abrangente para a ciência (Silva & Moraes, 2015).

Outro artigo que localizamos mostra o uso de um texto que aborda as dúvidas de um cientista do século XVIII a respeito do conceito de calor. A partir de uma dinâmica marcada por debates, leituras e elaboração de textos, os estudantes puderam perceber a ciência como uma atividade humana e que o conhecimento científico é provisório, permitindo, desta maneira, que os alunos tivessem uma visão mais realista a respeito do conhecimento científico (Briccia & Carvalho, 2011).

Hygino, Souza, & Linhares (2012, 2013) utilizaram episódios históricos para discutir a natureza da ciência com turmas de Ensino Médio, na modalidade EJA. Uma das estratégias usou a expedição de Couplet ao Brasil, em 1698, que pretendia investigar se a Terra era achatada nos polos. Com

esse trabalho, as visões dos alunos sobre a ciência foram problematizadas. A partir de discussões e reflexões, os estudantes obtiveram uma visão mais adequada sobre a atividade científica. Outra intervenção didática embasou-se nas observações de cometas, no século XVIII, feitas pelo jesuíta astrônomo Valentin Stansel e incitou que os alunos refletissem sobre o desenvolvimento do conhecimento científico e permitiu que pudessem notar que a ciência é uma construção histórica. A partir de uma comparação entre as visões iniciais e finais dos estudantes, os autores verificaram que os aprendizes, na parte final, destacaram a cooperação entre os trabalhos dos cientistas, os debates entre ideias opostas, desenvolvendo uma visão de um avanço não linear da ciência. Com isso, muitos alunos se mostraram mais motivados e confiantes para participar das discussões.

Notamos que as novas propostas de intervenções didáticas que envolvem aspectos históricos e epistemológicos buscam instigar o aluno a construir uma visão mais crítica sobre a ciência. Além disso, alguns trabalhos apontam que os estudantes ficaram mais motivados a participar das atividades. É importante destacar que alguns trabalhos sugerem que possível que os alunos aprendam Física, relacionando com a História da Ciência, como mostraram Kneubil e Ricardo (2014) e Monteiro e Martins (2015).

Assim, o uso de HFC mostra-se como uma abordagem promissora para a melhoria das aulas de Física em diferentes níveis de ensino.

A aplicação do presente projeto foi fortemente influenciada por alguns trabalhos anteriormente citados. Algumas ideias foram retiradas dos textos sobre “força” e “movimento” na época dos gregos (e. g., Peduzzi, Tenfen & Cordeiro, 2012) para a elaborarmos o material que abordava a interpretação de Aristóteles sobre a queda dos corpos. Durante a realização das oficinas, buscamos mostrar aos aprendizes que o conhecimento científico é provisório (Briccia & Carvalho, 2011) e que os conceitos possuem uma história (Matthews, 1995).

Em F. Drummond *et al.* (2015), há uma relação entre história e natureza da ciência e o estudo sobre a gravidade, algo bem semelhante, como já dito, com o projeto aqui descrito. Porém, no artigo citado há um foco maior no movimento dos planetas, mostrando tanto a interpretação dos antigos gregos quanto a da mecânica clássica.

Guttmann e Braga (2015) aplicaram uma atividade na qual grupos de alunos debatiam sobre duas diferentes ideias que explicavam a origem do Universo. A ideia do debate foi baseada em um trabalho que fez uso de julgamento simulado para os alunos refletirem aspectos da HFC. Com essa dinâmica, os discentes mostraram uma atitude proativa ao irem em busca de informações para a realização do júri simulado (Braga, Guerra & Reis, 2002 *apud* Guttmann & Braga, 2015).

Atividades que envolvem o debate e a comparação entre distintas teorias científicas são extremamente importantes na formação de estudantes mais críticos e que compreendam a ciência como uma atividade humana em constante evolução.

Uma atividade similar foi utilizada nas oficinas que compõem o presente trabalho, em que os estudantes foram incitados a comparar as ideias de Aristóteles àquelas da Física Clássica para compreender e explicar a queda dos corpos e, posteriormente, às ideias propostas por Albert Einstein. Nossa estratégia distingue-se da proposta por Guttmann e Braga (2015) pelo fato de que havia, no final, um grupo de estudantes encarregado pelo julgamento (júri simulado) a respeito de qual teoria foi melhor defendida pelos grupos para descrever o fenômeno de queda dos corpos, sendo, assim, semelhante à atividade realizada por Braga, Guerra e Reis (2002), em que a turma foi dividida em três grupos: promotoria, defesa e corpo de jurados para julgar se “o desenvolvimento da ciência foi atrasado ao longo da Idade Média” (*ibid.*, p. 9).

Ainda que a presente revisão não seja aprofundada diante da grande quantidade de artigos que abordam a HFC no ensino de ciências, não se verificou a aplicação no Ensino Fundamental.

Desta forma, notamos que é relevante estudar e aplicar situações didáticas envolvendo a natureza da ciência, principalmente, quando os alunos iniciam seus estudos de Física, que ocorre no último ano do Ensino Fundamental, como é defendido neste trabalho de mestrado profissional, visando mostrar uma Física mais estimulante.

## 2.2. Relatividade no Ensino Básico

A segunda parte desta revisão refere-se ao estudo da Relatividade no Ensino Básico. Há muita preocupação, tanto na formação de professores quanto na inserção de assuntos ligados à Física Moderna e Contemporânea na sala de aula do Ensino Médio com vistas a uma educação científica para a formação cidadã. Mas, como já exposto, defendemos que esse cuidado precisa começar quando a Física é apresentada ao alunos, no Ensino Fundamental, especialmente visando evitar que construam visões inadequadas sobre a disciplina de Física.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais Complementares (PCN+) orientam que é necessário compreender como a Física Moderna e a tecnologia influenciam nossa maneira de interpretar o mundo.

Compreender formas pelas quais a Física e a tecnologia influenciam nossa interpretação do mundo atual, condicionando formas de pensar e interagir. Por exemplo, como a **relatividade** ou ideias quânticas povoam o imaginário e a cultura contemporânea, conduzindo à extrapolação de seus conceitos para diversas áreas, como para a Economia ou Biologia. (Brasil, 2002, p.68, **grifo nosso**).

Uma vez que esse conteúdo é difícil de ser ministrado devido à dificuldade de abstrair e de realizar experimentos, há a necessidade de formação continuada para professores de Ensino Médio (e Fundamental) sobre tópicos de Relatividade, com o objetivo de proporcionar uma reflexão sobre as práticas didáticas (Nicolau, Brockington & Sasseron, 2011).

Outro ponto importante que a literatura mostra é que, em muitas situações, há professores com formação em Matemática (ou outras especialidades) que ministram aulas de Física e estes possuem dificuldades com o conteúdo de Física Moderna (especialmente com a Relatividade). Para enfrentar tal dificuldade, uma possibilidade é a realização de seminários e oficinas, tanto para professores quanto para alunos de Ensino Médio. Essas atividades podem proporcionar uma maior aproximação entre dos conceitos de Física Moderna com o cotidiano e despertar o interesse dos estudantes para assuntos relacionados à área das ciências exatas, além de fornecer uma formação continuada aos professores (Vicentini *et al.*, 2011).

Com relação a aulas ou cursos sobre Relatividade Especial, dedicados especificamente a alunos de Ensino Médio, alguns autores defendem que é possível proporcionar uma articulação da Física com aparatos tecnológicos, como é o caso da produtiva relação com o GPS (Sistema de Posicionamento Global) (Rodrigues, Sauerwein & Sauerwein, 2014). Animações em *Flash* para introduzir esses conceitos também se mostram como possíveis abordagens (Castilho, 2005).

Em Wollf (2005) há relação do conteúdo com a História da Ciência, desde a Física de Aristóteles até a construção das ideias relativísticas de Albert Einstein, em 1905. Nesse material há uma parte dedicada à Relatividade Geral, explicitando que ela serve para abordar referenciais não inerciais e destacando, também, que é a base (atualmente) para as teorias que buscam explicar o universo. A partir dessa abordagem, o autor verificou que os alunos tiveram uma melhor compreensão da Teoria da Relatividade.

Silva, Andrade e Nobre (2012) aplicaram alguns conteúdos de Física Moderna, como aspectos da Teoria da Relatividade Restrita e Geral, relacionando-os com a História e Filosofia da Ciência com o objetivo de mostrar aos educandos que a Ciência está em constante transformação.

A partir dos trabalhos anteriormente citados, foi possível verificar o uso de articulações da História da Ciência (Wollf, 2005), História e Filosofia da Ciência (Silva, Andrade & Nobre, 2012; Peduzzi, Tenfen, & Cordeiro, 2012) com o ensino de Relatividade, que foi um dos temas abordados introdutoriamente no presente trabalho de mestrado.

Por outro lado, ainda que tenhamos examinado um número reduzido de trabalhos, notamos, uma vez mais, que tais conteúdos não foram abordados no Ensino Fundamental. A ideia pode parecer ousada, mas buscaremos mostrar que é possível de realizar, como será narrado nos capítulos que se seguem.

### **2.3. Ensino de queda dos corpos no Ensino Básico**

A última parte da revisão aborda o ensino do fenômeno da “queda dos corpos” como motivador inicial e como introdução aos estudos da Física no Ensino Básico, com foco no Ensino Fundamental.

Existe uma sugestão de modelagem (utilizando o programa *Modellus*) do plano inclinado proposto por Galileu Galilei, na obra *Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências*, cuja abordagem facilita a investigação da lei da queda dos corpos e também dos tipos de movimentos, por parte dos alunos de Ensino Médio (Ribeiro Junior, Cunha & Laranjeiras, 2012).

A partir da busca sobre a temática “queda dos corpos” foi possível verificar a existência de trabalhos que tratam da aplicação deste conteúdo para alunos de Ensino Fundamental, Médio Regular e Médio integrado ao Ensino Técnico.

Em Silveira Junior e Arnoni (2013) é apresentada uma intervenção didática em que alunos de séries iniciais realizam atividades experimentais aliadas a uma metodologia de problematização. A dinâmica possibilitou que os aprendizes compreendessem a importância do formato dos corpos durante a queda (com a presença do ar).

Para alunos do 1º ano de Ensino Médio regular, Kemper (2008) mostra que é possível abordar conceitos de mecânica, como a queda dos corpos, utilizando Astronomia e aspectos da História e Filosofia da Ciência como motivação ao estudo. Nessa proposta, foi trabalhada desde a Mecânica de Aristóteles até a Mecânica Clássica e foram realizados experimentos sobre a queda dos corpos em meios resistivos. A partir disso, foram enunciados a Lei da Queda Livre e Movimento Uniformemente Variado, relacionando-os com o trabalho de Galileu, em 1604. O autor obteve que, depois de algumas aulas, a maior parte dos alunos conseguiu responder questões sobre movimento com forças resistivas e ausência de força.

No trabalho de Rosa (2012) o objetivo era ensinar a relação entre “força” e “movimento” a alunos de Ensino Médio que cursavam técnico integrado em informática. Nessa aplicação também foi usada a história da mecânica para trabalhar a queda dos corpos, tanto em meios resistivos quanto no vácuo. Além disso, a proposta utilizou o *software Modellus* para que os alunos verificassem a mudança no módulo da velocidade de um objeto lançado verticalmente para cima. Os resultados mostraram que a maior parte dos alunos entendeu a relação entre “aceleração” e “velocidade” quando o sentido dos vetores são iguais, e quando são diferentes.

Estas duas últimas propostas assemelham-se com as oficinas descritas neste Trabalho de Conclusão de Curso, pois tanto Kemper (2008) quanto Rosa (2012) mostraram que é possível inserir a História da Ciência em aulas sobre o movimento de queda dos corpos. Há outro aspecto semelhante em Kemper (2008) que relaciona aspectos históricos com a Filosofia da Ciência para refletir sobre a natureza da ciência, buscando tornar o ensino de Física mais reflexivo, questionando e tentando transformar concepções ingênuas sobre o processo de construção do conhecimento científico.

Desta forma, os trabalhos reforçam nossa ideia inicial de resgatar a História da Ciência, ou seja, discutir explicitamente diferentes explicações que surgiram em diferentes épocas sobre a queda dos corpos e usar Filosofia da Ciência (através da visão paradigmática de Kuhn) como aliados no processo de ensino e aprendizagem de conteúdos introdutórios de Física, no nosso caso especificamente sobre o movimento de queda dos corpos.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO E EPISTEMOLÓGICO**

Assumimos no presente trabalho dois aportes: um teórico de aprendizagem (a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel), e outro de cunho epistemológico (a visão de Thomas Kuhn). Destacamos que existem muitas visões sobre a natureza da ciência, algumas divergentes entre si, mas optamos por trabalhar explicitamente as ideias de Kuhn por entendermos que os três momentos históricos abordados em nossa oficina para desenvolver o assunto “queda dos corpos” seriam mais facilmente compreendidos pelos jovens através do conceito de paradigmas, e da noção de substituição de paradigmas que ocorre na história da ciência.

#### **3.1 Referencial teórico**

Como mencionado, o referencial teórico que deu suporte à presente proposta e à execução deste Trabalho de Conclusão baseou-se na teoria da *Aprendizagem Significativa* de David Ausubel.

Ausubel é um representante do cognitivismo, ou seja, sua teoria parte da ideia de que existe uma estrutura cognitiva como um sistema na mente do aprendiz em que são armazenadas e relacionadas às informações. Para Ausubel, o cérebro humano é formado por uma hierarquia conceitual, onde elementos específicos são ligados a conceitos genéricos. (Moreira, 2014, p.161).

*Aprendizagem Significativa* é caracterizada como um processo em que a nova informação relaciona-se de maneira não arbitrária e não literal com algum conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Para Ausubel, o indivíduo aprende a partir dessa interação do novo conhecimento com aquele já existente na sua estrutura cognitiva e essas ideias já existentes são denominadas *subsunções*. (*ibid.*, p.161, 2014). A partir dessa relação (que deve ser não arbitrária e não literal, como já dito) ambos os conhecimentos adquirem novos significados (Moreira & Veit, 2010) e a estrutura cognitiva é enriquecida e organizada.

É importante destacar que, para Ausubel, a predisposição do aluno para aprender é um fator importante para que o novo conhecimento se relacione de

maneira não arbitrária e substantiva (não ao pé da letra) com aquilo que o aprendiz já sabe (Moreira & Veit, 2010, p. 40). Desta forma, uma ideia vista pela primeira vez de maneira simbólica se relaciona com algo já presente na estrutura cognitiva como um conceito, uma imagem, um símbolo, por exemplo, que já são claros, relevantes para o sujeito.

Por outro lado, como adverte Ausubel, quando não ocorre interação entre o novo conhecimento e algum *subsunçor*, ou seja, quando o indivíduo apenas armazena a nova ideia na sua estrutura cognitiva, dizemos que ocorreu uma *aprendizagem mecânica*. Para este caso, podemos considerar que o que acaba ocorrendo é a memorização de fórmulas e conceitos. É importante notar que quando os assuntos são totalmente novos para o estudante não há outra saída senão começar com a aprendizagem mecânica e ir diferenciando até que este tipo de aprendizagem possa, com o tempo, transformar-se em aprendizagem significativa, desde que ocorra uma interação não arbitrária da nova informação com subsunçores que foram construídos na sua estrutura cognitiva.

De acordo com David Ausubel, o fator mais importante para a *aprendizagem significativa* é aquilo que o aprendiz já sabe, assim é necessário que o professor identifique tais informações e ensine a partir delas (Moreira, 2014). Nesse sentido, a aplicação deste projeto de mestrado procurou partir de conceitos presumivelmente conhecidos pelos alunos do Ensino Fundamental em seu cotidiano e também construídos em estudos anteriores (ciências no Ensino Fundamental). Para tal, aplicamos um questionário inicial buscando levantar suas concepções sobre aspectos da Natureza da Ciência e desenvolvemos (no primeiro Encontro) um diálogo para identificar conceitos que os alunos já conheciam sobre o tema trabalhado, isto é, a queda dos corpos.

Para Ausubel, os novos conhecimentos são adquiridos por processos de *assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa* (ou *integradora*). À medida que ocorre interação efetiva entre a antiga ideia (mais inclusiva) e da nova ideia potencialmente significativa dá-se a *assimilação*. Como resultado, a estrutura cognitiva do aluno fica mais organizada e diferenciada. Essa interação permite que tanto o novo conceito quanto o conhecimento prévio sofram modificações.

Podemos considerar o conceito de “força nuclear” como exemplo do processo de assimilação. Para o aluno aprender tal ideia é necessário que já conheça o conceito de força. Assim, a força nuclear (novo conhecimento) será assimilada através do conceito de força (mais inclusivo) e já presente na estrutura cognitiva do aluno. Por outro lado, a ideia de força será modificada, uma vez que ele perceberá que forças também podem ser de curto alcance, no caso a força nuclear (*ibid.*, 2014, p.166).

No caso do presente trabalho, podemos considerar a noção de “queda dos corpos” como um conceito já bem estabelecido na estrutura cognitiva do estudante e que interagirá com conceitos novos como a interpretação aristotélica e relativística, permitindo um enriquecimento do conceito inicial.

Conforme visto anteriormente, quando o novo conceito se relaciona com o subsunção este também se modifica. No momento em que esse processo de assimilação ocorre uma ou mais vezes, acontece o que Ausubel denomina de *diferenciação progressiva* (*ibid.*, 2014, p.168). Esta etapa caracteriza-se pela preocupação que o professor precisa ter de começar apresentando aos alunos ideias mais gerais vistas, em um primeiro momento, como uma visão geral do assunto, e, na sequência, diferenciando-as com mais detalhes. Podemos entender esse processo partindo da ideia de que a organização cognitiva do indivíduo é formada por uma hierarquia conceitual, onde ideias inclusivas e gerais estão no topo e servem de ancoragem para os conceitos menos inclusivos e mais diferenciados (Moreira, 2014, p.169). Para a aplicação deste trabalho, podemos começar com o conhecimento cotidiano da queda dos corpos que os alunos vivenciam e que possivelmente foi enriquecido nas aulas de ciências e, a partir disso, mostrar as diferentes teorias que explicam o fenômeno com mais detalhes: a aristotélica, a Mecânica Clássica e a relativística.

Outra etapa que é complementar a esse processo é a *reconciliação integrativa* (ou *integradora*), quando, então, são mostradas diferenças e semelhanças entre os conceitos mais gerais e aqueles mais específicos, modificando a estrutura cognitiva do indivíduo. Isso pode significar, por exemplo, que ideias mais gerais são adquiridas a partir da *assimilação* com conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Para que este mecanismo seja possível, Novak (colaborador de Ausubel, *apud* Araujo, 2005,

p. 67) propõe que se deve começar com conceitos mais gerais, como já mencionado, e mostrar possíveis relações com os mais específicos; em seguida, volta-se ao mais geral, dando a ele novos significados. Nesse caso, há a possibilidade tanto da *diferenciação progressiva* quanto da *reconciliação integrativa*.

Para este trabalho, no último encontro foram retomadas as três teorias estudadas sobre a queda dos corpos e, assim, esperamos que o aprendiz tenha este conceito mais enriquecido, a partir do processo de *reconciliação integrativa*.

Assim, a partir de conceitos já conhecidos pelos estudantes (como os de movimento de queda dos corpos, velocidade, aceleração, repouso etc.), apresentamos novas visões, novas explicações, aprofundando e diferenciando o conceito de movimento de queda dos corpos segundo diferentes teorias, que foram propostas em diferentes momentos históricos, como as de Aristóteles, Galileu e Newton e Einstein. Portanto, buscamos promover a *diferenciação progressiva* e a *reconciliação integrativa* dos conceitos fundamentais do movimento de queda dos corpos ao mesmo tempo em que tentamos mostrar que paradigmas científicos são, reiteradamente, substituídos por outros que explicam mais e melhor os fenômenos físicos presentes no universo; que esse processo de substituição ocorre em momentos de crise paradigmática, as chamadas “revoluções científicas” kuhnianas, que representam avanços para a ciência e também novas visões de mundo.

Junto com os conceitos físicos, tivemos a preocupação de passar uma visão mais adequada do fazer científico a partir da visão da Filosofia da Ciência discutida com os alunos. Isso significa que, a partir das ideias levantadas através do questionário aplicado no nosso primeiro encontro sobre a Natureza da Ciência (como, por exemplo, a crença na elaboração de teorias científicas a partir de experimento), preocupamo-nos em mostrar, no decorrer dos encontros subsequentes, novas visões do fazer ciência (por exemplo, a noção de que teoria antecede o experimento).

Para trabalhar com os alunos os conceitos relacionados à Filosofia da Ciência, não podíamos utilizar diretamente discussões teóricas sobre o fazer científico. Era necessário que os alunos tivessem noções básicas sobre a HFC que pudessem servir como subsunçores para os conceitos de *revolução*

*científica, provisoriedade do conhecimento científico* e de que a ciência não precisa ser feita necessariamente a partir da experimentação. Durante as oficinas enfatizamos o contexto histórico no qual as teorias foram desenvolvidas e buscamos discutir com os alunos características epistemológicas sobre o surgimento de cada teoria de forma explícita. Nos últimos encontros estas características foram retomadas para servir como base para a assimilação dos conceitos Kuhnianos.

É relevante notar que, para o referencial teórico assumido neste projeto, o papel do professor é muito importante, pois deve levar em conta o que o aprendiz já sabe, possibilitando as etapas necessárias para que ocorra uma *aprendizagem significativa*. Como complemento, é necessária a elaboração de *materiais potencialmente significativos*.

(...) diz-se que o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo, ou seja, relacionável de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva do aluno e este deve buscar, deliberadamente, relacionar o novo material com aquilo que já sabe (Moreira & Veit, 2010, p. 43).

Todas as etapas das oficinas que compuseram este trabalho buscaram atender aos requisitos da teoria da aprendizagem significativa. Elaboramos e utilizamos textos introdutórios especialmente preparados para esse nível de ensino, assim como promovemos discussões em grupos, debates e a dinâmica do júri simulado, buscando levar os alunos a uma progressividade da aprendizagem do fenômeno da queda dos corpos e também à construção de novas ou mais adequadas concepções sobre a estrutura e complexidade do trabalho científico.

O mapa conceitual apresentado na Figura 1, abaixo, ilustra, de maneira simplificada, as principais ideias associadas à *Teoria da Aprendizagem Significativa* de David Ausubel.

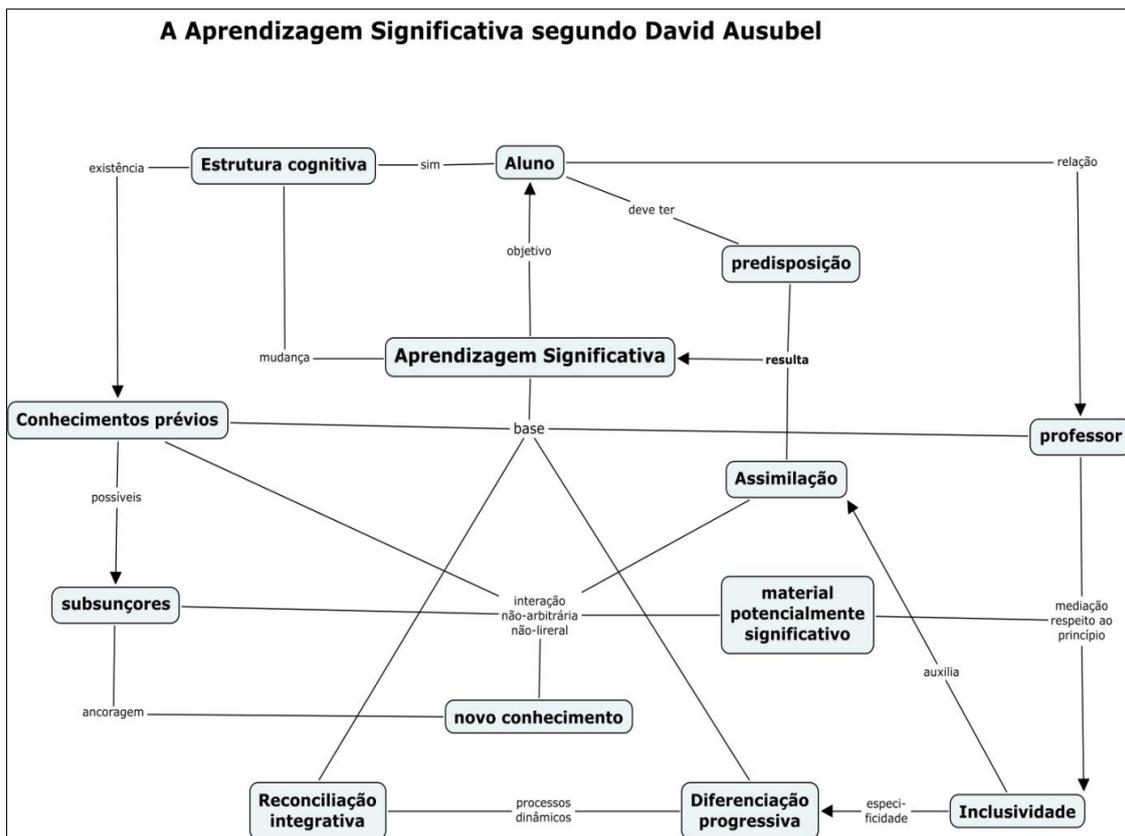


Figura 1: mapa conceitual que ilustra, de maneira simplificada, a teoria da *aprendizagem significativa* de David Ausubel.

Fonte: elaborado pela autora.

### 3.2 Referencial epistemológico

O referencial epistemológico utilizado na aplicação deste trabalho consiste na epistemologia<sup>1</sup> de Thomas Kuhn (2013). Optamos pela visão de Kuhn por entendemos que seria mais facilmente compreendida pelos jovens alunos do Ensino Fundamental em seu primeiro contato com a Física associada a elementos da natureza da ciência. Nosso desejo foi mostrar que essa associação (conceitos físicos sobre movimento dos corpos e a evolução histórica das explicações desse tipo de fenômeno) seria possível de ser feita no Ensino fundamental com bom nível de aproveitamento por parte dos alunos.

<sup>1</sup> Epistemologia da Ciência é o estudo da natureza, abrangência e justificação do conhecimento científico. Contudo, no estudo do conhecimento científico é usual falar-se em Filosofia da Ciência (Moreira & Massoni, 2011, p.9). Neste trabalho assumimos Epistemologia da Ciência e Filosofia da Ciência como sinônimos.

Kuhn propõe que a ciência se desenvolve seguindo as seguintes etapas: *pré-paradigma*, *paradigma*<sup>2</sup>, *ciência normal*, *crise*, *revolução científica*, *novo paradigma* e assim recomeça o ciclo, conforme representado na Figura 2.

### Ciclo representando as ideias de Thomas Kuhn a respeito do desenvolvimento científico

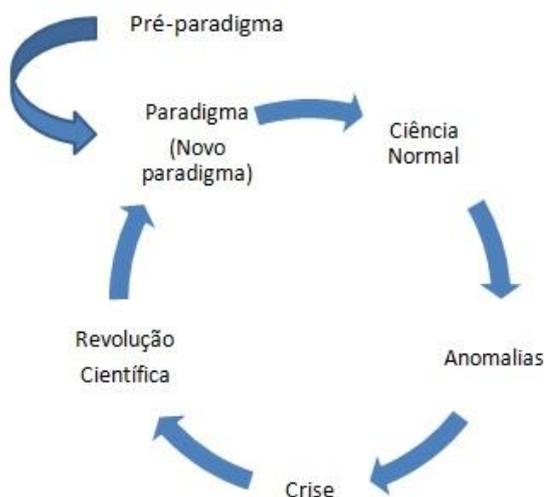


Figura 2: representação do ciclo com as principais etapas que caracterizam o desenvolvimento da ciência de acordo com Thomas Kuhn.

Fonte: elaborado pela autora, inspirado em: <http://www.thwink.org/sustain/glossary/Pre-science.htm>.

A ciência inicia com um período *pré-paradigmático* marcado pela competição entre diversas teorias a respeito de um mesmo assunto. Kuhn cita como exemplo a Óptica Física que se fez presente até o fim do século XVII. Naquela época havia um grupo de cientistas que imaginava a luz formada por partículas que se originavam nos corpos materiais, já outros pensavam que a luz surgia através da interação entre algo vindo dos olhos e o meio, dentre outras teorias. Tal etapa se caracteriza pela não adoção de um único método adotado pelos cientistas (Kuhn, 2013, pp. 74-75). A competição entre teorias pode desaparecer quando uma delas se torna bem sucedida na explicação de determinado conceito, ou de uma determinada classe de fenômenos. Como resultado do sucesso de uma teoria (em relação as suas competidoras), essa se torna um *paradigma* (*ibid.*, 2013, p.80).

<sup>2</sup> Um conjunto de compromissos de pesquisa de uma comunidade científica, além de ser definido como paradigma, também pode ser entendido como matriz disciplinar. (Ostermann, 1996, p.186).

O modelo *kuhniano* propõe que a Ciência é praticada com base em um *paradigma*, que é um conjunto de realizações científicas universalmente reconhecidas por uma comunidade científica durante algum período e fornece um arcabouço conceitual para subsidiar o trabalho científico, um conjunto de técnicas experimentais e teóricas, bem como os problemas e soluções exemplares para os seus praticantes. A adesão a um único paradigma caracteriza uma *ciência madura* e enquanto seus praticantes trabalham orientados pelo “paradigma” praticam o que Kuhn chamou de *ciência normal*.

A ciência normal é guiada por um único paradigma já estabelecido, ou seja, o paradigma vigente que fornece a uma comunidade de cientistas os padrões, as teorias e modelos confiáveis sobre o mundo. O objetivo da ciência normal está na resolução de problemas, de caráter teórico e experimental, ditados pelo paradigma vigente e a pesquisa não está orientada para *trazer à tona novas espécies de fenômenos nem para inventar novas teorias* (Moreira & Massoni, 2011, p. 31).

Kuhn (2013, p. 53) considera como sendo “(...) ‘paradigmas’ as realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência”. A Física de Aristóteles e a de Newton são exemplos de paradigmas que serviram durante algum tempo para definir os problemas, os “métodos” e a estrutura teórica à comunidade científica durante um período de ciência normal, conforme a seguinte afirmação de Kuhn (*ibid.*, 2013, p.71): “... muitos dos clássicos famosos da ciência desempenharam uma função similar (base de pesquisa da ciência normal). A Física de Aristóteles, o *Almagesto* de Ptolomeu, os *Principia* e a *Óptica* de Newton”.

No decorrer do período de *ciência normal*, pode ocorrer divergência entre as previsões do paradigma e a evidência experimental. Cada divergência caracteriza uma dificuldade, um enigma ou anomalia que se impõe ao paradigma. O acúmulo de anomalias sérias e persistentes pode colapsar a confiança no paradigma e resultar em uma *crise paradigmática*.

Quando o paradigma apresenta dificuldades, anomalias sérias e persistentes, este pode entrar em crise. Em algumas situações, a crise pode conduzir à rejeição e substituição do paradigma vigente. Esta descontinuidade na prática científica é chamada por Kuhn de *revolução científica*. Durante a

crise podem surgir novas explicações ou teorias com o objetivo de salvar o paradigma ou, então, começam a aparecer investigações extraordinárias que podem conduzir a um novo conjunto de compromissos – um novo paradigma. Dependendo da crise, a comunidade científica pode optar por trocar de paradigma. Essa mudança descontínua caracteriza, como já mencionado, a *revolução científica*. A substituição de paradigmas é considerada revolucionária, pois um paradigma vigente possui forte influência sobre a Ciência (Moreira & Massoni, 2011, p. 33). A partir das chamadas *revoluções científicas* que ocorreram no processo histórico, podemos notar que o conhecimento é provisório e seria um erro ensinar as teorias científicas como algo definitivo (Ostermann & Cavacanti, 2011, pp. 56-57).

A troca de paradigmas acaba por introduzir visões de mundo muito diferentes, como no caso da substituição da mecânica newtoniana pela Teoria da Relatividade de Einstein. Na teoria de Newton, o tempo e o espaço são absolutos, não existem limites para a velocidade e a atração gravitacional é explicada como uma propriedade característica dos corpos massivos. Já na Teoria da Relatividade de Einstein, o tempo depende do referencial, nenhuma velocidade pode ultrapassar a velocidade da luz no vácuo e a gravidade passa a ser explicada como devida à presença de um corpo massivo que deforma o espaço-tempo.

Os cientistas adeptos a distintos paradigmas veem o mundo diferentemente, descrevem-no com diferentes linguagens e praticam ciência com técnicas e teorias distintas. Kuhn considera que os distintos paradigmas não podem ser comparados, ao que ele chama de incomensurabilidade. Kuhn explica o motivo:

Mas se novas teorias são chamadas para resolver as anomalias presentes na relação entre uma teoria existente e a natureza, então a nova teoria bem-sucedida deve, em algum ponto, permitir previsões diferentes daquelas derivadas de sua predecessora. Essa diferença não poderia ocorrer se as duas teorias fossem logicamente compatíveis. No processo de sua assimilação, a nova teoria deve ocupar o lugar da anterior. (...) O argumento mais sólido e mais conhecido em favor dessa concepção restrita de teoria científica emerge em discussão sobre a relação entre a dinâmica einsteniana atual e as equações dinâmicas mais antigas que derivam dos *Principia* de Newton. Do ponto de vista deste ensaio, essas duas teorias são fundamentalmente incompatíveis (...) (*ibid.*, 2013, pp. 184 –185).

O que Kuhn quer dizer com isso é que a emergência de novas teorias rompe com uma tradição de práticas científicas e introduz uma nova tradição (um novo paradigma), regida por regras diferentes, imersa em um universo de discursos também diferentes.

Além das características apresentadas por Kuhn sobre como a ciência progride, ele defendia que a teoria antecede as observações. Para ele, não existe justificativa lógica para o chamado “método científico” (Ostermann, 1996, pp. 184-185).

As ideias aqui sintetizadas, apresentadas por Kuhn em seu célebre livro intitulado “*A estrutura das revoluções científicas*”, serviram de aporte epistemológico tanto para a elaboração do projeto e dos materiais quanto para o desenvolvimento de nosso trabalho em sala de aula. Ao trabalhar diferentes teorias sobre a queda dos corpos (Aristóteles, Newton e Einstein) estamos, na prática, apresentando três diferentes paradigmas sobre a queda dos corpos, segundo a cronologia histórica.

Este referencial permite aos alunos questionarem sobre o modo como se faz ciência, auxiliando a perceber que as teorias científicas são provisórias e que não existe uma única maneira de trabalhar cientificamente (como proposta pelo “método científico” tradicional). O aluno tem a possibilidade de perceber a ciência como uma construção humana. Além disso, a realização de atividades como júris simulados podem ajudar na percepção de que existem momentos de crise, em que surgem discussões e colocam em cheque o paradigma vigente. Ao optarem por um novo paradigma, isto é, uma nova explicação, durante as discussões (que representam um período crise paradigmática) para a queda dos corpos, os alunos compreendem melhor o processo de *revolução científica* e aprendem significativamente como avança a ciência na visão de Kuhn.

#### **4. PROPOSTA E ASPECTOS METODOLÓGICOS**

A proposta didática descrita neste Trabalho de Conclusão, como já mencionado, buscou introduzir o estudo da Física no Ensino Fundamental de forma diferenciada e interessante, ao mesmo tempo em que visou criar possibilidades para que o aluno construísse uma visão mais ampla, não ingênua a respeito da Natureza da Ciência.

Dessa maneira, foram realizadas duas oficinas no turno inverso para alunos de 8º ano (antiga 8ª série) do Ensino Fundamental<sup>3</sup> de um colégio particular de Porto Alegre – o Colégio João Paulo I, Unidade Higienópolis. A primeira aplicação ocorreu no ano de 2014, foi uma versão teste (aplicação piloto) com o objetivo de preparar uma versão mais aprimorada, que foi aplicada no ano de 2015.

O tema trabalhado foi o movimento de queda dos corpos associado com certos aspectos da HFC, como explicitado nos capítulos precedentes. A realização das oficinas teve por objetivo proporcionar momentos de reflexão e motivação ao estudo da Física, dialogando com a Epistemologia e diversificando as estratégias didáticas. Assim, foram realizados debates, julgamento simulado, reflexões, leituras e discussões de textos previamente preparados e/ou selecionados, interpretação de ideias advindas de vídeos, bem como aplicação de questionários sobre o tema.

Esperávamos que os alunos participantes desenvolvessem uma concepção menos ingênua sobre o fazer ciência, ao perceberem como alguns conceitos vistos na mecânica (especialmente com respeito ao de “movimento de queda dos corpos”) transformaram-se ao longo do tempo, desde a visão de Aristóteles, passando pela Mecânica Clássica até chegar à Relatividade Restrita e Geral (todas trabalhadas de maneira qualitativa e introdutória).

Explicitando um pouco: foi introduzido o estudo dos movimentos através da abordagem da “queda dos corpos” como concebida em três momentos históricos, sócio-culturais distintos: 1º) a visão de Aristóteles (um corpo “grave” cai porque está em busca do seu “lugar natural”); 2º) os fundamentos da

---

<sup>3</sup> O colégio João Paulo I – Unidade Higienópolis teve, em 2014, a última turma de 8ª série. Assim, em 2015, os alunos que passariam para a 8ª série foram para o 8º ano. O interessante é que o plano de ensino deste é o mesmo que o da antiga 8ª série, tendo assim, aulas de Física durante o ano letivo inteiro.

mecânica newtoniana (as Leis de Newton e a queda dos corpos no nosso cotidiano como resultado da força de atração gravitacional exercida pela Terra, que gera um campo gravitacional); 3º) a visão da mecânica relativística (os corpos caem em função da deformação do espaço-tempo). Todas essas foram abordagens qualitativas e introdutórias, pois os alunos do 8º ano do Ensino Fundamental, em geral, não têm ainda uma formulação matemática adequada para permitir um aprofundamento dos conceitos físicos e das relações envolvidas, e também, como vimos na Introdução, os PCNEF (Brasil, 1997) preveem que os conteúdos científicos nesse nível de ensino sejam abordados de forma não aprofundada.

A metodologia por trás das atividades por nós desenvolvidas esteve baseada nos referenciais teórico e epistemológico explicitados anteriormente.

Assim, houve uma preocupação em mapear os conceitos prévios dos aprendizes, uma vez que para Ausubel o novo conhecimento se “ancora” no antigo de maneira não arbitrária e não literal, permitindo que ambos os conhecimentos adquiram novos significados.

Por outro lado, como já foi descrito, é importante que o aluno tenha predisposição para aprender. Este fator pode ter sido contemplado, em parte, uma vez que os alunos aderiram voluntariamente ao projeto e foram até a escola para participar das oficinas no turno da tarde sem que houvesse pontuação extra na disciplina de Física. Além disso, podemos entender que a predisposição dos alunos que frequentaram a maior parte dos encontros pode ter sido favorecida em função das dinâmicas diferenciadas.

A partir das dinâmicas preparadas para as aulas como debates, leituras de textos, questões para responder e júri simulado esperamos que os alunos pudessem relacionar suas ideias preexistentes – os *subsunçores* – com as novas ideias apresentadas permitindo a *assimilação* e, assim, fazendo com que sua estrutura cognitiva ficasse mais organizada, para que o conhecimento antigo e o novo adquirissem novos significados e resultando em uma *diferenciação progressiva* e uma *reconciliação integrativa* na direção de uma *aprendizagem significativa*.

Como objetivo complementar, não menos importante, foram usadas ideias de Thomas Kuhn (2013) associadas aos conceitos físicos para discutir e embasar a noção da ciência como uma “reiterada substituição” de diferentes

visões de mundo, ou paradigmas. Assim fazendo, discutimos conceitos físicos relacionados com o movimento de queda dos corpos e, ao mesmo tempo, fomos mostrando como esse fenômeno foi sendo explicado de diferentes formas ao longo da História da Ciência.

No último encontro com os alunos, apresentamos explicitamente, ainda que de forma introdutória, aspectos relevantes da epistemologia de Kuhn. A partir das três explicações trabalhadas sobre queda dos corpos, foi interpretado o fazer Ciência como um processo de substituição dinâmica de paradigmas, isto é, substituição da teoria vigente por outra que se mostrasse potencialmente bem-sucedida.

Foi dessa forma que interpretamos a substituição da física aristotélica pela Mecânica Clássica como sendo uma *Revolução Científica*. Também foi tratada a ideia de deformação do espaço-tempo para explicar a queda dos corpos, como sendo a troca da Física Clássica pela Teoria da Relatividade para exemplificar outra *Revolução Científica*. Cada substituição paradigmática representou um avanço para a ciência. Além disso, foi enfatizado que a troca de paradigmas é marcada pela *incomensurabilidade*, ou seja, que as teorias são visões de mundo diferentes, não apresentando linguagem comum.

As duas aplicações de nossa proposta ocorreram no turno da tarde para alunos entre 13 e 14 anos de idade que cursavam o 8º ano do Ensino Fundamental e que se mostraram empolgados com a ideia de um módulo de Física no turno inverso. Em uma das aulas regulares de 8º ano comentei, como professora da turma, sobre meu projeto de mestrado e convidei-os a participar.

Os textos utilizados, nas duas versões das oficinas, foram praticamente os mesmos e isso significa que a aplicação de 2015 sofreu poucas mudanças em relação àquela de 2014.

Importa destacar que como o colégio em que a proposta foi aplicada possui um perfil conteudista, achamos conveniente aplicar o projeto em forma de oficinas, no turno inverso, para não interromper o andamento das aulas regulares. As turmas de 8º ano do Ensino Fundamental do Colégio João Paulo I (unidade Higienópolis) costumam estudar o tópico queda dos corpos no segundo trimestre letivo (entre junho e agosto).

A realização das oficinas, que tinha como estratégia incentivar fortemente o debate de ideias e compreensões, necessitava de um tempo mais alongado, visto que em aulas regulares só havia dois períodos semanais dedicados à disciplina de Física para trabalhar os conteúdos previamente programados. Esta foi mais uma razão por que as aplicações ocorreram no período inverso.

No Quadro 1, a seguir, é apresentado o Cronograma de aplicação da proposta no ano de 2015, que corresponde à segunda aplicação.

Quadro 1: mostra como a proposta das oficinas foi organizada.

Encontro	Atividades	Objetivos
Encontro 1	Em um primeiro momento, aplicação de um questionário a respeito da natureza da ciência a ser respondido individualmente. Na sequência, uma discussão no grande grupo abordando conceitos sobre movimento, tempo e queda dos corpos. Em seguida, leitura de um texto introdutório sobre movimentos com questões para serem respondidas de maneira individual para serem debatidas, em seguida, ao grande grupo.	Esta primeira aula tem como objetivo mapear concepções que os alunos possuíam a respeito da natureza da ciência e introduzir o tema dos movimentos na Física, além de possibilitar um debate sobre a queda dos corpos.
Encontro 2	Aplicação de uma adaptação do teste sobre concepções alternativas em mecânica (Silveira <i>et al.</i> , 1992) e apresentação e discussão a respeito da teoria de Aristóteles sobre o movimento dos corpos (especialmente o conceito de lugar natural).	Pretende-se mapear concepções dos alunos sobre mecânica e mostrar que as ideias de Aristóteles são bastante intuitivas e, assim, vigeram durante séculos, devido especialmente ao contexto social e religioso que se seguiu.
Encontro 3	Discussão a respeito dos fundamentos das teorias de Galileu Galilei, como personagem fundamental de uma nova visão de mundo, e visualização de um episódio da série Cosmos a respeito da vida e obra de Newton.	Nesta etapa, pretende-se relacionar as teorias da Mecânica Clássica com o contexto sócio-científico e cultural da época.
Encontro 4	Continuação da discussão e apresentação da teoria de Newton com a realização e debate sobre o teste das concepções alternativas em mecânica. No final do encontro, pretende-se dividir a turma em três grupos visando preparar os alunos para a realização do júri simulado: um grupo para defender as ideias de Aristóteles, outro para defender a mecânica de Newton e um terceiro com a função de ser jurados.	Trabalhar com os alunos um pouco mais dinamicamente sobre as ideias de Newton; alertar que serão analisadas com mais detalhes no Ensino Médio.
Encontro 5	Realização do júri simulado, onde será retomada a divisão dos alunos em grupos: 1) defesa das ideias de Aristóteles; 2) defesa das ideias de Newton/Galileu; 3) jurados. No decorrer da atividade, cada grupo de defesa terá 3 momentos	Neste momento, deseja-se que os alunos desenvolvam uma reflexão a respeito de cada teoria sobre a queda dos corpos e desenvolvam a habilidade de argumentar.

	(acusação, defesa e considerações finais) No final, os jurados se reunirão para decidir qual o foi o grupo vencedor.	
Encontro 6	Visualização de uma parte de um episódio da série Cosmos (temporada 2014) sobre a teoria da relatividade restrita. Em seguida será feita a leitura e discussão de um texto abordando, de maneira qualitativa e introdutória, a teoria da relatividade restrita e geral de Einstein. Assim, pretende-se introduzir uma nova explicação a respeito da queda dos corpos. Além disso, objetiva-se relacionar o conteúdo a respeito da queda dos corpos com aspectos da Filosofia da Ciência de Thomas Kuhn.	Nesta última etapa, pretende-se mostrar ao aluno que a Ciência está em constante transformação. Além disso, visa-se abordar com o aluno a noção de que há teóricos que tentam explicar como se faz Ciência, como no caso de Thomas Kuhn, e que tal reflexão é importante para o desenvolvimento do nosso senso crítico.
Encontro 7	Retomada das três teorias explicativas sobre a queda dos corpos estudadas e aplicação do questionário realizado no Encontro 1 sobre a Natureza da Ciência. No final será realizado um grande debate a respeito do fazer Ciência de acordo com a teoria de Thomas Kuhn e também sobre como os alunos perceberam/receberam as oficinas.	Pretende-se refletir com os alunos a respeito do “fazer ciência” a partir da visão de Thomas Kuhn tomando as três teorias estudadas sobre a queda dos corpos como distintos paradigmas. Pretende-se mostrar para os alunos que a ciência está em constante transformação. Além disso, espera-se um retorno dos alunos a respeito do conteúdo e a maneira como este foi tratado nas oficinas.

Fonte: a autora.

Destaca-se que a aplicação da proposta em 2014, versão piloto, teve seis encontros de 100 minutos cada, aproximadamente. Foi um encontro por semana entre os dias 8 de outubro a 12 de novembro daquele ano. Por outro lado, através da aplicação piloto percebemos a necessidade de colocar mais um dia (com a mesma duração), encontro 7, para a aplicação de 2015, afim de que os alunos pudessem tirar possíveis dúvidas e avaliar a oficina, dando-nos um retorno sobre as atividades. Assim, na segunda aplicação ocorreram sete encontros entre os dias 29 de setembro a 24 de novembro<sup>4</sup> de 2015.

---

<sup>4</sup> Não foi possível realizar as oficinas dos dias 6 e 13 de outubro, já que os alunos estavam ocupados com atividades da Mostra Científica que acontece todo o ano na escola.

## **5. IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA**

Este capítulo, que relata a implementação da proposta pedagógica, foi dividido em duas partes. A primeira refere-se à descrição da aplicação preliminar que ocorreu em 2014. Assim, será dedicado o subcapítulo **Estudo 1: aplicação preliminar** para descrever, de maneira simplificada (sem muitos detalhes) como foram as oficinas na aplicação piloto. Já o subcapítulo **Estudo 2: segunda aplicação** descreverá com mais detalhes a oficina na segunda aplicação, que ocorreu em 2015.

Como especificado no Capítulo 4, a proposta construída neste projeto de Mestrado Profissional tem duplo papel: um primeiro é apresentar a Física de forma atraente e interessante já no Ensino Fundamental discutindo conceitos físicos associados a elementos da História e Epistemologia da Ciência, sendo que a opção adotada foi a visão epistemológica de Thomas Kuhn, de mostrar a ciência (a Física) como um reiterado e dinâmico processo de substituição de teorias paradigmáticas; um segundo objetivo é alcançar alguns conceitos e ideias da Física Moderna e Contemporânea, de forma qualitativa, mas de maneira e construir subsunçores iniciais nos estudantes para compreender teorias mais atuais e também buscando apresentar uma Física mais próxima dos nossos tempos e de nossa tecnologia, mais atraente e, neste sentido, escolhemos a Teoria da Relatividade de Albert Einstein. O Quadro 2 apresentado a seguir oferece uma visão geral da sequência implementada nas duas aplicações descritas neste Capítulo.

Quadro 2: apresenta uma visão geral dos conteúdos trabalhados em cada encontro e os objetivos de aprendizagem que visamos que os alunos alcançassem.

	<b>Conteúdos trabalhados</b>	<b>Objetivos de aprendizagem</b> (oferecer condições para que o aluno possa:)
Encontro 1	Natureza da Ciência, conceitos iniciais de movimento e queda dos corpos.	- pensar sobre algumas questões relacionadas com Natureza da Ciência; - perceber a importância do estudo dos movimentos.
Encontro 2	Teoria aristotélica sobre o movimento de queda dos corpos.	- reconhecer que as ideias de Aristóteles eram bastante intuitivas; - intuir que essas ideias permaneceram vigentes durante séculos, por oferecerem explicações próximas ao senso comum; - questionar suas próprias concepções.

Encontro 3	Interpretação da Física Clássica sobre a queda dos corpos, segundo Galileu Galilei.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reconhecer a importância do contexto social no desenvolvimento científico;</li> <li>- perceber que na época em que viveu Galileu floresceram novas ideias;</li> <li>- relacionar suas ideias para interpretar a queda dos corpos com o contexto da época.</li> </ul>
Encontro 4	Interpretação da Física Clássica sobre a queda dos corpos, segundo Isaac Newton.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- refletir sobre a importância do contexto histórico em que vivia Isaac Newton;</li> <li>- relacionar suas ideias com as de Galileu (e com o contexto social, político, religioso de época);</li> <li>- interpretar a visão da mecânica de Newton para uma nova compreensão da queda dos corpos.</li> </ul>
Encontro 5	Realização do júri simulado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- discutir diferentes paradigmas;</li> <li>- desenvolver habilidades de argumentação;</li> <li>- posicionar-se diante de distintos argumentos (apresentados pelos grupos no jogo do júri simulado);</li> <li>- explicar as duas teorias estudadas sobre a queda dos corpos (visão aristotélica <i>versus</i> Mecânica Clássica).</li> </ul>
Encontro 6	Conceitos introdutórios de Relatividade Especial e interpretação da queda dos corpos de acordo com a Relatividade Geral.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- reconhecer que historicamente houve diferentes explicações para a queda dos corpos;</li> <li>- refletir sobre o contexto em que surgiu a teoria elaborada por Albert Einstein;</li> <li>- identificar essa nova explicação com a ideia de paradigma;</li> <li>- intuir que se tratou de uma nova compreensão da mecânica, uma nova visão de mundo e um avanço para a ciência.</li> </ul>
Encontro 7	Visão do fazer Ciência de acordo com Thomas Kuhn relacionando com as três teorias sobre a queda dos corpos e fechamento da oficina.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comparar as três diferentes teorias para explicar a queda dos corpos;</li> <li>- refletir que, de acordo com Thomas Kuhn, a Ciência desenvolve-se através de <i>revoluções científicas</i>;</li> <li>- perceber que cada revolução científica representa uma troca de explicações (mudança teórica e metodológica);</li> <li>- intuir que essas explicações são incomensuráveis.</li> </ul>

Fonte: a autora.

### 5.1. Estudo 1: aplicação preliminar (ou aplicação piloto)

Como já explicitado, este subcapítulo tem por objetivo mostrar, de maneira simplificada, como foi realizada a oficina de 2014 que serviu como piloto para a aplicação definitiva que ocorreu no ano de 2015.

A aplicação ocorreu no Colégio João Paulo I – Unidade Higienópolis, em Porto Alegre, RS, no ano de 2014, período em que eu era a professora de Física da única turma de 8ª série do Ensino Fundamental. Os alunos desta série costumam estudar o conteúdo de queda dos corpos no segundo trimestre letivo (entre junho e agosto), porém de maneira qualitativa, sem formulação matemática muito aprofundada.

Em uma das aulas, falei da proposta e convidei a turma para participar da oficina que aconteceria no turno da tarde, e entreguei uma autorização para cada aluno destinada aos pais ou responsáveis visando obter seu consentimento. Embora eu considerasse que o material para implementar a oficina não estava plenamente concluído naquele momento, a empolgação dos estudantes levou-me a tentar uma aplicação piloto. Foi interessante notar que uma das alunas me disse que tinha muita vontade de participar, contudo, como ela fazia curso preparatório para ingressar em uma escola militar no turno da tarde, não poderia comparecer, mas mobilizaria a turma para me ajudar no trabalho do mestrado.

Assim, a aplicação piloto ocorreu entre os dias 8 de outubro a 12 de novembro daquele ano com um encontro semanal de 100 minutos cada, totalizando seis encontros. Participaram, em média, sete alunos entre 13 e 14 anos. Os nomes foram trocados (de maneira aleatória) por personagens da turma de Charlie Brown para não identificar os alunos.

#### *Encontro 1: 8 de outubro de 2014*

No primeiro encontro, comentei com os alunos que o principal motivo da realização da oficina seria introduzir o tema queda dos corpos de uma maneira diferenciada, relacionando-o à História e Filosofia da Ciência. Além disso, solicitei que participassem ativamente, perguntando e questionando, sempre que necessário, pois os conceitos que eles tinham eram importantes para o andamento da oficina. Em um primeiro momento, apliquei um teste inicial para saber quais as concepções que eles traziam a respeito do “fazer ciência”, que pode ser visto no Apêndice A.

Na sequência, coloquei algumas questões para que, em um primeiro momento, eles pensassem: 1) *Como se caracteriza o movimento? Como sabemos se um objeto está em movimento?* 2) *O que é tempo? A partir de quando faz sentido iniciar a contagem do tempo?* 3) *Por que os corpos caem?* Essa turma gostava de interagir. Assim, era preciso pedir um pouco de calma a eles, já que todos queriam expor sua opinião.

Os alunos falaram sobre a mudança de posição no decorrer do tempo e expressaram que o movimento poderia ser relativo dependendo do referencial. Para a segunda questão, apareceram algumas ideias bem interessantes. O aluno Linus fez referência aos povos pré-históricos, dizendo que naquela época já existia tempo; Patty comentou que o tempo da colega era diferente, já que ela era judia, fazendo referência à diferença dos calendários judaico e cristão. Para complementar o debate, questionei se o tempo passava igual para todos, ou seja, se era absoluto. Marcie respondeu prontamente que não, pois a mãe dela tinha dito que, quando criança, parecia que o tempo passava devagar e, na vida adulta, é uma correria. A resposta para a última questão (*por que os corpos caem?*) foi unânime, uma vez que já tinham estudado conceitos de Física Clássica (leis de Newton), todos responderam que era por causa da força da gravidade.

A última etapa desse encontro foi marcada por uma atividade de leitura de um texto intitulado *Matéria e energia duas faces da mesma moeda*, que corresponde um capítulo do livro *Breve Storia dell'atomo* (Staguhn, 2011), (Anexo 1). No fim do texto havia duas questões de fixação e a última relacionava-se com a primeira Lei de Newton: 1) *O que foi (como você explicaria) a teoria do Big Bang?* 2) *De acordo com o texto, quando surgiu o tempo?* 3) *a frase: "Qualquer corpo tende a permanecer no estado em que está" relaciona-se com qual lei de Newton?*

De maneira geral, os alunos não tiveram dificuldades para responder às questões e finalizei a aula agradecendo a presença de todos e solicitando que, se possível, não faltassem, já que os próximos encontros estavam diretamente relacionados com as discussões que tínhamos iniciado.

Foi possível verificar as respostas do questionário sobre Natureza da Ciência depois da finalização do encontro. Em linha geral o teste mostrou que a maior parte dos estudantes acreditava que as leis da Física são obtidas a partir

de observações e que existe um único método para se fazer ciência. Por outro lado, foi interessante notar que o grupo foi praticamente unânime ao discordar que dois cientistas ao observar o mesmo fenômeno devem, necessariamente, chegar às mesmas conclusões. Algumas questões centrais do teste foram sendo retomadas nos encontros seguintes.

#### *Encontro 2: 13 de outubro de 2014*

No segundo dia de oficina, apliquei aos alunos um teste adaptado para levantar suas concepções sobre força e movimento (Apêndice C). Após realizarem o teste, entreguei um texto para cada aluno sobre a *Física aristotélica* (Apêndice D) e dei um tempo para lerem. Após a leitura, comecei a explicar a interpretação de Aristóteles sobre a queda dos corpos. Perguntei se já tinham estudado alguma teoria aristotélica e a aluna Lucy comentou que tinha lido algo a respeito no livro *O mundo de Sofia*. Em seguida, expliquei brevemente sobre quem foi Aristóteles e informei que ele havia elaborado uma explicação para a queda dos corpos. Com o auxílio do quadro, tentei mostrar que Aristóteles acreditava que a matéria era formada por terra, água, ar e fogo e que para cada elemento haveria um “lugar natural”; que a tendência dos corpos (formados esses quatro elementos) era encontrar seu lugar natural. Terra e água, por serem os mais pesados, ficariam embaixo e o ar e o fogo, mais leves, ficariam em cima.

Discuti com os estudantes que, segundo a teoria aristotélica, uma pedra cairia, pois seria formada mais pelo elemento terra, e quando largada buscaria, dessa maneira, o seu lugar natural (embaixo). Adverti que o modelo aristotélico é bastante associado ao senso comum e que, de certa forma, explicava bem a “queda dos corpos”. Depois dessas explicações, verifiquei junto com os alunos suas respostas ao teste aplicado no início da aula e notei que todos possuíam ainda concepções alternativas (isto é, aristotélicas) sobre o movimento dos corpos. Disse a eles, na sequência, já encerrando o encontro, que todos pensavam como Aristóteles, algo que os deixou, a princípio, um pouco abalados.

No início dessa aula, revisamos as ideias aristotélicas vistas na aula anterior e, na sequência, foram feitas perguntas sobre o texto de Aristóteles que abordava a queda dos graves (Apêndice D). Essa parte foi bem interessante, pois a maioria dos alunos disse que não havia maneira “certa” (correta) de se fazer Ciência; no entanto, a aluna Sally disse que os gregos estavam certos, já que eles pensavam e não se baseavam apenas em observações e experimentos cotidianos. Em seguida, comentei que Aristóteles baseava-se na ideia de que era a partir da observação e de certos experimentos que se tiravam conclusões (isto é, os sentidos eram os motores do nosso conhecimento) e perguntei se eles achavam que era assim que se fazia ciência (ainda hoje), retomando e discutindo, desta forma, uma concepção que notei que eles apresentaram no teste sobre Natureza da Ciência.

Novamente, o aluno Linus comentou sobre o “tal método científico” que haviam visto nas aulas de ciências. Assim, perguntei ao restante da turma se existia “um” método único para se fazer ciência. A aluna Marcie falou que a maneira de se fazer ciência era *pensar, desenvolver e experimentar*. Então, comentei que essa poderia ser uma possibilidade e perguntei se valeria para os outros campos da Ciência. Ela respondeu que “*não*”, mas disse que o experimento não poderia vir primeiro, pois para fazer o experimento era necessário pensar, enfatizando a importância que atribuía ao pensamento no fazer científico.

Tentei fazer com que eles pensassem um pouco sobre essa possibilidade de existência de um “método único” para se fazer ciência, uma vez que notei nas respostas do teste sobre Natureza da Ciência que a grande maioria acreditava na existência do mesmo.

Na sequência, perguntei a eles se pensavam que pudesse existir uma teoria melhor para descrever a queda dos corpos. Linus respondeu que possivelmente sim, já que a água fria desce e a água quente sobe, por mais que tenham a mesma massa (referindo-se a serem do mesmo elemento), de certa forma, sugerindo que nem sempre os corpos que possuem mais massa caem primeiro, como apontava o modelo aristotélico. Assim, comentei que a

ideia de Aristóteles persistiu durante 18 séculos, pois sua teoria foi adaptada e assumida pela Igreja Católica, que condenava quem questionasse os modelos adotados por ela. Enfatizei que teve um período na história europeia, o Renascimento, que foi marcado pela valorização do uso da razão; que vários pensadores se destacaram, como, por exemplo, Giordano Bruno que questionava algumas ideias defendidas pela Igreja. No entanto, tal pensador foi condenado à morte devido ao seu posicionamento questionador.

Em seguida, falei sobre outro personagem importante da época: Galileu Galilei. Comentei sobre as principais ideias elaboradas por ele, especialmente sobre a queda dos corpos, como, por exemplo, a noção contrária à visão aristotélica de que corpos mais pesados caem mais rápido, inovando e inaugurando um novo paradigma ao propor que, ao cair, ocorrem acréscimos de velocidade proporcionais ao tempo de queda (acréscimos iguais, em tempos iguais, sob certas condições) independente da massa dos corpos. Assim, coloquei que, se fosse possível fazer vácuo, corpos de massas diferentes cairiam ao mesmo tempo. A estimativa de Galileu para esse incremento de velocidade era de  $4 \text{ m/s}^2$  e Marcie perguntou: “*Mas não era  $10 \text{ m/s}^2$ ?*”. Então, respondi que esse valor é o utilizado atualmente, que muito se pesquisou e se aperfeiçoou depois de Galileu. Disse aos alunos que vários experimentos realizados por ele (Galileu) foram para testar sua teoria, e que como havia dificuldades para medir tempos curtos com relógios de água, na época imprecisos, ele usou o do plano inclinado. Além disso, questionei-os sobre o episódio que alguns livros trazem, afirmando que Galileu teria feito o experimento de largar esferas diferentes na torre de Pisa, notando que corpos com massas diferentes cairiam ao mesmo tempo. Eles se deram conta que não era possível, uma vez que existe a resistência do ar.

Durante todo o diálogo que envolveu tanto algumas ideias de Giordano Bruno quanto as de Galileu Galilei, os alunos mostraram-se participativos, fazendo comentários ou expressando curiosidades.

No fim da aula, entreguei novo texto que correspondia a mais um capítulo do livro *Breve Storia dell'atomo*, intitulado *Onde existe matéria sempre existem forças em jogo*, (Anexo 2), que relacionava a “força” tanto para formar um átomo quanto para proporcionar o movimento dos corpos celestes. O texto apresentava a interpretação do movimento a partir das três leis de Newton.

Após a leitura, havia questões para responderem: 1) *Tanto o pensamento quanto o experimento são importantes para o desenvolvimento da Ciência. Em sua opinião, qual deles é o mais importante? Justifique sua resposta;* 2) *A partir do que foi debatido em aula, como você explica a queda dos corpos a partir das concepções da mecânica clássica? Qual a relação entre a queda de uma maçã e o movimento da Lua, por exemplo? Faça um desenho para auxiliar.*

Para a questão um, a maior parte dos alunos disse que pensamento e experimento estão diretamente relacionados, não demonstrando qual seria mais importante. Já na segunda, eles tiveram mais dificuldades de fazer a relação entre a queda da maçã e o movimento da Lua, por exemplo, então, disse-lhes que retomaria a questão na aula em que discutiríamos as ideias de Isaac Newton.

No fim, mostrei a eles um episódio locado da serie Cosmos em que aborda a vida de Isaac Newton<sup>5</sup>.

#### *Encontro 4: 29 de outubro de 2014*

O quarto encontro foi marcado, em um primeiro momento, com a visualização/continuação da série Cosmos da aula anterior sobre a vida de Isaac Newton.

Em seguida, perguntei a eles o que acharam do vídeo. A aluna Frieda disse que, por mais que o vídeo fosse longo, ele prendia a atenção. Os alunos disseram que gostaram bastante de assistir ao vídeo. Em seguida, retomei as explicações de Aristóteles (queda dos graves) e de Galileu, com a explicação de aumentos de velocidade proporcionais ao tempo de queda de corpos de massas diferentes, desde que essa queda fosse no vácuo. Relembrei-os de um vídeo que eu havia mostrado em aula que fora feito na Lua demonstrando a queda de um martelo e uma pena e que caíam ao mesmo tempo<sup>6</sup>. Disse-lhes que a grande diferença entre as ideias de Aristóteles e Galileu (e também de

---

<sup>5</sup> Tyson, N. de Grasse. Cosmos: A Spacetime Odyssey. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

<sup>6</sup> Vídeo que demonstra a queda de uma pena e um martelo na Lua. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>

Newton) foi o uso do pensamento, saindo do senso comum. Essa aula foi um pouco tumultuada, pois eles tinham muitas dúvidas influenciadas pelo vídeo, questionando o vácuo da Lua, dentre outros assuntos. Então, tive que acalmá-los para retomar o assunto da oficina.

Comentei sobre o vídeo que retratava a vida de Isaac Newton; expliquei que, para Newton, haveria uma força de atração entre corpos dotados de massas, algo que eles já tinham estudado. Assim, lembrei-os da existência de uma força entre a Terra e os corpos próximos a ela, a força peso; que representamos essa força com uma flecha apontando para o centro da Terra.

A aluna Marcie lembrou que temos que representar força com módulo, direção e sentido. Desenhei no quadro o sistema Terra–Lua para mostrar aos alunos que, para Newton, a existência de força entre esses corpos se deve à atração entre as massas o que também explica a queda de uma maçã, na Terra. Marcie disse: “*ah, foi assim que ele descobriu a força peso!*” (referindo-se à lenda da queda da maçã na cabeça de Newton, demonstrando uma concepção enraizada do fazer ciência associado à observação que notei no teste sobre Natureza da Ciência). Expliquei que Newton teria usado este exemplo, mas que não foi do experimento que ele tirou/obteve a explicação. Além disso, acrescentei que a teoria newtoniana uniu a física da Terra e dos céus (que em Aristóteles eram separadas) e que foi a partir do estímulo de Halley que Newton publicou seu livro muito conhecido, intitulado *Principia*.

Perto do fim da aula, pedi para eles pegarem o teste para que pudéssemos explicá-lo de acordo com a teoria de Newton, da Física Clássica (Apêndice C). No fim, os alunos foram divididos em três grupos para se prepararem para o júri simulado que seria feito na aula do dia 5 de novembro. Dei para cada aluno uma instrução de como seria essa atividade (Apêndice E).

#### *Encontro 5: 5 de novembro de 2014*

No início, informei aos alunos que disponibilizaria aproximadamente 30 minutos para que, em grupo, preparassem os argumentos para o júri simulado. Formaram-se três grupos: o júri, o grupo que defenderia o paradigma de Aristóteles e o da defesa da Física Clássica (Galileu e Newton). Os alunos estavam bem agitados nesse dia, possivelmente devido à preocupação de ter

que debater as diferentes ideias. Um dos alunos que fazia parte do júri foi escolhido para ser o juiz, ou seja, para coordenar a simulação do julgamento.

Na sequência, o juiz sorteou quem iniciaria a fala. O jogo seria dividido em momentos para cada grupo argumentar e para fazer a réplica e por fim, para fazer considerações finais.

A aluna Frieda perguntou se era como o debate dos candidatos à presidência. Afirmei que sim, porém com a diferença que teria um júri para decidir e apontar um vencedor.

O juiz iniciou os trabalhos questionando *qual a teoria melhor descreve a queda dos corpos: a aristotélica ou a da Física Clássica?* O grupo que defendia as ideias de Aristóteles iniciou explicando a teoria aristotélica a partir da queda dos graves. Como a argumentação estava um pouco confusa eu medieei e questioneei por que Aristóteles estava sendo julgado, ao que a defesa disse que ele pode ter errado, mas que era necessário ter uma primeira teoria para explicar a queda dos corpos.

Na sequência, foi vez da defesa das ideias da Física Clássica. O grupo levantou a ideia de que, se o ar deve subir (buscar seu lugar natural), por qual motivo um balão de festa que enchemos (de ar) não sobe? Buscavam questionar, assim, a ideia da outra teoria (aristotélica). Além disso, comentaram que a Física Clássica explica tanto o movimento de uma bola jogada para cima quanto o movimento dos planetas; comentaram sobre vídeo feito na Lua (mostrado na aula anterior) em que a pena e o martelo podem cair ao mesmo tempo, desde que não houvesse resistência do ar. Depois disso, teve um momento um pouco conturbado que o júri não conseguiu amenizar, sendo necessária novamente minha intervenção, já que a defesa da Física Clássica acusou a defesa de Aristóteles de machismo. Tive que pedir para eles se concentrarem nas explicações relacionadas apenas à queda dos corpos. Em seguida, a defesa aristotélica ficou um pouco perdida e tive que auxiliar. Para finalizar, disseram que a mecânica de Aristóteles foi tão importante que viveu durante 18 séculos. A defesa da Física Clássica rebateu dizendo que o júri não quer saber qual a teoria é a mais importante, mas qual explica melhor a queda dos corpos. Disseram também que o motivo pelo qual a teoria vigorou por 18 séculos foi porque perseguiam quem pensasse diferente.

Foram destinados, por fim, alguns minutos para os grupos se reunirem para as considerações finais. Passados alguns minutos, a defesa de Aristóteles disse que a época em que pensadores como Newton e Galileu viveram foi propícia para o surgimento de novas teorias, já que Aristóteles viveu em uma época em que não existia muita tecnologia. Quando foi a vez do outro grupo, eles comentaram sobre a explicação da queda dos corpos a partir do conceito de força peso (força de atração) e não a partir dos quatro elementos e da busca pelo lugar natural.

Na parte final, o júri reuniu-se fora da sala para decidir sobre o vencedor do jogo (júri simulado). Enquanto isso, com o restante da turma, eu disse que, independentemente do resultado, todos estavam de parabéns, já que haviam feito um bom trabalho. Depois de alguns minutos, os jurados retornaram à sala e anunciaram que a defesa do paradigma de Aristóteles foi melhor ao expor as ideias. Então, perguntei aos jurados no que eles se embasaram para decidir. Assim, os jurados disseram que a defesa das ideias da Física Clássica não foi boa e que o grupo havia acusado a defesa aristotélica de maneira imprópria, ao chamar Aristóteles de machista com o objetivo de causar tumulto. No entanto, ao final, todos disseram ter gostado de participar do júri simulado e sugeriram fazer outro sobre outros cientistas em algum outro momento.

#### *Encontro 6: 12 de novembro de 2014*

A aula iniciou com a visualização de um trecho da série *Cosmos* sobre a Teoria da Relatividade Especial<sup>7</sup>. Na sequência, foi entregue um texto curto, uma tentativa inicial de abordar aspectos qualitativos da Teoria da Relatividade Especial e Geral (Apêndice F). Retomei as duas teorias antes vistas sobre a queda dos corpos (paradigmas aristotélico e newtoniano). Ressaltei que a partir do início do século XX surgiu uma nova teoria que dava conta de alguns aspectos que a teoria de Newton não explicava e era totalmente diferente, oferecia uma nova explicação para a queda dos corpos; expus que é assim que alguns estudiosos entendem atualmente que se faz Ciência, ou seja, a partir de trocas de teorias baseadas em ideias totalmente diferentes; mas claro que a

---

<sup>7</sup> Episódio 8 da série *Cosmos* apresentada por Carl Sagan em 1980. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=QBd0KjqSdU0>

troca só ocorre quando determinada teoria vigente não dá conta de explicar anomalias (na época os astrônomos perceberam que o planeta Mercúrio apresentava uma trajetória um pouco diferente daquela prevista pela teoria de Newton), sendo substituída quando aparecer outra mais promissora, mais abrangente.

Propus aos alunos que lêssemos o texto juntos. Pedi para que alguém iniciasse a leitura em voz alta. Assim, para cada trecho lido, eu solicitava para que parassem e explicava o seu significado.

Na parte da dilatação do tempo, foi usado o paradoxo dos gêmeos para ilustrar. A turma achou muito interessante, pois usei como exemplo de pensamento os gêmeos que frequentavam a oficina, Charlie Brown e Schroeder. De maneira geral, eles acharam a teoria da relatividade restrita totalmente “fora de realidade” (referindo-se ao fato de ser anti-intuitiva). Então, concordei que era uma teoria fora do senso comum, entretanto válida e utilizada até no funcionamento de GPS (*Global Positioning System*).

Na sequência expliquei aspectos da Teoria da Relatividade Geral de forma bastante qualitativa. Falei sobre a geometria do espaço que se deforma (espaço-tempo) na presença de um corpo massivo e que essa deformação está associada ao que chamamos de gravidade. Para explicar a curvatura do espaço-tempo fiz uso de um pedaço de papel e coloquei uma bolinha no meio. Dessa forma, tentei explicar o motivo por que a Lua se move ao redor da Terra – devido à curvatura do espaço-tempo e que ela não cai porque sua velocidade tangencial é grande. Alertei que essa mesma explicação serve para a queda dos corpos nas proximidades da Terra.

No fim da explicação os alunos Patty e Linus pediram para que eu desenhasse uma representação da queda dos corpos no quadro de acordo com as três teorias (os três paradigmas) vistas. Solicitei para que eles me ajudassem. Mostrei, dessa maneira, as três diferentes teorias vistas buscando passar a ideia de que essa substituição de teorias faz a ciência avançar. Nesta etapa, podemos interpretar como a busca de uma *reconciliação integrativa* entre as três teorias estudadas, como propõe Ausubel.

Também comentei sobre o eclipse em Sobral no Ceará, em 1919 (e em Príncipe, na África), que fotografaram nos momentos em que a Lua encobria o Sol que a luz proveniente de uma estrela localizada atrás do Sol era curvada

ao passar perto deste de maneira que a estrela podia ser vista (produzindo uma imagem aparente), o que corroborou a teoria da Relatividade Geral e os cálculos teóricos feitos por Einstein, fatos que culminaram com a aceitação da teoria. Lembrei a eles que a teoria foi finalizada em 1915 e comprovada depois de quatro anos, aproximadamente. Nesta parte, tentei mostrar a eles que as leis e teorias não surgem unicamente a partir de experimentos, crença que notei que eles apresentavam, quando apliquei o teste sobre Natureza da Ciência, em nosso primeiro encontro.

No final, interpretei explicitamente a troca de teorias a partir da visão de Thomas Kuhn, em que a troca de paradigmas (teorias, ou visões de mundo) caracteriza-se como uma Revolução Científica. Perguntei para a turma se seria possível ter outra teoria que pudesse substituir a da Relatividade e todos disseram que era possível que daqui a algum tempo ocorresse essa troca.

Próximo do final da aula, pedi que respondessem novamente o teste sobre a Natureza da Ciência (Apêndice A), agora proposto como pós-teste. Havia também algumas questões para avaliar a oficina (Apêndice G).

Para finalizar, agradei a participação de todos e disse que eles foram muito importantes para o desenvolvimento do meu trabalho proposto no mestrado.

Com relação ao resultado do teste sobre concepções a respeito da natureza da ciência, foi possível notar alguma melhora. A maior parte dos alunos discordou da noção de existência de um método único para se fazer ciência e de que o cientista deve começar observando o fenômeno sem considerar as concepções prévias ou conhecimentos que já possui. Mais comentários sobre as respostas dos testes estão disponíveis no capítulo 6.

## **5.2. Estudo 2: aplicação definitiva da proposta**

Este subcapítulo descreve como foi realizada a segunda aplicação do projeto em forma de oficina, no ano de 2015.

Durante o ano de 2015, teve a primeira turma de 8º ano no colégio João Paulo I – Unidade Higienópolis. Nesta escola, as matérias previstas para a turma de 8º ano seriam as mesmas da “antiga 8ª série”. É importante destacar

que, como escrito anteriormente, os alunos do 8º ano costumam estudar o conteúdo de queda dos corpos no segundo trimestre letivo (entre junho e agosto), porém sem formulação matemática muito aprofundada, de maneira que as condições de aplicação eram idênticas.

Como ocorreu no ano de 2014, convidei a turma para participar da oficina que aconteceria no turno da tarde e também entreguei uma autorização para cada aluno destinada aos pais ou responsáveis a fim de que consentissem com a participação dos mesmos no módulo.

A aplicação de 2015 ocorreu entre os dias 29 de setembro a 24 de novembro com duração de 100 minutos cada, totalizando sete encontros.

Nesta aplicação não foi possível realizar um encontro por semana, uma vez que algumas das tardes de terça-feira (dia dedicado à realização da oficina) estavam reservadas para os alunos desenvolverem o projeto da Mostra Científica<sup>8</sup>. Notei, ao pedir autorização para a direção, que a participação dos alunos na oficina poderia ser reduzida (comparada com a aplicação anterior), já que só havia a disponibilidade de realizar nas terças e alguns alunos comentaram que tinham compromissos nesse dia da semana, como aulas de línguas, por exemplo.

Participaram, em média, cinco alunos entre 13 e 14 anos. Os nomes foram trocados (de maneira aleatória) por personagens da história de Harry Potter para não identificar os alunos. A estrutura das aulas foi bem semelhante com a da aplicação de 2014. As poucas modificações foram em relação aos textos que foram melhorados e ampliados, em função, especialmente de minha observação de que assuntos da Física Moderna (Einstein, Teoria da Relatividade, etc.) interessam e despertam muita curiosidade nos estudantes do Ensino Fundamental.

Outra razão de repetirmos a aplicação foi a crença de que os primeiros contatos dos estudantes com a Física ocorrem no Ensino fundamental e que se forem experiências positivas, mediadas por História e Filosofia da Ciência, isto tornará os estudantes mais predispostos a estudar Física no Ensino Médio,

---

<sup>8</sup> A atividade Mostra Científica é um evento tradicional do colégio João Paulo I-Higienópolis em que os alunos são orientados no turno da tarde, ao longo do ano letivo, até os dias próximos à apresentação dos trabalhos que são relacionados com assuntos de Física, Biologia e Química.

sendo que está é uma das condições para que ocorra aprendizagem significativa, segundo Ausubel.

Além disso, foi possível fazer nesta segunda aplicação no último encontro uma retomada dos três paradigmas que, ao longo da História da Física, explicaram de diferentes maneiras a queda dos corpos.

Na sequência, serão apresentados os planejamentos com os respectivos relatos de cada encontro.

### *5.2.1 Encontro 1*

#### *Plano de Aula 1*

Data: 29/09/2016

#### Conteúdo:

- Natureza da Ciência;
- Conceitos introdutórios sobre temas da Física.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Pensar criticamente sobre algumas questões relacionadas com a Natureza da Ciência;
- Examinar suas ideias (pré-conceitos);
- Reconhecer a importância do estudo dos movimentos dos corpos.

#### **Procedimentos:**

#### Atividade Inicial:

- Aplicar um teste para levantar conceitos que os alunos possuem a respeito da Natureza da Ciência visando mapear o que o aluno já sabe e buscar uma aprendizagem significativa de aspectos epistemológicos ao longo da proposta, como propõe Ausubel.

#### Desenvolvimento:

- Promover um debate através de questões sobre o movimento de queda dos corpos para ter acesso aos conceitos prévios do aprendiz;

- Incentivar a leitura de um texto entregue aos alunos, intitulado *Matéria e energia: duas faces da mesma moeda*, tradução de um capítulo do livro *Breve Storia dell'atomo* (o texto pode ser visto no Anexo 1).
- Dialogar visando despertar o interesse dos jovens sobre temas da Física.

#### Fechamento:

- Solicitar que respondam questões de fixação sobre o texto individualmente e, na sequência, debatê-las com o grande grupo.

#### **Recursos:**

- MUC;
- Texto de apoio impresso (Anexo 1);
- Teste impresso entregue a cada aluno, adaptado de Moreira, Massoni & Ostermann., 2007 (Apêndice B).

#### Referências:

- Staguhrn, G. (2011). *Breve storia dell'atomo*. Milão: Salani Editore.
- Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

#### *Relato do Encontro 1: 29 de setembro de 2015*

Comecei agradecendo a presença de todos e disse que estudaríamos o conteúdo da queda dos corpos (assunto já tratado brevemente em sala de aula), porém alertei que seria com uma interpretação um diferente, relacionando com aspectos de História e Filosofia da Ciência e abordando distintas teorias para analisar o mesmo fenômeno (a queda dos corpos).

Entreguei um questionário (o mesmo da aplicação anterior) para cada aluno para investigar concepções que eles apresentavam sobre Natureza da Ciência. (Apêndice B).

Assim que terminaram e me entregaram as respostas do questionário, coloquei as mesmas questões para que, em um primeiro momento, eles pensassem (*1. Como se caracteriza o movimento? Como sabemos se um objeto está em movimento? 2. O que é tempo? A partir de quando faz sentido iniciar a contagem do tempo? 3. Por que os corpos caem?*).

Essa turma não era muito comunicativa e isto parecia ser um complicador inicial. Assim, tive que pedir para que falassem e não se constrangessem em opinar, já que seria assim que trabalharíamos nos encontros.

Como forma de descontrair, convidei uma das alunas para me ajudar a escrever no quadro as respostas a cada questão. A aluna Lilian sentiu-se à vontade e foi ao quadro para me ajudar. Para a primeira pergunta, responderam que *“era quando um corpo estava se deslocando, mudando a posição no decorrer do tempo”* e que, além disso, era importante estabelecer um referencial. Na segunda questão, comentaram sobre as unidades de tempo (horas, minutos, segundos) e que já na pré-história existia tempo. O aluno Severo disse que, possivelmente, a noção de tempo tenha começado depois do *Big Bang*. Já a aluna Lilian disse que o tempo *“passa diferente”* já que há diferentes calendários como o dos cristãos e dos judeus. No fim, o aluno Rony comentou que já tinha ouvido falar que o tempo poderia passar diferente dependendo da velocidade.

Assim, comentei que isso era possível, porém com velocidades muito grandes e que veríamos tais questões em alguma das aulas.

Notei que, por mais que eles tenham sido incentivados a participar da dinâmica inicial, alguns ainda tinham dificuldades para expressar suas opiniões. Nem todos falavam.

Para a última questão (*por que os corpos caem?*), eles se lembraram do vídeo sobre a queda do martelo e a pena na Lua (já comentado na descrição da aplicação piloto), pois havia sido mostrado para eles em sala de aula. Tanto Severo quanto Rony disse que a queda (dos corpos) se justificava devido à atração gravitacional da Terra.

Na terceira parte desse encontro, entreguei o Texto 1 (Anexo 1) intitulado *Matéria e energia: duas faces da mesma moeda* e solicitei que respondessem três questões, sendo que duas eram de fixação do texto e a última relacionava-se com a primeira Lei de Newton: 1) *O que foi a teoria do Big Bang?* 2) *De acordo com o texto, quando surgiu o tempo?* 3) *A frase “Qualquer corpo tende a permanecer no estado em que está” relaciona-se com qual lei de Newton?*

A partir das respostas coletadas, verifiquei que todos os alunos relacionaram o *Big Bang* como uma grande explosão ou evento que originou o universo. Um exemplo de resposta, da aluna Gina, é apresentado na Figura 3.

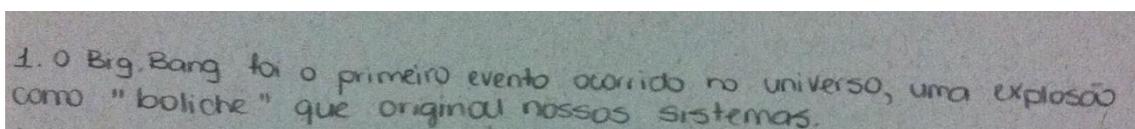


Figura 3: recorte de resposta de um aluno que relaciona a teoria do *Big Bang* como uma grande explosão. (Transcrição da resposta: “O Big Bang foi o primeiro evento ocorrido no universo, uma explosão como “boliche” que originou nossos sistemas.”).

Alguns escreveram que foi a partir deste evento que fez sentido medir o tempo, como a aluna Hermione cuja resposta está representada na Figura 4:

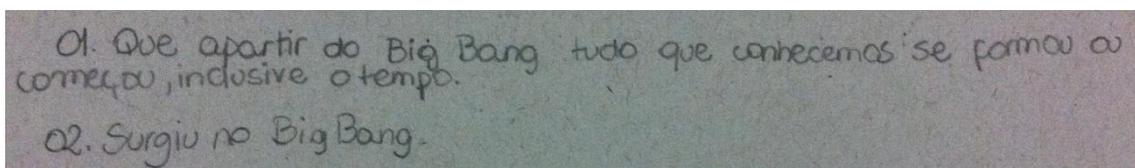


Figura 4: resposta que relaciona a ideia de medir o tempo a partir do evento do Big Bang. (Transcrição da resposta: “Que a partir do Big Bang tudo que conhecemos se formou ou começou, inclusive o tempo.”)

Por outro lado, nem todos fizeram essa relação com o evento do Big Bang, (modelo de origem no universo apresentado pelo texto). Alguns escreveram apenas que faz sentido medir o tempo a partir do acontecimento do primeiro evento, algo que estava escrito de maneira direta no texto deixando dúvidas sobre se houve compreensão ou apenas reprodução do texto. A resposta de Neville representa esta ideia, como mostra a figura 5:

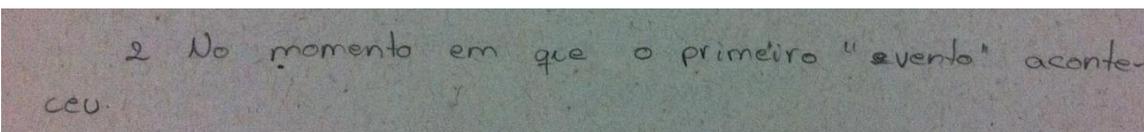


Figura 5: resposta que relaciona a ideia de medir o tempo a partir do acontecimento do primeiro evento. (Transcrição da resposta: “No momento em que o primeiro “evento” aconteceu.”).

Com relação à última questão, todos os alunos relacionaram a tendência de os corpos permanecerem no mesmo estado com a 1ª lei de Newton (lei da Inércia).

Assim, finalizei o primeiro encontro agradecendo a presença de todos e ressaltando que o próximo encontro seria apenas no dia 20 de outubro devido às atividades já programadas da Mostra Científica.

Já com o encontro finalizado, tive acesso às respostas das questões sobre concepções a respeito da Natureza da Ciência. Dei destaque a algumas respostas do teste. A maior parte da turma concordava que a ciência é algo provisório, é uma construção humana e que a criatividade é importante para o desenvolvimento científico. Foi interessante notar que os alunos discordavam da existência de um método científico único e imutável para fazer ciência. Por outro lado, com exceção de um aluno, todos concordavam que as leis surgem a partir de observações. Algumas ideias mapeadas através do questionário foram usadas durante o debate dos encontros seguintes.

### 5.2.2 Encontro 2

Plano de Aula 2:

Data: 20/10/2015

Conteúdo:

- Teoria aristotélica sobre o movimento de queda dos corpos;
- Conceito de “lugar natural”.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Reconhecer que as ideias de Aristóteles eram bastante intuitivas, mas que para a época representavam uma explicação adequada dos fenômenos;
- Intuir que essas ideias vigeram durante séculos por que ofereciam explicações próximas do senso comum e também se alinhavam aos aspectos sociais e religiosos da época;
- Questionar suas próprias concepções sobre o fenômeno estudado.

**Procedimentos:**

Atividade Inicial:

- Aplicação de uma adaptação do teste sobre concepções alternativas em mecânica (teste adaptado de Silveira *et al.*, 1992);

Desenvolvimento:

- Leitura do texto sobre a interpretação aristotélica da queda dos corpos;
- Introduzir o conceito aristotélico de “lugar natural” como uma forma de facilitar a compreensão da explicação de Aristóteles para o movimento de queda dos corpos e para servir de “conceito inclusivo” que será retomado e questionado em encontros posteriores, visando alcançar uma diferenciação progressiva, como propõe Ausubel.
- Promover um debate a respeito das questões sobre o texto e sobre a teoria de Aristóteles para explicar a queda dos corpos;
- Reflexão inicial sobre o papel do experimento no desenvolvimento da ciência com o objetivo de relacionar com os conhecimentos prévios notados no teste sobre a Natureza da Ciência (Apêndice B);

### Fechamento:

- Verificação, discussão de algumas respostas do teste sobre concepções alternativas para poder mapear conceitos prévios dos alunos sobre força e movimento.

### **Recursos:**

- MUC;
- Teste impresso, adaptado de Silveira *et al.* (1992), entregue a cada aluno (Apêndice C);
- Texto sobre a explicação de Aristóteles a respeito da queda dos corpos. (Apêndice D).

### Referências:

- Silveira, F., Moreira, M. A. e Axt, R. Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: um exemplo em Mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 187-194, 1992.
- Peduzzi, L. (1996). Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(1), 48-63.

### *Relato do Encontro 2: 20 de outubro de 2015*

Nesse dia eu estava um pouco nervosa, já que a professora orientadora tinha programado assistir minha aula. Iniciei normalmente e avisei a turma que a minha professora estava ali para acompanhar, mas alertei que eles deveriam ficar à vontade.

No primeiro momento, entreguei a eles a adaptação do teste sobre força e movimento (Apêndice C).

À medida que devolviam o teste, entreguei o texto que abordava a física de Aristóteles com ênfase na explicação da queda dos corpos (Apêndice D). A partir da leitura do texto, discuti com eles que, segundo Aristóteles, tudo era formado por quatro elementos (terra, água, ar e fogo) e que havia um lugar

natural para esses elementos e a tendência dos corpos era de ocupar o seu lugar natural. Dessa forma, a queda de duas pedras com massas diferentes (a partir de uma mesma altura) era explicada pela ideia de que a pedra, por ter mais elemento terra, teria a tendência de ficar embaixo e que a maior teria mais pressa para chegar ao seu lugar natural, Por essa razão, a pedra maior chegaria antes ao solo. Também comentei que Aristóteles acreditava que só era possível existir movimentos em linha reta. Ressaltei que essa explicação prevaleceu durante 18 séculos devido à imposição da Igreja Católica, que absorveu e adaptou as ideias aristotélicas, especialmente, de que a Terra seria o centro do Universo, e que alguns pensadores, ao questionar tais ideias (como Giordano Bruno), foram condenados à morte.

Escrevi no quadro a seguinte frase cuja autoria é atribuída a Aristóteles: *“não há nada no intelecto que não estivesse antes nos órgãos dos sentidos.”*. Queria fazer referência à questão, com a qual a maior parte da turma concordava, do teste sobre concepções a respeito da natureza da ciência que afirmava que o conhecimento científico era feito a partir de observações. Perguntei para a turma se eles tinham entendido a ideia por trás da frase. Um aluno até leu a frase em voz alta, sem interpretar. O restante não comentou nada, então expliquei que a ideia de Aristóteles era que o conhecimento surgiria a partir de fatos e fenômenos que aconteciam na natureza e que poderíamos interpretar que, para ele, o conhecimento científico surge a partir de observações. Ressaltei que, de acordo com o referencial epistemológico que eu estava adotando, essa era uma visão inadequada sobre o “fazer ciência” e que discutiríamos mais no decorrer dos encontros.

No final do texto, havia duas questões e adicionei mais duas como: *Como Aristóteles explicava a queda de duas pedras com massas diferentes? Faça um desenho representando de, acordo com Aristóteles, o movimento de subida, repouso e descida de um objeto que foi lançado.*

Assim que eles terminaram de escrever, pedi para falarem em voz alta as respostas, porém eles estavam muito tímidos. O perfil do grupo já era esse, contudo, nesse dia, estavam mais introvertidos possivelmente pela presença da professora orientadora. Alguns alunos até respondiam e eu questionava os outros para saber a opinião e, a maior parte das vezes, diziam uma resposta semelhante.

Para a questão de letra a, todos colocaram como resposta que não existe maneira certa de se fazer Ciência, porém com justificativas diferentes como mostram as figuras 6 e 7 das alunas Minerva e Molly, respectivamente.

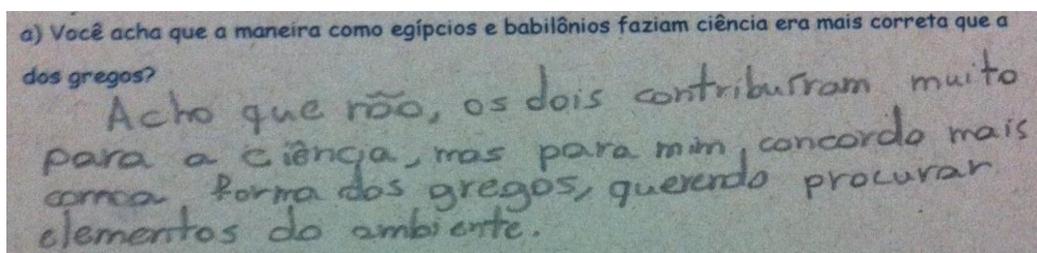


Figura 6: resposta da aluna Minerva sobre se existe maneira certa de se fazer Ciência. (Transcrição da resposta: "Acho que não, os dois contribuíram muito para a Ciência, mas para mim concordo mais com a forma dos gregos, querendo procurar elementos do ambiente.").

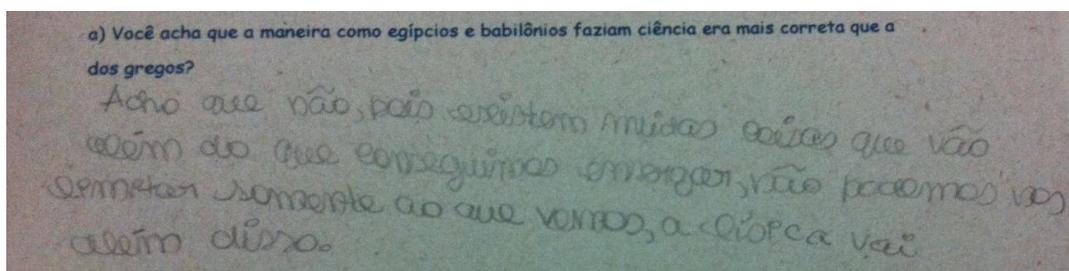


Figura 7: resposta da aluna Molly sobre se existe maneira certa de se fazer Ciência. (Transcrição da resposta: "Acho que não, pois existem muitas coisas que vão além do que conseguimos enxergar, não podemos nos limitar somente ao que vemos, a física vai além disso.").

As respostas completas acima só foram possíveis de se verificar após a aplicação, já que eles não comentaram muito durante a oficina. Na aula apenas tinham dito que não havia maneira certa de se fazer ciência. É possível também que a tenra idade iniba mais facilmente os alunos quando os assuntos são novos. Pode-se notar que a aluna Minerva possivelmente se confundiu, uma vez que o texto mostrava que os egípcios e babilônios buscavam elementos na natureza. A ideia dessa questão era trabalhar a concepção (percebida no teste de concepções sobre Natureza da Ciência) que eles apresentavam sobre o fazer ciência unicamente a partir dos experimentos. O texto mostrava que os gregos valorizavam o pensamento, já os egípcios e babilônios, o experimento.

Com relação à segunda questão, todos disseram que as ideias de Aristóteles não foram um atraso, sendo adequadas para sua época.

A terceira questão tinha por objetivo verificar se haviam entendido a teoria aristotélica sobre a queda dos corpos. **Foi notável que sim, uma vez**

**que explicaram a partir da tendência do corpo de maior massa procurar o lugar natural com mais “pressa”.**

Para a última questão, convidei o aluno Rony para fazer o desenho no quadro. No início, ele apenas fez os pontos de subida, repouso e descida. Assim, foi preciso ajudá-lo a interpretar o movimento como explicado por Aristóteles, ou seja, colocando a força para cima (na subida) que acompanhava o objeto, tinha como agente o ar (que exercia dois papéis, empurrava para cima e oferecia resistência) e que iria diminuindo, nenhuma força (no momento de altura máxima) e uma “força” para baixo na queda, já que Aristóteles acreditava que haveria uma “força” do próprio corpo responsável pela queda, ou seja, a busca do lugar natural<sup>9</sup>.

Depois disso, corrigimos o teste aplicado e, novamente, comentei que todos pensavam como Aristóteles. A aplicação do teste serviu para que eu tivesse acesso à maneira como eles interpretavam o movimento dos corpos. Assim, a partir do mapeamento dessas concepções poderia trabalhar a teoria seguinte, a Mecânica Clássica, que seria introduzida nos próximos encontros.

Dessa forma, disse a eles algo como: “*Sinto muito! Mas vocês pensam como Aristóteles!*”. Notei que eles ficaram impressionados, principalmente a aluna Lilian. Lembro-me que essa aluna comentou: “*Agora, já não sei mais nada!*”. E o aluno Rony: “*Seria como eu explicaria ao meu irmão!*”. Por outro lado, isso tudo não os desmotivou.

Finalizei a aula dizendo que a próxima estava marcada para o dia 30 de outubro, pois no dia 27 havia atividades relacionadas com a Mostra Científica.

---

<sup>9</sup> Neste caso, a ideia de força não é a mesma que utilizamos hoje em dia. Essa ideia foi retirada do artigo intitulado “Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino de mecânica?” de Luiz Orlando de Quadro Peduzzi. (Peduzzi, L. (1996), *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(1), pp. 48-63.

### 5.2.3 Encontro 3

Plano de Aula 3:

Data: 30/10/2015

Conteúdo:

- Apresentação e interpretação da teoria da Mecânica Clássica sobre a queda dos corpos.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Reconhecer a importância do contexto social no desenvolvimento científico;
- Perceber que na época em que viveu Galileu Galilei floresceram novas ideias sobre o mundo e novas explicações dos fenômenos;
- Relacionar as ideias elaboradas por Galileu para interpretar a queda dos corpos com o contexto de sua época;
- Descrever a queda dos corpos na ausência da resistência do ar (a partir do vídeo que mostra a “queda de uma pena e de um martelo na Lua”);
- Reconhecer que teorias científicas muitas vezes surgem antes de experimentos e observações na natureza.

**Procedimentos:**

Atividade Inicial:

- Revisão das ideias aristotélicas já discutidas sobre o movimento de queda dos corpos, especialmente lembrar o conceito de “lugar natural” relacionando-o com as concepções alternativas presentes no teste realizado no encontro anterior (Apêndice C) e partir da discussão de tais ideias para introduzir a teoria clássica.
- Introduzir, de maneira superficial, ideia de duas Físicas para Aristóteles: *sublunar* caracterizada por imperfeições e movimentos apenas em linha reta e o *supralunar*, lugar do perfeito com movimentos curvos e circulares.

Desenvolvimento:

- Leitura do texto entregue aos alunos intitulado *Onde existe matéria sempre existem forças em jogo* (Anexo 2);
- Promover um debate sobre a importância da experimentação na Ciência, com o objetivo de desmistificar a ideia de que ciência é feita sempre a partir de experimento e observação, discutindo, com isso, concepções percebidas no teste sobre a Natureza da Ciência;
- Refletir sobre a contribuição de Galileu Galilei para o estudo da queda dos corpos, tratando, também do contexto histórico da época;
- Introduzir a noção de “força de atração gravitacional”;

#### Fechamento:

- Visualização dos minutos iniciais do vídeo sobre a vida de Isaac Newton<sup>10</sup> visando preparar o tema do próximo encontro.

#### **Recursos:**

- Quadro, caneta;
- Computados e *datashow*;
- Texto impresso entregue a cada aluno (Anexo 2).

#### Referências:

- Vídeo da queda de uma pena e de um martelo na Lua:  
<https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>.
- Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.
- Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

---

<sup>10</sup> Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

### *Relato do Encontro 3: 30 de outubro de 2015*

Nesse encontro apareceram dois novos alunos, James e Dolores, que não tinham participado da oficina ainda, visto que o terceiro encontro ocorreu em uma sexta-feira, dia em que esses alunos podiam participar.

No início, pedi aos alunos que participaram dos encontros anteriores para que explicassem aos colegas (James e Dolores) como o Aristóteles explicava a queda dos corpos. Assim, a aluna Hermione começou a explicar que a matéria era formada por quatro elementos: terra, água, ar e fogo e Minerva complementou dizendo *“Uma pedra jogada para cima tem mais elemento terra e volta ao seu lugar de origem, lugar natural dela!”*.

Para essa aplicação, iniciei fazendo a leitura do Texto 2 (Anexo 2) intitulado *Onde existe matéria sempre existem forças em jogo*, antes de falar sobre a interpretação da queda dos corpos a partir da visão de Galileu. Os alunos preferiram ler juntos em voz alta. Dessa forma, Lilian começou a leitura do texto que introduzia ideias da Mecânica Clássica, como as contribuições de Galileu Galilei e Isaac Newton.

Após a leitura, a aluna Lilian expôs que havia ficado um pouco confusa na aula anterior quando eu havia comentado que ao jogar uma pedra para cima a força para cima iria diminuindo até deixar de existir. Expliquei que essa era uma teoria já superada – a teoria aristotélica – e que a partir da visão da Mecânica Clássica, que teve como principais pensadores Galileu e Newton, dentre outros, iríamos interpretar o movimento de queda dos corpos, e também de subida, de maneira diferente. Como notei que ela estava um pouco aflita com a confusão, disse-lhe mais ou menos que *“(...) na semana passada, apliquei com vocês um teste sobre o movimento. Segundo a interpretação de vocês, ao lançar uma bola para cima, a bola carrega a força junto, certo? Isso é considerado um pensamento ingênuo, de senso comum ou aristotélico. Por outro lado, de acordo com a teoria da Mecânica Clássica que teve participação de Galileu e Newton, dentre outros pensadores que não comentarei todos os nomes, a interpretação será da seguinte maneira: a bolinha ao sair da nossa mão, por não ter mais contato, não terá mais essa força. Quem fez a ação de mover a bolinha para cima? A mão. E ela, ao não ter mais contato com a*

*bolinha, continuará exercendo ação na bolinha? Não! Então, haverá força da mão na bolinha ao subir? Lembra que força é uma ação. Você concorda que quando a bolinha sai da minha mão, a ação deixou de ser feita? Agora, a partir dessa nova visão de movimento, o conceito de força muda totalmente.”* Comentei também que, de acordo com Aristóteles, para todo movimento violento (não natural) havia força. Por outro lado, há uma nova interpretação da física clássica, que é considerada uma teoria totalmente diferente da visão aristotélica.

Comentei que poderia parecer um pouco complexo, já que esta interpretação não é intuitiva, diferentemente da aristotélica, que é de senso comum. Também comentei que, se eu tivesse aplicado o mesmo teste de concepções alternativas em uma turma do Ensino Médio, muito possivelmente as respostas seriam semelhantes às deles. A aluna Hermione ficou espantada e disse: “*Sério professora?*”. Eu disse que sim e que tinha conhecimento que outros professores já haviam aplicado o mesmo teste, porém com mais questões, em uma turma de Ensino Superior e que as respostas estavam carregadas de concepções alternativas, mais especificamente aristotélicas. Assim, disse à turma o quanto era importante que eles já tivessem contato com as interpretações do movimento de acordo com a Física Clássica, ainda que parecesse mais abstrata.

Nessa linha deram-se as discussões que marcaram essa aula.

Na sequência, pedi para responderem a pergunta 1, do fim do texto: *tanto o pensamento quanto o experimento são importantes para o desenvolvimento da Ciência. Em sua opinião, qual deles é o mais importante? Justifique sua resposta.*

Nesse encontro os alunos estavam bem participativos e isso ficou notável quando a aluna Minerva pediu para falar ao grupo sua resposta à primeira questão. De acordo com ela, *o experimento é o mais importante, pois é uma maneira de mostrar que o pensamento está correto.* O aluno James discordou, dizendo que o pensamento é mais importante, pois é a partir dele que, na sequência, é feito o experimento. A aluna Hermione complementou dizendo que o experimento por si só não diz nada, assim, é necessário o pensamento. Na sequência, Minerva comentou que, ao ter duas teorias diferentes sobre o átomo, é necessário que tenha um experimento para mostrar

qual das teorias é a melhor, ressaltando o motivo pelo qual ela acredita que o experimento é o mais importante.

Em seguida, coloquei no quadro algumas ideias a respeito do contexto social em que Galileu Galilei vivia para introduzir sua abordagem da queda dos corpos.

Comentei que começaríamos a ver uma nova visão de mundo, e uma explicação sobre a queda dos corpos totalmente diferente da que havia dominado durante a Idade Média, marcada pela teoria aristotélica. Perguntei a eles se já tinham estudado o Renascimento e a aluna Lilian disse que apenas a parte artística e que ela não se lembrava das características daquela época. Assim, comentei que uma das características mais importantes da época do Renascimento foi o uso da razão e que os pensadores eram estimulados a pensar. Dentre os pensadores da época, falei do astrônomo polonês Nicolau Copérnico e disse que ele imaginava que o Sol estava no centro do universo, não a Terra.

Então, desafiei os alunos com o seguinte questionamento: *“Será que Copérnico desenvolveu a teoria heliocêntrica a partir da observação?”*. O aluno James pensou um pouco e respondeu: *“Não! Foi a partir do pensamento!”*.

Complementei dizendo que, para o Nicolau Copérnico, o Sol, por ser mais importante, uma vez que não viveríamos sem ele, deveria estar no centro de tudo. Ressaltei a partir dessa história a importância do pensamento no desenvolvimento da Ciência e destaquei, em seguida, o pensador Giordano Bruno que acreditava que o universo era infinito e que poderiam existir vidas inteligentes em outros planetas. Por outro lado, devido a suas ideias ousadas, ele foi morto pela Inquisição. Os alunos ficaram impressionados com a história. A aluna Lilian disse que, se fosse ele, teria ficado quieto e não teria enfrentado o poder da Igreja. Já Minerva disse que teria enfrentado assim como ele o fez. Depois, falei um pouco sobre as “descobertas” de Galileu Galilei como as imperfeições (manchas) do Sol e as montanhas e vales da Lua; disse que no caso da queda dos corpos, no vácuo, para ele, há incrementos de velocidade iguais em tempos iguais. Como ele percebeu que era sempre o mesmo valor acrescido à velocidade na queda, encontrou uma constante de aproximadamente  $4 \text{ m/s}^2$  para corpos que caíam (deslizavam) em um plano inclinado, porém não chamou isso de aceleração da gravidade. A ideia de

vácuo para Galileu era um avanço, já que a noção de “horror ao vácuo” ainda se fazia presente na época e era uma herança aristotélica; Aristóteles não admitia o movimento violento ocorrendo no vazio, pois o ar (o meio) tinha, como já mencionado, duplo papel – de empurrar e de fazer resistência, impedido, assim, que o corpo atingisse velocidade infinita

Então, escrevi no quadro que, para Galileu, se fosse possível fazer vácuo, corpos com massas diferentes cairiam ao mesmo tempo, uma vez que experimentaríamos a mesma aceleração (hoje sabemos ser a aceleração da gravidade).

Mostrei aos alunos a expressão matemática que relaciona altura e tempo durante a queda de corpos que partem com velocidade zero<sup>11</sup>. Construí uma tabela com cinco valores de tempo (de um a cinco segundos) e calculamos a respectiva altura que o corpo percorreria, neste caso, consideramos a aceleração da gravidade como sendo 10 m/s<sup>2</sup>. Falei para eles que no movimento acelerado os corpos não percorrem distâncias iguais em tempos iguais e comentei sobre o famoso experimento da torre de Pisa, na Itália, que muitos livros afirmam que Galileu teria deixado cair, do topo da torre, dois corpos de massas diferentes e que teriam atingido o solo ao mesmo tempo. Hermione disse que lera essa história em algum lugar. Perguntei se isso era possível e todos responderam que “não”. Complementei dizendo que, como há resistência do ar, não teria como caírem ao mesmo tempo.

Em seguida, vimos o vídeo da queda do martelo e da pena na Lua (já comentado no Encontro 3 da aplicação piloto).

Faltando dez minutos para terminar o encontro, mostrei os minutos iniciais do vídeo sobre a vida de Newton (também já comentado na aplicação anterior) e informei que concluiríamos no próximo encontro. Os alunos pareceram compreender as ideias de Galileu que contrariavam a visão aristotélica.

---

<sup>11</sup> Para corpos que partem do repouso em movimento de queda acelerado a relação entre altura (h) e tempo (t) é  $h = -\frac{g \cdot t^2}{2}$  para g: aceleração da gravidade.

#### 5.2.4 Encontro 4

##### Plano de Aula 4

Data: 05/11/2015

##### Conteúdo:

- Teoria da Gravitação Universal de Isaac Newton;
- Explicação da Mecânica Clássica para a queda dos corpos;
- Discussão do contexto histórico em que vivia Newton.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Refletir sobre a importância do contexto histórico em que vivia Isaac Newton para o desenvolvimento de suas ideias;
- Relacionar as ideias de Newton com as de Galileu (e com o contexto da época);
- Reconhecer a mecânica de Newton como uma nova teoria para explicar a queda dos corpos;
- Perceber que ciência não surge apenas de experiências e observações;
- Descrever aspectos da vida do cientista Isaac Newton percebendo-o como uma pessoa humana (com capacidades intelectuais geniais, mas também com fraquezas tipicamente humanas);

##### **Procedimentos:**

##### Atividade Inicial:

- Retomada das interpretações sobre a queda dos corpos segundo Aristóteles e segundo Galileu Galilei;
- Visualização de um vídeo sobre Isaac Newton<sup>12</sup>.

##### Desenvolvimento:

- Comentários iniciais sobre o vídeo;

---

<sup>12</sup> Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

- Explicação da Teoria da Gravitação Universal e interpretação da queda dos corpos segundo a teoria de Isaac Newton;
- Discussão de “força de atração gravitacional” como um conceito específico, na visão de Ausubel, para alcançar a *diferenciação progressiva* do conceito de força (mais geral e inclusivo) eventualmente presente na estrutura cognitiva dos alunos.
- Retomada do teste adaptado sobre força e movimento (Silveira *et al*, 1992) para poder partir dos conceitos alternativos buscando desconstruí-los para ensinar a interpretação de acordo com a mecânica clássica.

#### Fechamento:

- Preparação, divisão dos alunos em grupos, discussões sobre as atribuições de cada grupo para o júri simulado a ser realizado no Encontro 5.

#### **Recursos:**

- MUC;
- Computador e *datashow* (para visualizar o vídeo).

#### Referências:

- Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

#### Referências consultadas:

- Hewitt, P. G., trad.: Trieste Freire Ricci, *Física Conceitual*, 11 ed., Porto Alegre: Bookman, 2011.
- Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

#### *Relato do Encontro 4: 3 de novembro de 2015*

No início, foi feita uma retomada das aulas anteriores. Os alunos presentes lembraram-se da teoria aristotélica sobre a queda dos corpos e também comentaram sobre as ideias de Giordano Bruno e Nicolau Copérnico, abordadas no encontro anterior. Neste dia, a aluna Rita, que não tinha ido a nenhum dos encontros quis participar também da aula. Comentei brevemente sobre o estudo de Galileu Galilei a respeito da queda dos corpos. Na sequência, foi mostrado o restante do episódio da série Cosmos sobre a vida de Isaac Newton.

Após, perguntei ao grupo qual a impressão que eles tiveram do episódio. A aluna Minerva comentou que não conhecia o contexto em que Isaac Newton vivia. Lilian ficou intrigada com a inimizade mostrada na série entre Newton e Robert Hooke.

Em seguida desafiei os alunos perguntando se foi através da queda de uma maçã em sua cabeça que Newton teria elaborado a teoria da queda dos corpos. A aluna Hermione comentou que, como Newton era muito religioso (algo que o vídeo mostrava bem), possivelmente, entendeu que, como na bíblia estão escritas ideias que têm significados por trás, a queda da maçã poderia representar algo além.

Expliquei que Newton elaborou uma matemática nova para poder trabalhar a sua teoria e que foi a partir desta que conseguiram prever quando apareceria, novamente, o cometa Halley, algo também foi mostrado no episódio. Nesta parte, eu quis enfatizar a abrangência da teoria no sentido que se tratava de uma lei da Gravitação Universal.

Desenhei no quadro uma representação do Sol e da Terra e da força de atração entre eles. Lilian disse: *“Sabe o que isso me lembra, professora? Dois ímãs”*.

Aproveitei para dizer que a ideia era a mesma, porém com ímãs de mesmo polo há repulsão, já na teoria da Gravitação Universal só há atração entre as massas. Com o desenho do Sol e da Terra, representei os vetores da força e da velocidade da Terra e questionei por que a Terra não era “sugada” pelo Sol.

A aluna Minerva me questionou: “(...) *não sei se tem a ver, professora, mas por que a Lua não cai na Terra?*”. Então, expliquei que a tendência dos corpos em movimento é ficar/permanecer em movimento retilíneo e uniforme e que, na verdade, a Lua cai sobre a Terra a todo instante porque muda constantemente o sentido e a direção de sua velocidade e que só se mantém em órbita devido à sua grande velocidade. Perguntei a eles de onde vinha essa ideia e disseram era de alguma lei de Newton e completei dizendo que se tratava da 1ª lei – da Lei da Inércia. A aluna Hermione disse: “*Ah, então, a força da gravidade puxa, mas a Terra não cai no Sol por causa da velocidade!*”. Discutimos que era como um jogo, enquanto o Sol puxava para o seu centro, ela desejava andar em linha reta, resultando em um movimento aproximadamente circular. Na sequência, expliquei para Minerva que pensássemos na Lua e na Terra a partir da explicação anterior.

Mostrei a fórmula matemática da Lei da Gravitação Universal ( $F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{d^2}$ ), explicando que ela mostra que a força entre duas massas (não carregadas com carga elétrica) é de atração gravitacional e que é proporcional ao produto das massas e é influenciada pela distância (pelo quadrado da distância) que, por exemplo, quanto maior é a distância entre elas, menor é a força e vice-versa. Tratava-se da mesma força que já tínhamos estudado com o nome de força peso e que justificava a queda de uma bolinha.

Assim, essa nova interpretação de queda dos corpos fala que massas se atraem devido a uma força gravitacional e isso explica a queda dos corpos no nosso cotidiano, isto é, nas proximidades da Terra. Retomei o teste de força e movimento (Apêndice C) e discutimos de acordo com a interpretação newtoniana (visão da Mecânica Clássica). Nessa parte, tentei resgatar ideias prévias que eles apresentavam para poder interpretar de acordo com a física newtoniana.

Também comentei sobre a importância desse novo pensamento para o avanço científico. Retomei uma ideia aristotélica: em que se imaginava que só eram possíveis aqui na Terra movimentos em linha reta e que movimentos circulares eram entendidos como perfeitos e pertenciam aos céus. Comentei que para quem defendia as explicações de Aristóteles, o lançamento de projétil subiria inclinado e cairia em linha reta. Perguntei para a turma que tipo de

trajetória tem uma bola de futebol quando chutada. Todos responderam que era meio curva. Hermione questionou: “*Mas os defensores de Aristóteles nunca chutaram uma bola?*”. Respondi que achava que ou não sabiam ou não queriam acreditar, mas que não devemos tentar compreender com conhecimentos de hoje contextos muito distintos do nosso.

Nos minutos finais entreguei algumas orientações sobre o júri simulado e expliquei que seria a atividade da aula seguinte (Apêndice E). Pedi para que se dividissem em três grupos: júri, defensores de Aristóteles e defensores da Mecânica Clássica (Galileu e Newton). O grupo acabou elegendo a aluna Minerva para julgar, já que ela tinha uma característica reconhecida pelos colegas como sendo a imparcialidade. Molly, defensora do Aristóteles, ficou preocupada, pois já sabia que a teoria que defenderia era defasada. Comentei, então, que o júri iria julgar quem melhor argumentaria em defesa de sua teoria e que, na aplicação do ano passado, a teoria aristotélica fora vencedora.

No fim, agradei a presença e pedi que se preparassem para a atividade e se baseassem no que foi visto em aula, mas que se quisessem, poderiam procurar materiais extras.

### 5.2.5 Encontro 5

#### Plano de Aula 5:

Data: 10/11/2015

#### Conteúdo:

- Júri simulado: debate entre as visões de Aristóteles e da Mecânica Clássica de Newton para a queda dos corpos.

#### Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Discernir ideias de diferentes paradigmas;
- Desenvolver habilidades de argumentação;
- Posicionar-se diante de argumentos apresentados pelos grupos no jogo do “júri simulado”;
- Comparar as duas teorias estudadas sobre a queda dos corpos (visão aristotélica e a Mecânica Clássica).

#### **Procedimentos:**

##### Atividade Inicial:

- Os minutos iniciais do encontro serão dedicados ao preparo dos grupos e posicionamento das classes para adequar o ambiente ao “júri simulado”.

##### Desenvolvimento:

- Desenvolvimento das diversas etapas do “júri simulado”: defesa das ideias (Aristóteles *versus* Física Clássica) por cada grupo;
- Direito de resposta (dos grupos) – réplica, tréplica;
- Julgamento pelos jurados;
- Anúncio do grupo vencedor (grupo que melhor apresentou/argumentou as ideias por eles defendidas).

##### Fechamento:

- Comentários do professor sobre a decisão da melhor defesa (buscando esclarecer por que o júri tomou tal decisão);

- Breve avaliação junto com os alunos, ouvindo suas posições a respeito da atividade.

#### **Recursos:**

- MUC;
- Textos de apoio (já oferecidos nos encontros anteriores);
- Consulta à internet e outros itens que os alunos julgarem necessários para defender as ideias no “júri simulado”.

#### Referências sugeridas (aos alunos como preparação ao júri simulado):

- Hipermídia que trata sobre a evolução de alguns conceitos na Física. Disponível em [http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia\\_v13.html](http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia_v13.html)
- Vídeo da queda de uma pena e de um martelo na Lua. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>
- Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.
- Hewitt, P. G., *Física Conceitual*, 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- Texto 2 (Apêndice D) sobre o modelo aristotélico para a queda dos corpos.

#### *Relato do Encontro 5: 10 de novembro de 2015*

Nesse encontro, assim que os alunos chegaram dediquei vinte minutos para que os grupos se preparassem para o jogo do júri simulado. A aluna Gina, que fazia parte do grupo dos jurados, sugeriu que a sala de aula fosse organizada conforme a disposição representada na Figura 8, a seguir.

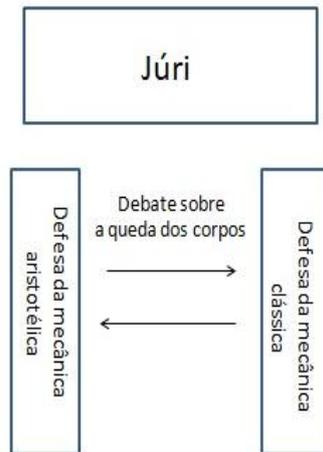


Figura 8: configuração da sala de aula e posicionamento dos alunos durante a atividade do júri simulado

Foi possível notar uma postura de liderança por parte das alunas que integravam o grupo dos jurados: Minerva e Gina. Enquanto os grupos que iriam disputar se preparavam (ideias de Aristóteles *versus* Física Clássica), eu me aproximava para saber como estava a preparação da argumentação e, algumas vezes, tirava dúvidas sobre os conceitos que tínhamos abordado.

Passados aproximadamente vinte minutos, Minerva sorteou quem iniciaria o debate. O grupo sorteado foi o encarregado da defesa da mecânica newtoniana e começou atacando a teoria aristotélica. Hermione levou uma bola de ping pong para mostrar que, ao ser lançada, descrevia uma trajetória em formato de curva e argumentou que não se movia em linha reta. Lançou a bolinha para mostrar a trajetória, tentando convencer os jurados. Em seguida, foi a vez do grupo encarregado da defesa de Aristóteles se manifestar. Lilian disse que a bolinha lançada por Hermione caía no chão porque era constituída muito mais do elemento terra e que em seu movimento tentava buscar seu lugar natural; acrescentou que isso explicava o motivo pelo qual corpos de maior massa caem mais depressa. Não se defendeu, no entanto, da acusação inicial de que a trajetória da bola era curva.

Na réplica, os defensores da mecânica clássica foram mais enfáticos e disseram que a bolinha não era formada pelo elemento terra e que não fazia sentido em falar que um corpo de maior massa tem mais “pressa” para cair, sob o argumento de que conteria mais elemento terra. Para ajudar no argumento, Hermione pegou duas folhas de papel de mesmo tamanho e amassou uma delas, manteve a outra aberta e deixou-as cair da mesma altura,

no mesmo instante. Com isso, mostrou que mesmo tendo massas iguais as folhas caíam com tempos de queda diferentes. Rony ajudou no argumento e mencionou o vídeo em que caem um martelo e uma pena na Lua, ao mesmo tempo; explicou que corpos de massas diferentes podem ter o mesmo tempo de queda, desde que não estejam sujeitas à resistência do ar, isto é, no vácuo como previa Galileu.

Para se defender das acusações de Hermione e Rony, o grupo da defesa de Aristóteles alegou que a Lua, por ser formada de éter, ou quinta essência, é perfeita e que corpos com massas diferentes poderiam cair ao mesmo tempo lá, isto é, no mundo celeste; já na Terra, por ser imperfeita, corpos de massas diferentes caem com tempos de queda diferentes, devido à tendência de buscar o lugar natural do elemento terra.

Para finalizar, Hermione e Rony disseram que a Física Clássica é uma física mais complexa e que descreve a queda dos corpos a partir de uma força de atração gravitacional e que a velocidade de queda varia da mesma forma para todos os corpos. Já o grupo adversário disse que a física aristotélica é uma física do senso comum e que muitos ainda acreditam nela sem se dar conta, daí sua grande importância e força. Por outro lado, argumentaram que por ter sido uma ideia tão antiga, desde antes de Cristo, foi inovadora para a sua época e manteve-se por séculos.

Observei que enquanto ocorria o debate, o júri anotava as considerações de ambas as defesas, isto é, o desempenho dos dois grupos.

Depois de encerrado o debate, pedi para as meninas do júri se reunir a fim de decidir qual dos grupos conseguiu melhor defender suas ideias. Elas conversaram entre si e me pediram ajuda, pois entendiam que os dois grupos estavam bem preparados e conseguiram argumentar bem em defesa de suas ideias. Então, pedi que elas pensassem bem e que decidissem, já que a ideia é que o professor não influencie na escolha do vencedor.

Dessa forma, depois de pensar um pouco mais, a aluna Minerva declarou que tinha achado muito interessante a experiência realizada por Hermione (com a bola de ping pong) e que isso favoreceu o grupo na defesa da mecânica clássica. Gina concordou com Minerva e, assim, decidiram que o grupo vencedor era o da mecânica clássica, pela quantidade de elementos

extras utilizados. Pedi para elas se juntarem ao grande grupo e informarem quem vencera e o motivo da vitória.

As alunas Lilian e Molly ficaram tristes com o resultado. Então, eu disse que, apesar de ter havido um vencedor, eu estava muito satisfeita com a dinâmica e que a atuação dos dois grupos tinha sido muito boa.

No final, agradei a presença e notei que a turma ficara muito satisfeita e empolgada com a dinâmica. Isto pareceu demonstrar que estratégias didáticas ativas, que tornam os alunos participantes efetivos, envolvem muito mais os estudantes e despertam interesse com os conteúdos estudados.

### 5.2.6 Encontro 6

#### Plano de Aula 6

Data: 17/11/2016

#### Conteúdo:

- Conceitos introdutórios da Relatividade Restrita e Relatividade Geral;
- Interpretação segundo a Relatividade Geral do movimento de queda dos corpos.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Reconhecer que ao longo do desenvolvimento científico houve diferentes explicações para o fenômeno de queda dos corpos;
- Refletir sobre o contexto em que surgiu a teoria elaborada por Albert Einstein;
- Perceber que se trata de uma nova teoria para explicar a queda dos corpos, e um novo paradigma, na visão de Kuhn.

#### **Procedimentos:**

#### Atividade Inicial:

- Explicação de conceitos básicos e introdutórios da Relatividade Restrita e comentários sobre alguns aspectos históricos da época em que Einstein viveu.

#### Desenvolvimento:

- Apresentar a noção de “curvatura do espaço-tempo” como um conceito geral e inclusivo, como propõe Ausubel, para, aos poucos, buscar alcançar a diferenciação progressiva e uma melhor compreensão das novas ideias sobre o movimento de queda dos corpos.
- Leitura e discussão de um texto (introdutório) intitulado *Albert Einstein e a explicação da queda dos corpos através da Teoria da Relatividade* (Apêndice F).

- Fechamento:Retomada dos três paradigmas, ou seja, das teorias explicativas para a queda dos corpos, e dos três momentos históricos distintos e relevantes para a evolução do pensamento científico, com o objetivo de facilitar o processo de *reconciliação integrativa*.

#### **Recursos:**

MUC;

Computador, *DataShow*;

Texto impresso (ou em meio digital se a escola oferecer condições).

#### Referências:

- Episódio oito da série Cosmos apresentado por Carl Sagan que aborda conceitos da teoria da Relatividade Restrita disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=QBd0KjqSdU0&index=8&list=PLAAAF021ED9B5C665>;
- Vídeo que ilustra a deformação do espaço-tempo através de um experimento feito com um tecido elástico e algumas esferas. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxlqpo>;

#### Referências consultadas:

- Hewitt, P. G. (2011). *Física Conceitual*, 11<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Bookman.

#### *Relato do Encontro 6: 17 de novembro de 2015*

Nesse encontro iniciei com um trecho do vídeo da série Cosmos de Carl Sagan que aborda conceitos de Relatividade Restrita. Nesse dia, a professora-orientadora do meu mestrado também participou da aula para acompanhar a aplicação da proposta.

Após mostrar vinte minutos iniciais do vídeo, os alunos presentes disseram que estava um tanto confuso. Assim, disse a eles que a ideia era mostrar o vídeo apenas para ilustrar que, em 1905, Albert Einstein havia

elaborado uma nova mecânica, totalmente diferente da mecânica clássica que havíamos discutido. Pessoalmente me senti um pouco frustrada, no início. Hermione ficou confusa com a ideia da dilatação do tempo, para corpos que se movem com velocidades próximas à da luz.

Assim, a partir de um exemplo do vídeo, tentei explicar que o tempo passaria de maneira diferente para dois irmãos gêmeos, se um deles se movesse em uma viagem espacial com velocidade próxima da velocidade da luz. Perguntei a ela se tinha assistido ao filme *Interestelar* e ela respondeu que sim. Questionei se ela se lembrava de que o piloto, depois de viajar por vários lugares do espaço (com velocidades próximas às da luz), ao retornar à Terra, encontrou sua filha mais envelhecida do que ele próprio. Ela informou que não tinha terminado de assistir o filme, mas a aluna Gina respondeu que se lembrava desta parte do filme. Hermione, então, perguntou se ao viajar de avião era possível demorar mais para envelhecer. Disse que tal fenômeno só é possível com eventos que envolvem velocidades próximas da velocidade da luz.

Na sequência, entreguei o texto que abordava aspectos qualitativos sobre as Teorias da Relatividade Especial e Geral (Apêndice F) e sugeri que lêssemos juntos, em voz alta.

Já na parte inicial da leitura, precisei interromper para explicar uma possível definição de paradigma, segundo a visão de Kuhn. Comentei com os alunos que estava usando como referencial as ideias de um Filósofo da Ciência chamado Thomas Kuhn e que, para ele, a Ciência é marcada por trocas de paradigmas, trocas de ideias que explicam os fenômenos. No nosso caso, poderíamos dizer que a teoria de queda dos corpos de Aristóteles correspondia a um paradigma; que muito tempo depois foi substituído pela explicação da mecânica de Isaac Newton e que, no decorrer da aula, veríamos um novo paradigma, o da Relatividade Geral, para explicar o mesmo fenômeno de queda dos corpos.

Na leitura do texto, quando passamos pela figura do quadro de Salvador Dali – *A persistência da memória*, perguntei se já tinham visto aquela imagem. A aluna Gina disse que já tinha visto o relógio mole, mas não conhecia o quadro. Comentei, então, que a sociedade da época, ou seja, no início do séc. XX foi influenciada por essa nova ideia de tempo proposta por Einstein, como

no caso do artista Salvador Dalí, representando um relógio mole com o objetivo de mostrar que o tempo não poderia mais ser interpretado como algo absoluto ou rígido.

No texto apareceu a noção de espaço-tempo. Pedi para a aluna Gina imaginar uma situação em que ela iria marcar com a amiga Hermione para assistirem uma sessão de cinema, no sábado à tarde. Perguntei, então, o que deveria ela informar à amiga para que pudessem se encontrar. Ela respondeu: “*Eu vou dizer a hora e o lugar*”. Assim, concluí dizendo que espaço e tempo estão diretamente relacionados.

Em seguida, estudamos os postulados da Relatividade Restrita e procurei explicar o significado de referencial inercial; mostrei, de maneira superficial a ideia de dilatação do tempo (a partir do já mencionado paradoxo dos gêmeos) e abordei a contração do espaço. Os alunos mostraram-se bastante interessados com os novos conceitos, porém acharam difícil de aceitá-los. A aluna Gina disse: “*Nossa! Isso é bizarro!*”. Comentei que “*Se para vocês é difícil de aceitar, imaginem para a época?*” e enfatizei que o objetivo de mostrar fenômenos descritos pela Teoria da Relatividade Restrita era para que eles tivessem uma noção sobre a existência de uma nova Mecânica na Física, que se mostrou mais abrangente que a Mecânica de Newton.

Retomei com os alunos o objetivo da oficina, que era estudar diferentes explicações da queda dos corpos, distintas interpretações do mesmo fenômeno e comentei que a interpretação de Einstein sobre a queda dos corpos era um novo paradigma. Informei que Einstein publicara o artigo sobre a Teoria da Relatividade Geral em 1915 e que já estávamos comemorando 100 anos da publicação dessa ideia.

Seguimos com a leitura do texto em voz alta. A aluna Hermione comentou que já tinha visto a Figura 7 (curvatura do espaço-tempo) do texto em algum episódio do desenho dos Simpsons. Perguntei como era, pois não conhecia, mas ela não soube explicar em detalhes. Comentei que tentei fazer o experimento com uma bacia, mas não deu muito certo, então achei melhor levar um vídeo para ilustrar a ideia da curvatura do espaço-tempo<sup>13</sup>.

---

<sup>13</sup> Vídeo que ilustra a ideia da curvatura do espaço-tempo a partir de uma experiência feita com tecido flexível e várias esferas. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxlqpo>

Nesse vídeo é representado um experimento em que em um tecido flexível é colocada uma esfera massiva e, em seguida, são jogadas esferas menores. Antes de passar o vídeo, mostrei a captura inicial do experimento ilustrado por ele e expliquei que o espaço-tempo seria como o tecido mostrado e que corpos massivos, como, por exemplo, uma estrela, o Sol, a Terra podem deformar o espaço-tempo nas suas proximidades. Hermione questionou: “*Então, é porque ele é reto (o espaço-tempo)?*”. Respondi que sim e que um corpo massivo pode deformá-lo. Hermione ficou encantada com o vídeo e disse: “*Sério? Não acredito que é assim! (...) É muito interessante!*”.

Então, expliquei dizendo que para Albert Einstein a atração dos corpos não é pensada a partir da ideia de força, mas sim por questões geométricas, ou seja, pela deformação do espaço-tempo causada por massas muito grandes. A partir dessa ideia, expliquei que a luz de uma estrela também sofreria desvio ao passar próxima do Sol, por exemplo. Mencionei que isso pode ser detectado, em 1919, quando ocorreu um eclipse visto em Sobral, cidade do Ceará. Ao finalizar essa parte, Hermione disse: “*Então, a queda dos corpos é por causa da deformação do espaço-tempo!*”.

No final do encontro, retomamos as três teorias sobre a queda dos corpos: a aristotélica, a da mecânica clássica e a da Relatividade Geral e revisitamos as principais ideias. Pedi, então, aos alunos presentes para responder a questão um que estava no fim do texto: 1) *Faça uma representação das três teorias vistas a respeito da queda dos corpos*. Nesta parte, meu objetivo foi incitar um processo de *reconciliação integrativa* como proposto pelo referencial teórico adotado, *aprendizagem significativa* de David Ausubel, para que os alunos alcançassem um melhor entendimento através da comparação das teorias.

Como estávamos com pouco tempo, pedi para que desenhassem no quadro. Inicialmente, os alunos estavam envergonhados, mas com ajuda representaram no quando as três teorias trabalhadas ao longo da Oficina, conforme se pode ver na Figura 9.



Figura 9: alunas representando no quadro as três teorias estudadas sobre a queda dos corpos, no último encontro da Oficina aplicada em 2015.  
Fonte: fotografia feita pela professora orientadora.

O resultado da dinâmica será apresentado e discutido no próximo capítulo. No final do texto, ainda havia uma questão para discutirmos a respeito do fazer ciência: 2) *Analizamos, no decorrer das oficinas, duas grandes mudanças de paradigmas ou visões de mundo a respeito da queda dos corpos. Como podemos interpretar tais mudanças de acordo com a teoria de Thomas Kuhn?* Contudo, tive que finalizar a aula, pois havia acabado o tempo. Dessa forma, solicitei que pensassem a respeito para que pudéssemos tratar no próximo encontro.

### 5.2.7 Encontro 7

#### Plano de Aula 7

Data: 24/11/2015

#### Conteúdo:

- Revisão das três teorias trabalhadas para explicar o movimento de queda dos corpos;
- Interpretação da Ciência de acordo com a visão de Thomas Kuhn a partir da ideia de distintos paradigmas sobre a queda dos corpos.
- Fechamento da oficina.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Perceber que abordamos três diferentes teorias para explicar o mesmo fenômeno: a queda dos corpos;
- Intuir que, de acordo com Thomas Kuhn, a Ciência evolui através da dinâmica das Revoluções Científicas, caracterizadas pela troca de explicações teóricas, que representam distintas visões de mundo;
- Reconhecer conceitos da Epistemologia de Kuhn como: paradigmas, revoluções científicas, visões de mundo incomensuráveis etc.

#### **Procedimentos:**

##### Atividade Inicial:

- Retomada junto com os alunos das três explicações vistas nas aulas anteriores para a queda dos corpos.

##### Desenvolvimento:

- Apresentação explícita de algumas ideias da visão epistemológica de Kuhn (isto é, principais conceitos como paradigma, ciência normal, revoluções científicas, crise paradigmática, incomensurabilidade);
- Discussão sobre a importância de compreender o processo de desenvolvimento da Ciência;
- Entrega e preenchimento do teste sobre aspectos da Natureza da Ciência, o mesmo que foi preenchido no Encontro 1 (Apêndice B), com o

objetivo de verificar se houve evolução ou transformação das concepções.

#### Fechamento:

- Questões finais sobre o estudo do movimento de queda dos corpos e avaliação da oficina (Apêndice H).
- Reflexão sobre o fazer científico.

#### **Recursos:**

- MUC:
- Computador, *DataShow*.
- Teste impresso sobre aspectos da natureza da ciência a ser entregue a cada aluno (Apêndice B).

#### Referências:

- Teste sobre a Natureza da Ciência<sup>14</sup> adaptado de Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134. (Apêndice B).
- Vídeo que demonstra a curvatura do espaço-tempo a partir de um experimento em um tecido flexível com esferas. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxlqpo>.

#### *Relato do Encontro 7: 24 de novembro de 2015*

No início, a aluna Lilian justificou que faltara no encontro anterior, pois era época de provas trimestrais e ela disse que ficara em casa estudando Matemática. Assim, pedi para os alunos que estavam presentes no encontro anterior para que resumisse o que tínhamos visto para que a Lilian pudesse

---

<sup>14</sup> Este é o mesmo teste utilizado no encontro 1.

acompanhar. Gina começou o resumo dizendo que tínhamos visto um vídeo sobre uma teoria elaborada por Albert Einstein, porém ela era um pouco difícil. Na sequência, Hermione comentou sobre os postulados da Teoria da Relatividade especial, sobre a contração do espaço. A aluna Gina lembrou o paradoxo dos gêmeos para explicar a dilatação do tempo. Comentei que o GPS utiliza os princípios da relatividade para seu funcionamento.

Expliquei novamente que o objetivo, ao abordar as ideias básicas da Relatividade Especial era apenas mostrar que no início do século XX surgiu uma nova Física que era mais abrangente que a Física de Newton.

Solicitei a Gina e Hermione que representassem, novamente, a teoria da queda dos corpos segundo Albert Einstein para explicar à colega Lilian. Elas pediram para a colega imaginar um imenso lençol e que a Terra seria, por exemplo, um corpo muito massivo que o deformaria. Ajudei na explicação e pedi para que ela olhasse a Figura 7 do Texto 4 (Apêndice F).

Disse-lhe que aquilo que as colegas haviam dito que era um lençol, para Albert Einstein era o espaço-tempo. Lilian, então, afirmou: *“Deformação do espaço-tempo? E era o Aristóteles que era louco, viu, sora?”*.

Gina explicou que a luz também sofreria desvio devido a essa deformação: *“Ela iria passar bem retinho, entende? Só que daí teve essa deformação da Terra e, na verdade, ela está passando um pouquinho torta!”*. Mas Lilian mostrou-se intrigada com toda a explicação e questionou: *“Isso é verdade, sora?”*.

Respondi que esta é a teoria aceita atualmente, que é amplamente usada na Astronomia e na Cosmologia. Comentei sobre o eclipse de Sobral, de 1919, e as alunas refizeram o esquema no quadro.

Gina explicou para a colega: *“Ela (a estrela) era para estar em um lugar, mas, por causa da deformação, estava em outro. Meio que foi comprovado (comprovada a ideia de deformação do espaço-tempo a partir do eclipse)!”*.

Complementei dizendo que há muita matemática por trás dessa teoria, entretanto, em nossa oficina a abordagem seria superficial, apenas qualitativa. Informei que foram feitos cálculos embasados na Teoria da Relatividade Geral para prever a posição da estrela e que, através do eclipse, tal teoria foi comprovada. Mostrei, novamente, o vídeo que demonstra um experimento com esferas em um lençol deformado, já visto no Encontro 6. Disse que, no caso da

queda dos corpos, a Terra deforma o espaço-tempo e os objetos caem devido a essa curvatura.

A aluna Hermione perguntou se não estudaríamos Física Quântica. Respondi a ela que, infelizmente, não, pois não era assunto da oficina, mas que o tema era importante. Comentei que essa Física não é compatível com a Teoria da Relatividade elaborada por Albert Einstein e que isso abre um caminho para o surgimento de uma nova teoria que poderá ligar as duas. Enfatizei que a construção da Ciência continua e que ela não para. Depois disso, a aluna Lilian disse: “Sempre tem alguma coisa para aprender!”.

Retomei a questão número dois vista no final do último encontro. Li a questão em voz alta, mas eles se dispersaram um pouco e me perguntaram como era o mestrado. Depois de tirar as dúvidas, liguei o assunto com o meu referencial epistemológico. Falei que meu projeto de mestrado estava relacionado com a teoria de Thomas Kuhn, um físico que se questionou, assim como outros pensadores, sobre como se faz Ciência, e que existe uma área do conhecimento que se chama Filosofia da Ciência que estuda como ela é feita. Comentei que para a Filosofia da Ciência não existe uma única maneira de se fazer Ciência e que, possivelmente, eles já tinham estudado o tal “método científico” que diz que temos que seguir algumas etapas, como uma receita de bolo: observe, formule hipóteses, etc. Hermione disse: “*É! Estudamos isso em Ciências!*”. Então, eu comentei que seria interessante que os biólogos também estudassem Filosofia da Ciência para poder ampliar a visão de mundo. E Gina complementou: “*É! Não se faz Biologia, também, só com um método!*”.

Continuei falando sobre Thomas Kuhn. Mencionei a obra *A Estrutura das Revoluções Científicas* como um livro muito importante para o estudo da Filosofia da Ciência. Em seguida, expliquei que, para este filósofo da Ciência, existem paradigmas, teoria para explicar um fenômeno. Resgatei a teoria aristotélica para explicar a queda dos corpos e disse que este seria o primeiro paradigma estudado. Pedi para tentarem resumir no quadro tal paradigma. Enquanto a aluna Lilian ia até o quadro para representar a teoria de Aristóteles, a aluna Gina me questionou se eles estudariam desta maneira, no Ensino Médio. Tive que dizer que possivelmente não, pois o perfil da escola era voltado para o conteúdo e este foi o motivo que escolhi aplicar o projeto em

forma de oficina. Hermione, então disse: “Ah, paradigma é uma explicação!”. E respondi que podemos interpretar assim.

Expliquei que o paradigma de Aristóteles não deu conta de explicar alguns fenômenos como, por exemplo, os movimentos curvos. E, ao notarem que o paradigma tem falhas, e existe uma nova teoria (explicação) que consegue superá-las, haverá uma troca e esta se caracteriza como uma Revolução Científica. E foi o que aconteceu ao trocarmos a explicação aristotélica pela Física Clássica.

Na sequência, retomamos a ideia de força peso e atração gravitacional, comentei que ocorreu outra Revolução Científica ao trocar a Física Clássica pela Relatividade e que estas trocas acontecem com teorias totalmente diferentes umas das outras. Resumi, então, com o auxílio do quadro, que ocorreram duas Revoluções Científicas ao trocar um paradigma (uma explicação) pelo outro (pela outra). Perguntei se era possível que tivéssemos outra troca de paradigmas e Gina respondeu: “Certamente!”.

Na sequência, Hermione perguntou se tinha outros temas interessantes para poder fazer novas oficinas. Comentei que há temas muito interessantes como Física Quântica, por exemplo, já que eu sabia que ela tinha curiosidade diante deste tema.

No final, entreguei o teste com questões para investigar as concepções sobre a Natureza da Ciência, que eles já tinham respondido no primeiro encontro. (Apêndice B) e mais quatro questões para responderem, individualmente, (Apêndice H). As respostas estão disponíveis no próximo capítulo.

Pedi para que tivessem cuidado ao responder às questões, mas, em especial, na questão quatro. Li em voz alta e questionei-os. Responderam-me que a oficina ajudou bastante a entender a queda dos corpos. Comentei que eles estudarão, no Ensino Médio, a interpretação Clássica, explicação da queda a partir da ideia de atração entre as massas. Lilian complementou: “O negócio vai para cima, mas a força é para baixo!”. Então, eu disse que sim, mas lembrando de que não consideramos a resistência do ar.

Ao dar continuidade, perguntei como que eles pensavam que se fazia Ciência, antes de frequentar as oficinas. Hermione disse: “*Nunca tinha pensado!*”. Já Lilian: “*Sabe daquela história do Newton que ele estava embaixo*

*de uma árvore e uma maçã caiu na cabeça dele? Eu achava que era assim! Que não existia: “Eu vou ser cientista e vou descobrir as coisas”. Pra mim, o cientista se tornava cientista, quando uma coisa acontecia contigo, como se existissem sinais!”. Então, perguntei como era a visão dela agora e ela respondeu: “Quando tu quer fazer alguma coisa, tá curioso, quer descobrir, então tu vai atrás daquilo! Procura materiais mais antigos, de cientistas mais antigos e faz a tua teoria!”. Hermione ficou pensando e disse: “Que loucura!”. Então disse a ela: “Viu, Hermione? Se tu quiser ser cientista, seja! Todos podem!”. Ressaltei que a Ciência é feita por seres humanos e que o episódio de Cosmos sobre a vida de Newton mostrou um pouco essa ideia ao representá-lo pegando o quadro do Hooke e jogando na fogueira, pois não gostava de tal cientista. Na sequência, Lilian falou mais: “Quando eu era pequena, eu tinha um colega que dizia que queria ser cientista. E eu dizia: ‘Não viaja! Não é qualquer um (que pode ser cientista)!’”.*

Continuei questionando-os: “Estamos tão acostumados a pega o livro didático e ver que o conteúdo é assim e pronto! A oficina trouxe uma nova visão para vocês?”. Gina se manifestou: “Na aula, vemos o que está no livro e não temos como contestar! É como se (o conteúdo) fosse um postulado! Já na oficina, tu veio com toda uma filosofia pra cima da gente!”.

Finalizei dizendo que eu queria mostrar a eles que a Ciência não é algo estático e que não existe o tal do “método científico”. Além disso, há uma história por trás que acompanha essa construção humana. Agradei a presença dos alunos que estavam presentes e valorizei muito isso, já que eles poderiam aproveitar as tardes de terça-feira com outras atividades. E que fiquei muito feliz por eles terem participado da aplicação do projeto. Despedi-me e desejei felicidades, já que era nosso último encontro.

## **6. DISCUSSÕES E RESULTADOS**

Como já dito, a aplicação das oficinas teve por objetivo trabalhar o tópico queda dos corpos a partir de diferentes explicações surgidas ao longo da História da Ciência e introduzir explicitamente conceitos da Epistemologia de Thomas Kuhn. Esperava que os alunos tivessem uma compreensão da atividade científica mais adequada, possibilitando uma visão mais crítica a respeito do papel da ciência e do trabalho dos cientistas. Para auxiliar neste processo, refletindo a maneira como o aluno aprende, a teoria da *aprendizagem significativa* de David Ausubel foi utilizada como aporte teórico. Não nos baseamos em evidências diretas de aprendizagem significativa (e.g., provas ou testes), mas em indícios relacionados com atividades desenvolvidas em aula e em algumas falas gravadas durante os encontros e posteriormente transcritas.

É importante destacar que, por mais que a teoria de Ausubel se baseie em conceitos prévios e a de Kuhn na incomensurabilidade de paradigmas, entendemos que estes referenciais podem ser usados juntos, uma vez que o primeiro está preocupado em entender como o indivíduo aprende e o segundo, em como ele percebe o desenvolvimento da ciência.

Os resultados mostraram, tanto na aplicação piloto de 2014 quanto na segunda aplicação de 2015, que é possível desenvolver uma sequência didática com um caráter histórico e filosófico para ensinar conceitos de Física no Ensino Fundamental. Todas as discussões feitas nesta dissertação são qualitativas, isto é, não tivemos a pretensão de quantificar o conhecimento adquirido pelos alunos.

Com o objetivo de mapear concepções sobre a natureza da ciência, foi aplicado um teste tanto para a turma de 2014 (Apêndice A), quanto para a de 2015 (Apêndice B). O Quadro 3 mostra as respostas escolhidas pela maioria para cada afirmativa presente no teste. São comparadas apenas as respostas dos alunos que responderam o teste tanto no primeiro encontro quanto no último para saber se houve mudança nas concepções, já que nem todos, que frequentaram a oficina, responderam o teste nos dois momentos. Em 2014, foram seis respostas obtidas e, em 2015, três.

Quadro 3: apresentação das respostas escolhidas pela maioria para as questões sobre Natureza da Ciência aplicadas no primeiro e no último encontro nas duas aplicações da oficina.

Questão	Aplicação piloto		Segunda Aplicação	
	1º encontro (pré-teste)	6º encontro (pós-teste)	1º encontro (pré-teste)	6º encontro (pós-teste)
1. Todo conhecimento científico (as leis e teorias da Física, por exemplo) é provisório, isto é, pode mudar com o tempo.	<i>Concorda fortemente</i>	<b>Concorda fortemente</b>	<i>Concorda fortemente</i>	<b>Concorda fortemente</b>
2. Quando dois cientistas observam o mesmo fato ou fenômeno, eles devem chegar obrigatoriamente às mesmas conclusões.	<i>Discorda fortemente</i>	<b>Discorda</b>	<i>Discorda fortemente</i>	<b>Discorda</b>
3. Todas as leis e princípios da Ciência nascem a partir de cuidadosas observações e muitas anotações de dados.	<i>Concorda</i>	<b>Concorda fortemente</b>	<i>Concorda</i>	<b>Concorda fortemente/ Concorda/ Discorda</b>
4. Todo conhecimento científico resulta da aplicação sistemática de um método científico (ou seja, um conjunto de passos que leva às leis e teorias).	<i>Concorda</i>	<b>Discorda</b>	<i>Discorda</i>	<b>Discorda fortemente</b>
5. Tudo aquilo que não é passível de comprovação experimental (isto é, que não pode ser submetido a testes de laboratório) não pode ser considerado (ou designado) conhecimento científico.	<i>Discorda</i>	<b>Discorda</b>	<i>Discorda/ Discorda fortemente</i>	<b>Discorda/ Discorda fortemente</b>
6. Ao fazer um experimento, o cientista deve observar o fenômeno puro (como é de fato), sem elaborar nem levar em conta suas concepções ou intuições prévias.	<i>Discorda</i>	<b>Discorda</b>	<i>Concorda/ Indeciso/ Discorda</i>	<b>Discorda</b>
7. Existe apenas um método científico, geral e universal, para produzir o conhecimento científico.	<i>Discorda fortemente/ Discorda</i>	<b>Discorda fortemente</b>	<i>Discorda</i>	<b>Discorda fortemente</b>
8. As explicações científicas os enunciados científicos são necessariamente verdadeiros e definitivos.	<i>Discorda</i>	<b>Discorda</b>	<i>Discorda fortemente</i>	<b>Discorda fortemente</b>
*9. Pode-se dizer que a ciência é uma construção humana e, por esta razão, pode conter erros, imprecisões que, com o passar do tempo, podem ser corrigidas, aperfeiçoadas.	-	-	<i>Concorda</i>	<b>Concorda fortemente</b>
*10. No processo da Ciência, alguns elementos como criatividade, imaginação, intuição também são importantes.	-	-	<i>Concorda fortemente</i>	<b>Concorda fortemente</b>

\* As questões 9 e 10 foram acrescentadas ao teste e somente aplicadas aos alunos da oficina de 2015, visando melhor mapear as concepções sobre a natureza da ciência.

É interessante notar que os alunos já apresentavam algumas concepções alinhadas à Filosofia da Ciência Contemporânea. Nas questões 1 e 8 parece que a maior parte dos alunos acreditava (e continuou acreditando) que a ciência produz o conhecimento mutável, provisório. Isto está de acordo com as visões contemporâneas da natureza da ciência.

As questões 2 e 6 também estavam correlacionadas. Os alunos de 2014 foram coerentes, tanto no pré quanto no pós-teste, mostrando acreditar na importância das concepções prévias dos cientistas ao fazer ciência. Por outro lado, os alunos da aplicação de 2015, no pré-teste se dividiram nas respostas, porém mostraram uma melhora no pós-teste o que pode estar indicando uma contribuição positiva da oficina.

Em relação às questões 4 e 7, estas apresentavam a mesma ideia, ou seja, verificar crenças sobre a existência de um método científico fixo, imutável. Percebemos que as repostas do pré-teste dos alunos de 2014 foram não adequadas, mas evoluíram no pós-teste, como era esperado. Possivelmente, esses alunos carregavam representações sociais comumente passadas pela mídia a respeito do método científico e verificamos que as discussões realizadas ao longo dos encontros conseguiram modificar essa noção de forma que suas respostas no pós-teste foram coerentes, parecendo não mais acreditarem na existência de um único método universal para se fazer ciência. Já os alunos de 2015, apresentaram no pré-teste uma visão adequada, característica que pode ter sido influenciada a partir de algumas breves e superficiais discussões realizadas, naquele ano, durante as aulas regulares. De qualquer modo, as respostas no pós-teste a estas questões passaram a ser “discorda fortemente” para todos os respondentes, indicando que a oficina ajudou a solidificar essa visão.

Algo que surpreendeu e trouxe um pouco de preocupação foi o desempenho observado na questão 3. Os alunos, aparentemente continuaram com o pensamento de que invariavelmente *as leis são feitas a partir de observações*. Apesar de todas as abordagens feitas em aula, especialmente no segundo e quarto encontros, com exemplos de Aristóteles e Newton que visavam mostrar que não era exclusivamente do experimento que se obtinham as teorias, tal concepção inadequada se mostrou persistente na estrutura cognitiva da maioria dos alunos. Possivelmente seja necessário mais tempo e

novas argumentações para conseguir transformar essa ideia, que se mostra enraizada.

As questões 9 e 10 foram adicionadas na aplicação de 2015: *ciência como construção humana e importância da criatividade, imaginação para fazer ciência*. Foi notável que os alunos apresentaram opiniões adequadas no pré-teste e estas prevaleceram até o encontro final da oficina.

Como visto, os alunos mostraram algumas crenças equivocadas no primeiro encontro, com relação à Filosofia da Ciência. Várias questões do teste foram retomadas em alguns encontros de forma explícita para poder partir de tais ideias e tentar mostrar uma nova visão, mais adequada às visões da filosofia da ciência de Thomas Kuhn, que foi assumido como referencial epistemológico em nossa proposta. Assim, o conceito já presente na estrutura cognitiva do aluno serviu como “ancoragem” para discutir novas ideias e para auxiliar no processo de assimilação e/ou enriquecimento do conhecimento, conforme propõe David Ausubel.

Para trabalhar o papel do experimento na ciência, instiguei-os a um debate que tinha por objetivo tentar resgatar a questão 4, do teste sobre Natureza da Ciência, respondida no primeiro encontro. Com relação à turma de 2014, o aluno Linus comentou que o tal método fora visto na aula de Ciências e, então, questionei a turma sobre a existência de uma maneira única para fazer ciência. Esse debate possibilitou, por exemplo, que a aluna Marcie compreendesse que as hipóteses, o pensamento é importante e, em geral, antecede o experimento, uma vez que é necessário pensar primeiramente até mesmo para construir e sofisticar o experimento.

Na turma de 2015, no terceiro encontro, ao responderem a primeira questão do texto intitulado *Onde existe matéria, sempre existem forças em jogo* (Anexo 2), foi possível verificar divergências nas respostas. A aluna Minerva, por exemplo, disse acreditar que o experimento era o mais importante. A Figura 10 mostra essa resposta.

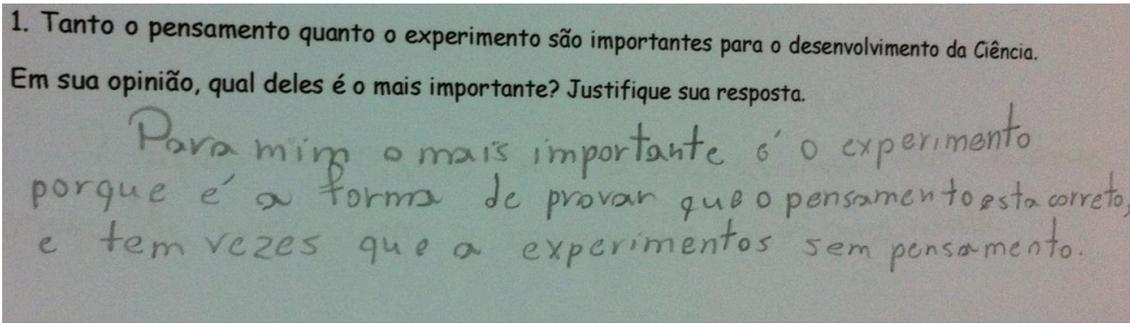


Figura 10: apresentação da resposta da aluna Minerva sobre a importância do pensamento e do experimento para o desenvolvimento da Ciência. (Transcrição da resposta: "Para mim o mais importante é o experimento por que é a forma de provar que o pensamento está correto, e tem vezes que a (há) experimentos sem pensamento").

Já para a aluna Hermione, por exemplo, o pensamento é o mais importante, como mostra sua resposta na Figura 11.

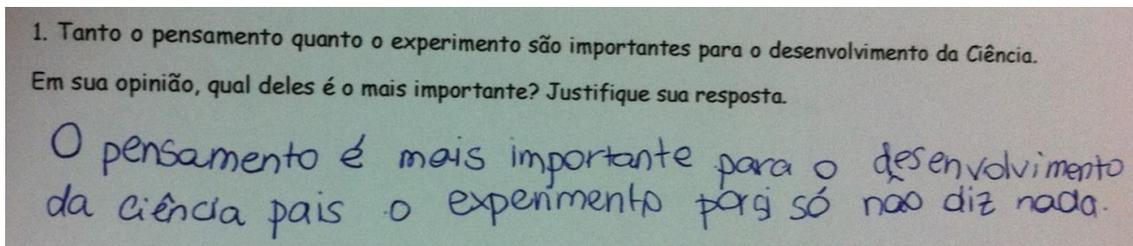


Figura 11: apresentação da resposta da aluna Hermione sobre a importância do pensamento e do experimento para a Ciência. (Transcrição da resposta: "O pensamento é mais importante para o desenvolvimento da ciência pois o experimento por si só não diz nada").

Foi interessante que essa divergência de posições propôs o primeiro debate com opiniões diferentes entre os alunos do grupo de 2015. No dia, assim que a aluna Minerva expôs sua opinião, os colegas James e Hermione discordaram, ao dar mais importância para o pensamento, abrindo um debate foi muito importante para tirá-los de uma zona de conforto em que se colocavam até então, isto é, em geral concordavam com as opiniões dos colegas. A dinâmica tinha por objetivo fazê-los pensar um pouco sobre a ideia de que não é a partir unicamente do experimento e da observação que se obtém o conhecimento científico.

Na aplicação piloto, no quarto encontro, propus o debate sobre experimento *versus* teoria. A aluna Marcie mostrou que acreditava que a teoria se origina a partir da observação quando manifestou que teria sido a partir da queda da maçã que Newton havia elaborado sua teoria, dizendo: "ah, foi assim que ele descobriu a força peso!". Argumentei que não interpretaríamos dessa forma o desenvolvimento da ciência e busquei mostrar que Newton elaborou uma teoria baseada em uma matemática relativamente complexa, fez uso de

criatividade e imaginação e que possivelmente não se originou a partir de experimentos, pelo menos não só deles.

Com o objetivo de desmistificar o estereótipo do cientista, percebendo-o como um ser humano, com imperfeições e caracterizado por um contexto social, mostrei o episódio da série *Cosmos* sobre Isaac Newton. Os alunos, em geral, disseram ter adorado assistir. O grupo de 2015 se disse surpreso com a inimizade existente entre Isaac Newton e Robert Hook.

Ao perguntar aos presentes no último encontro de 2015 se já tinham refletido sobre como se faz ciência, surpreendi-me com as respostas. Hermione disse que nunca antes tinha refletido; já a aluna Lilian mostrou que sempre tivera ideias alternativas: *“Sabe daquela história do Newton que ele estava embaixo de uma árvore e uma maçã caiu na cabeça dele? Eu achava que era assim! Que não existia: “Eu vou ser cientista e vou descobrir as coisas.”. Pra mim, o cientista se tornava cientista, quando uma coisa acontecia (...) como se existissem sinais! (...) Quando eu era pequena, eu tinha um colega que dizia que queria ser cientista. E eu dizia: ‘Não viaja! Não é qualquer um (que pode ser cientista)!’”*. Com esta fala conseguiu demonstrar que passou a ver o trabalho dos cientistas de uma nova maneira. Lilian continuou: *“Quando tu quer fazer alguma coisa, tá curioso, quer descobrir, então tu vai atrás daquilo! Procura materiais mais antigos, de cientistas mais antigos e faz a tua teoria!”*.

Essa mudança de concepção foi tomada como um indicativo do quanto uma oficina marcada por debates e reflexões explícitas sobre a natureza da ciência é favorável para uma visão mais adequada a respeito do “fazer ciência”.

Dentre as quatro questões (Apêndice H) apresentadas aos alunos para finalizar a oficina, três delas proporcionaram uma reflexão sobre a natureza da ciência (1. A partir do que foi discutido nos encontros, podemos afirmar que existe apenas um método de se fazer Ciência? Justifique.; 2. *Podemos dizer que as afirmações científicas são definitivas? Justifique;* 3. *Você acha que é possível que, no futuro, exista uma teoria que substitua a da Relatividade, uma vez que esta não é compatível com a mecânica do mundo microscópico (Mecânica Quântica)? Justifique).*

Para a primeira questão, todas as respostas foram contrárias à existência de um método único de fazer ciência. Um exemplo de resposta é a

da aluna Lilian que está representada na Figura 12. Alguns já tinham essa concepção, mas a oficina reforçou.

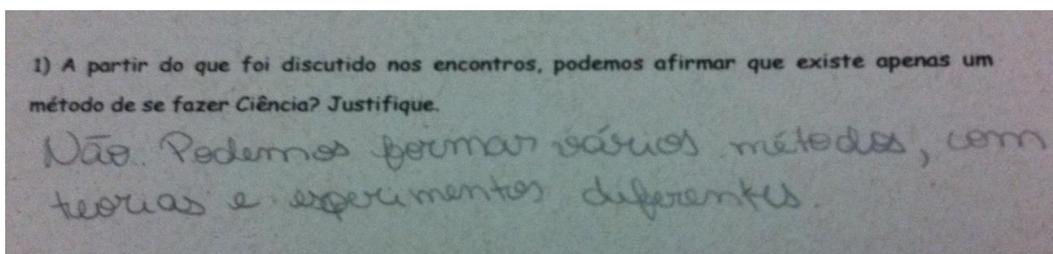


Figura 12: apresentação da resposta da aluna Lilian sobre a existência de um método de se fazer Ciência. (Transcrição da resposta: “Não. Podemos formar vários métodos, com teorias e experimentos diferentes”).

Na segunda questão, foi unanimidade a colocação de que não há afirmações definitivas, sendo também reforçado durante os encontros que as leis e teorias não são fixas e imutáveis. Ilustramos com a resposta da aluna Hermione, representada pela Figura 13.

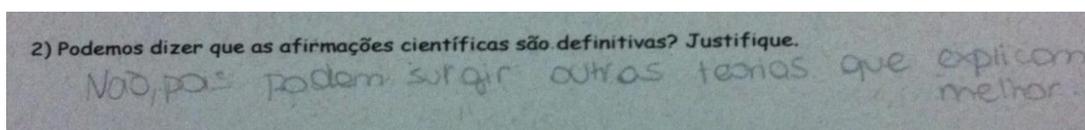


Figura 13: resposta da aluna Hermione negando que as afirmações científicas são definitivas. (Transcrição da resposta: “Não, pois podem surgir outras teorias que explicam melhor”).

Em relação à questão três, todos escreveram que é possível que a Teoria da Relatividade seja substituída no futuro, mostrando acreditarem em um caráter provisório das teorias. A Figura 14 representa a resposta dada pela aluna Gina.

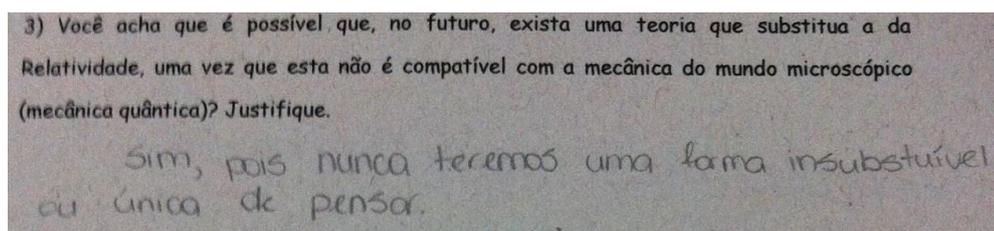


Figura 14: apresentação da resposta da aluna Gina sobre a possível substituição da Teoria da Relatividade e avaliação da oficina. (Transcrição da resposta: “Sim, pois nunca temos uma forma insubstituível ou única de pensar”).

O sétimo encontro da aplicação de 2015 proporcionou a oportunidade de fazer um debate muito enriquecedor sobre a natureza da ciência. Os alunos mostraram discernimento para fazer uma comparação entre o que pensavam antes e depois da oficina a respeito da atividade científica.

Com o objetivo de aprofundar conceitos de Mecânica Clássica, que em geral são introduzidos no último ano do Ensino Fundamental, um teste para

investigar concepções que os alunos apresentavam sobre força e movimento foi aplicado no início da oficina (em 2014 e em 2015). O resultado de ambas as aplicações mostrou que eles apresentavam a ideia de que em um lançamento vertical, uma força acompanha o objeto e a velocidade vai diminuindo conforme ele sobe e à medida que a força diminui. Esta concepção pode mostrar que houve falha em minha apresentação desse conteúdo na aula regular. Mas isto não garantiria que se houvesse uma explicitação da não existência de força que acompanha o objeto em seu movimento violento ou forçado<sup>15</sup> por uma causa externa, como propunha Aristóteles, tal concepção não sobreviveria.

As respostas serviram de suporte para a dinâmica do quarto encontro. Assim, esperava que as concepções prévias interagissem com as novas ideias apresentadas sobre a teoria de Newton e que à medida que fôssemos trabalhando de maneira mais detalhada e pormenorizada, ocorresse o processo de *assimilação* dos fundamentos da mecânica newtoniana e de *diferenciação progressiva*. No último encontro de 2015, Lilian conseguiu verbalizar que entendeu a relação de força e movimento de um objeto lançado para cima sem resistência do ar: “*O negócio vai para cima, mas a força é para baixo!*”.

Outro aspecto da mecânica que foi discutido e era novo para os alunos foi a “força de atração gravitacional” e o estudo da expressão da Lei da Gravitação Universal ( $F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$ ). No quarto encontro, comentei que se tratava de uma lei que descrevia a força de atração gravitacional que é proporcional ao produto das massas e influenciada pela distância entre elas. Os alunos pareceram ter entendido e manifestaram ter gostado.

Com a atividade do júri simulado, foi possível verificar o quanto os alunos aprenderam a respeito das duas primeiras teorias estudadas sobre a queda dos corpos (aristotélica e newtoniana). Esta dinâmica proporciona momentos de preparação com aprofundamento nos assuntos debatidos, já que

---

<sup>15</sup> Destacamos que a partir do séc. VI apareceu outra ideia para explicar o movimento (violento) com Philiponos (475-565), que se desenvolveu grandemente ao longo do séc. XIV com Jean Buridan (1297-1358), que foi a do movimento definido por uma causa interna ao objeto. A força seria impressa (no objeto) pelo agente motor que o coloca em movimento (por exemplo, a mão que lança a bola para o alto). Esta ideia é chamada habitualmente “*teoria do ímpetus*” (embora haja outras denominações como “*impressão do movimento*”, “*habitus*”, “*vis impressa*”, entre outras).

os alunos devem defender, cada grupo, uma das teorias, argumentando e mostrando o quanto sabem a respeito delas.

Durante o júri simulado de 2014, nem todos participaram, uma vez que era época de provas trimestrais finais. A aluna Sally teve que sair do corpo de jurados para fazer parte do grupo que defendia a Mecânica Clássica, que estava desfalcado. A dupla defensora da mecânica newtoniana mostrou estar bem preparada, com bons argumentos para tentar derrubar as ideias aristotélicas, conforme o relato em diário de bordo<sup>16</sup> desse encontro: “*ao levantar a ideia de que, se o ar deve subir (buscar seu lugar natural), por qual motivo um balão de festa que enchemos (de ar) não sobe? Isso foi dito buscando questionar e derrubar as ideias da teoria aristotélica. Além disso, em defesa da Física Clássica, comentaram que esta explica tanto o movimento de uma bola jogada para cima quanto o movimento dos planetas e lembraram do vídeo feito na Lua (mostrado na aula anterior) em que “a pena e o martelo podem cair ao mesmo tempo, desde que não houvesse resistência do ar”.*

Nota-se que fizeram várias referências aos conceitos vistos durante os encontros. Já o grupo de Aristóteles defendeu-se com base no contexto da época, enfatizando que o momento em que pensadores como Newton viveram favoreceu para o surgimento de uma nova teoria, mas que “*as ideias de Aristóteles eram coerentes para a sua época*”.

Quando os jurados revelaram que o grupo de defesa de Aristóteles tinha vencido o embate, notei que algo estava estranho e questionei-os. Ao argumentarem que era devido à tendência de tumulto por parte da defesa de Newton, acabei aceitando o resultado. Porém, ficou nítido para mim que o motivo era outro e só naquele momento percebi certa hostilidade em relação a uma colega que influenciara na decisão dos jurados. Acabei não tendo iniciativa, mas isso serviu como amadurecimento para lidar com este tipo de situação. O resultado do júri simulado não mostrou quem melhor argumentou, mas refletiu certas relações sociais intrincadas existentes em aula com respeito à aluna Sally.

---

<sup>16</sup> O diário de bordo foi construído pela autora e consistiu em uma descrição elaborada após o final de cada encontro, do qual constaram falas dos alunos, uma vez que todos os encontros foram gravados em áudio.

É importante aprender com a vivência de sala de aula que situações como estas são recorrentes e, muitas vezes, não nos damos conta. Essa situação valerá como um aprendizado para a minha vida profissional.

Já a dinâmica do júri simulado de 2015 foi bem diferente da ocorrida na aplicação piloto. A aluna Minerva foi escolhida para integrar o júri, já que a turma acreditava que ela era bastante imparcial. E isso foi notável durante a atividade. Ela anotava todas as ideias que julgava interessantes por parte das defesas e na hora de tomar a decisão final, Minerva e Gina ficaram na dúvida e me questionaram. Tive a preocupação de pedir que decidissem com base nos argumentos que cada grupo usou nas suas defesas. Assim, decidiram pela vitória da defesa da Mecânica Clássica, já que haviam levado experimentos para a sala de aula, visando mostrar que a teoria aristotélica não dava suporte para explicá-los.

Com a dinâmica do júri simulado pude perceber o quanto eles haviam aprendido sobre as duas teorias trabalhadas. Fiquei feliz com o resultado da atividade. A aluna Hermione fez várias referências a explicações que tínhamos comentado nos encontros: ao mostrar que o lançamento de uma bola não se dá em linha reta; ao deixar cair dois papéis iguais de uma mesma altura sendo um deles totalmente amassado. O aluno Rony ajudou na defesa da teoria clássica, fazendo referência ao vídeo feito na Lua que mostrava a queda de um martelo e de uma pena, que chegavam juntos ao solo. Além disso, foi muito interessante a maneira com que a defesa aristotélica apresentou argumentos do motivo pelo qual aconteciam certos fenômenos na Lua ao afirmar que esta era formada por éter, que pertencia ao mundo celeste e perfeito. Já na Terra, por apresentar características imperfeitas, os corpos caíam em tempos diferentes.

Como já referido, essa dinâmica é sugerida pela literatura (Braga, Guerra & Reis, 2002 *apud* Guttmann & Braga, 2015) e mostrou que os alunos tiveram uma apropriação dos conceitos e que conseguiram explicar as duas teorias trabalhadas a respeito da queda dos corpos.

Outro objetivo das oficinas era abordar, de maneira introdutória, um aspecto da Física Moderna, no caso a explicação oferecida pela Relatividade Geral para a queda dos corpos, associada à deformação do espaço-tempo. No grupo de 2014, assim que terminei de explicar a queda dos corpos a partir da

ideia de deformação do espaço-tempo causada pela Terra, os alunos Linus e Patty me pediram para desenhar no quadro as três teorias estudadas, possivelmente para tentarem perceber as características específicas de cada uma delas para explicar o mesmo fenômeno, fazendo, assim, o caminho de volta. Isto é, partindo do específico ao geral, o que caracteriza o processo de *reconciliação integrativa*, de acordo com Ausubel. Na aplicação piloto, não houve tempo para debater com mais detalhes a respeito da interpretação da queda dos corpos segundo a deformação do espaço-tempo.

Contudo, na aplicação de 2015 houve uma preocupação maior para que os alunos conseguissem apreender os princípios básicos da teoria a partir da deformação do espaço-tempo. Assim, mostrei um vídeo com um experimento que fazia uso de um tecido flexível e esferas maciças (para representar a deformação do espaço-tempo). Assim fazendo, houve um momento para os alunos representarem o modelo por trás de tal teoria. Ao expor, com o auxílio do texto de apoio e do vídeo, no sexto encontro 2015, que era a partir da deformação do espaço-tempo que Albert Einstein explicava a queda dos corpos próximos à superfície da Terra, a aluna Hermione ficou impressionada, conforme mostra os seguintes trechos extraídos dos diário de bordo: *“Então, é porque ele é reto (o espaço-tempo)? Sério? Não acredito que é assim! (...) É muito interessante! Então, a queda dos corpos é porque [a massa] causa da deformação do espaço-tempo!”*. A partir desta fala pode-se perceber que a aluna havia compreendido a terceira teoria que estudamos sobre a queda dos corpos.

Além disso, no início do último encontro foi possível notar que aluna Gina tinha entendido as noções fundamentais da teoria da queda dos corpos de acordo com a Relatividade Geral. Ao pedir que ela explicasse para Lilian (que havia faltado na semana anterior), fazendo um esquema no quadro semelhante ao feito no encontro anterior, que visava representar as “descobertas” feitas na observação do eclipse solar de 1919, Gina expressou: *“Ela [referindo-se à luz] iria passar bem retinho, entende? Só que daí teve essa deformação do espaço feito pela Terra e, na verdade, ela está passando um pouquinho torta! Ela [referindo-se à estrela ocultada pelo Sol] era para estar em um lugar, mas, por causa da deformação, estava em outro. Meio que foi comprovado a ideia de deformação do espaço-tempo a partir do eclipse!”*.

Como se vê, a explicação faz uso de palavras próprias da estudante, mas transmite uma noção adequada da consequência da curvatura do espaço-tempo causada pelo Sol.

Ao mostrar o vídeo sobre a teoria da Relatividade Especial, que serviria como motivação para discutir com os alunos que no início do século XX apareceu uma nova mecânica, percebi certo desconforto. Algo que pareceu promissor na aplicação de 2014 mostrou-se um pouco desastroso em 2015. Acabei dando muito destaque à Teoria da Relatividade Especial (que serviria apenas de introdução). Assim, para uma nova aplicação pretendo retirar essa parte e apenas introduzir brevemente as noções da Relatividade Especial, dando maior destaque para a parte da deformação do espaço-tempo.

Ao retomar as três teorias, no sexto encontro de 2015, com o objetivo de facilitar uma *reconciliação integrativa*, solicitei que os alunos fizessem a seguinte questão: *Faça uma representação das três teorias vistas a respeito da queda dos corpos*. Escrevi no quadro os títulos “teoria aristotélica, clássica e relatividade geral”, mas pedi que os alunos fossem até o quadro para representar eles próprios. O resultado da atividade está representado pelas Figuras 15 e 16.

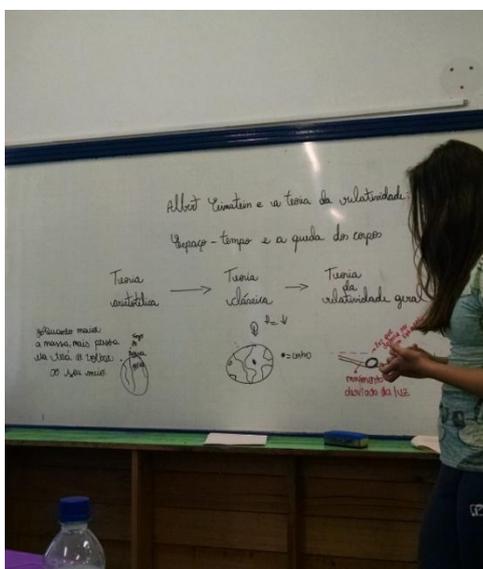


Figura 15: aluna de 2015 finalizando os desenhos que representam as três teorias estudadas para explicar a queda dos corpos.

A Figura 16 é uma ampliação do resultado das representações esboçadas pelos estudantes de 2015 para as três teorias estudadas.

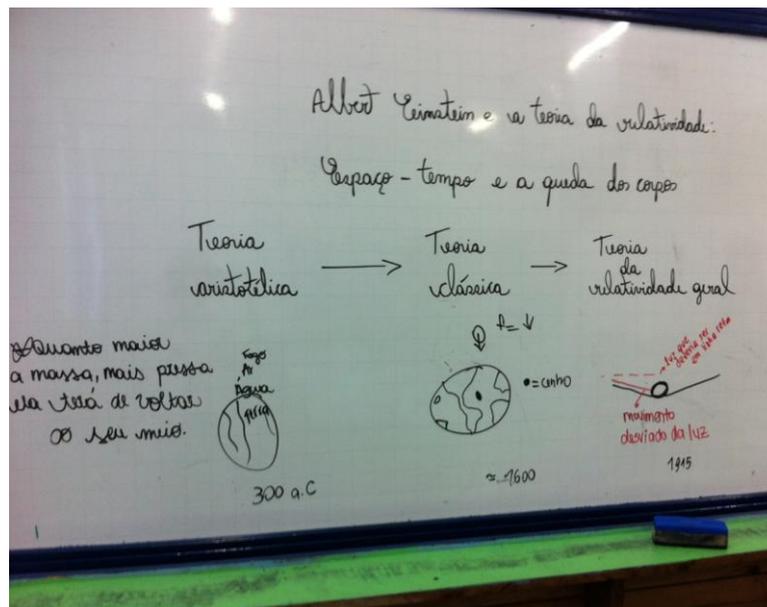


Figura 16: resultado final da representação das três teorias estudadas. (Transcrição da explicação: *teoria aristotélica: quanto maior a massa, mais pressa ela terá de voltar ao seu meio. Teoria clássica: força de atração em sentido para o centro. Teoria da relatividade geral: luz que deveria ser em linha reta, mas o movimento desviado da luz.*)

Para representar a Teoria da Relatividade Geral e a deformação do espaço-tempo, os alunos tiveram um pouco mais de dificuldades, pois queriam desenhar visualizando de cima a deformação causada pela massa. Assim, sugeri que desenhassem de perfil. Como resultado, representaram a consequência da deformação espaço-tempo para a luz e explicaram que a parte pontilhada indica que a luz deveria seguir em linha reta, porém ela é afetada pela curvatura causada pela Terra.

Fiquei muito feliz e satisfeita com o resultado da dinâmica, pois através da representação conseguiram caracterizar e verbalizar cada uma das teorias, permitindo fazer uma *reconciliação integrativa* das três explicações abordadas para explicar a queda dos corpos.

Apresentar, de maneira introdutória, a visão de ciência de Thomas Kuhn, também era um dos objetivos das oficinas. Isto ocorreu de forma mais dinâmica na aplicação de 2015. Com base nas três teorias estudadas (e em como elas se sucederam historicamente), pode-se considerar que estas serviram de elementos prévios para que fosse possível explicar o “fazer ciência” de acordo com Thomas Kuhn. Dessa forma, foram introduzidas as noções de *paradigma* e *revolução científica*, entendendo e explicando que cada uma dessas teorias estudadas representaram um paradigma em momentos distintos da História da Ciência e que ao ocorrer a troca da visão aristotélica pela mecânica clássica e,

depois, da clássica para a relativística caracterizaríamos uma revolução científica. Hermione deu sinais de que entendeu o que significava paradigma: *“Ah, paradigma é uma explicação!”*. De maneira geral, os alunos não se opuseram e acharam interessante compreender como Kuhn explica o processo da ciência.

A aplicação das oficinas proporcionou tanto aos alunos quanto à professora (eu mesma) uma nova maneira de debater ciências. Como escrito anteriormente, não me senti à vontade para aplicar essas oficinas em sala de aula, em horário regular, uma vez que a característica do colégio era conteudista e explicar um conteúdo em sete semanas poderia causar desconforto com a coordenação da escola, com os alunos e pais que buscam esse perfil nas aulas. Por outro lado, a realização de uma oficina no turno inverso por adesão mostrou-se uma boa saída.

Tanto em 2014 quanto em 2015 os alunos mostraram-se motivados para participar de uma dinâmica diferenciada, no turno inverso, me ajudando na aplicação do projeto. Contudo, percebi, com satisfação, que houve crescimento no nível dos debates em ambas as turmas. Foi notável o quanto os alunos do 8º ano conseguiram participar e interagir melhor no decorrer dos encontros; passaram a ser mais críticos e reflexivos, dando indícios de aprendizagens para além da aprendizagem mecânica.

Também foi um aprendizado notar o quanto podemos ter turmas com diferentes perfis, sendo necessário fazer adaptações a cada nova aplicação de uma mesma dinâmica. Nos primeiros encontros, por exemplo, tive um pouco de dificuldade para lidar com a característica introvertida da turma de 2015. Por outro lado, notei um crescimento significativo no decorrer dos encontros à medida que os alunos compreendiam melhor as teorias e começaram a se sentir mais à vontade para participar dos debates. No terceiro encontro, por exemplo, quando o aluno James mostrou que discordava da opinião de uma colega, a aluna Hermione também se sentiu motivada e mostrou opinião contrária. Fiquei surpresa ao perceber que aquela turma, aparentemente, um pouco tímida e apática, começava a ter um pensamento mais crítico e questionador.

Quanto à avaliação da oficina por parte dos alunos, em 2014, todos avaliaram positivamente a atividade. Em relação às questões finais (Apêndice

G), escreveram que gostaram da maneira como a oficina foi feita, “não parecendo sala de aula”, que se sentiam à vontade para opinar e que esperavam aprender mais sobre queda dos corpos. Além disso, manifestaram que gostariam de entender mais sobre a Teoria da Relatividade e a maioria esperava que a oficina fosse realizada novamente no ano de 2015.

Na aplicação de 2015, ao avaliarem a oficina, através da última questão (Apêndice H), todos se expressaram de maneira positiva. A Figura 17 mostra um exemplo de avaliação, da aluna Gina.

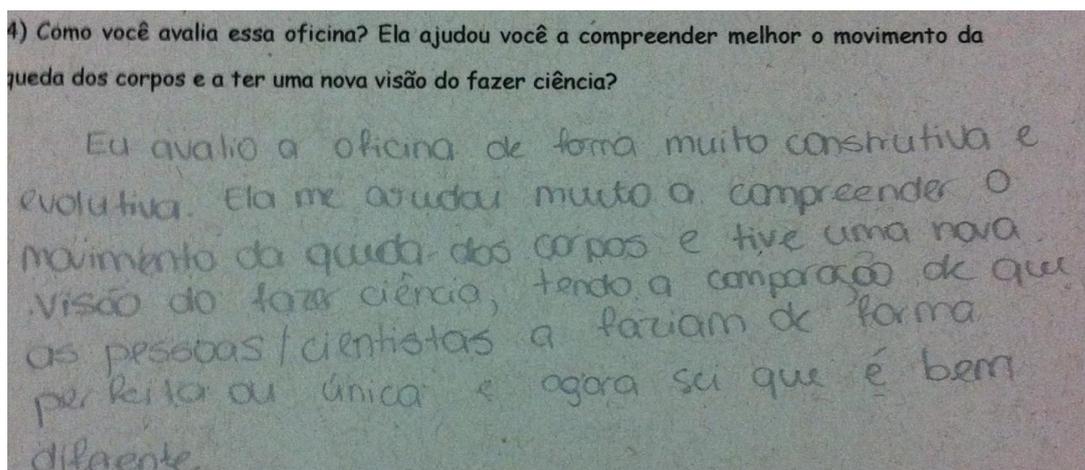


Figura 17: avaliação da oficina de 2015, pela aluna Gina. (Transcrição da resposta: “Eu avalio a oficina de forma muito construtiva e evolutiva. Ela me ajudou muito a compreender o movimento da queda dos corpos e tive uma nova visão do fazer ciência, tendo a comparação de que as pessoas/cientistas a faziam de forma perfeita ou única e agora sei que é bem diferente”).

Assim, de maneira geral, os objetivos, tanto de introduzir e aprofundar conceitos de Física como de discutir explicitamente aspectos de História e Filosofia da Ciência, foram atingidos.

Com vistas a auxiliar nesta discussão, no último encontro, foi construído e discutido um texto abordando certos aspectos de HFC (Apêndice I).

Foi estimulante perceber o quanto uma dinâmica marcada por debates sobre o processo da ciência mostra-se promissora para promover uma visão mais adequada sobre o “fazer ciência”, despertando, também, o interesse no estudo de conteúdos e conceitos físicos, indicando especial interesse e curiosidade com respeito à Física Moderna e Contemporânea (*big bang*, Albert Einstein, teoria da Relatividade, etc.). Tudo isso pareceu ter auxiliado os alunos a perceberem a disciplina de Física como relevante para sua formação.

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Professores de Física enfrentam desafios diários para ensinar esta disciplina tão temida pelos estudantes, especialmente no Ensino Fundamental, momento em que se dá o primeiro contato com a Física. Com o objetivo de tentar mudar essa situação, é importante que se busquem alternativas para mostrar ao aluno que é possível aprender aspectos desta disciplina cheia de conceitos incríveis.

Este trabalho fez uso de elementos da História e Filosofia da Ciência para ensinar sobre o movimento de queda dos corpos e mostrar aos alunos que a ciência é uma construção humana, marcada pela história e pelos contextos sociais, que está em constante transformação. Enfim, buscou apresentar a Física como uma ciência viva. As dinâmicas utilizadas permitiram grande participação dos alunos ao longo das aulas, que também foram marcadas por momentos de reflexão e criticidade.

A utilização de aspectos históricos e epistemológicos, de fato, permite perceber uma ciência como uma atividades marcada por mudanças de pensamento para interpretar um mesmo fenômeno: no nosso caso a queda dos corpos. Ao estudar o fenômeno através de três diferentes teorias (aristotélica, clássica/newtoniana e da Relatividade Geral, de maneira introdutória), foi possível relacionar tais mudanças às ideias de *paradigma* e *revolução científica* propostas pelo filósofo da ciência Thomas Kuhn. Com isso, os alunos tiveram acesso a uma possível interpretação do desenvolvimento científico, tendo sido a eles alertado que existem outras. Através dessa visão, os participantes da oficina refletiram a respeito “do fazer ciência”, puderam questionar suas próprias concepções e, aos poucos, foram tendo uma visão mais adequada sobre a natureza da ciência. Isto significou, em nossa interpretação, um ganho, pois ao tratar o desenvolvimento da ciência de acordo com a visão de Kuhn, os alunos tiveram a possibilidade de notar a ciência como algo marcado por mudanças (substituição) de teorias e que, uma explicação hoje aceita pela comunidade científica, poderá ser trocada por outra melhor ou mais abrangente, no futuro. Isto foi percebido na forma como os diálogos avançaram ao longo da oficina.

Além de possibilitar aos alunos uma visão menos ingênua sobre “o fazer ciência”, permitindo uma atitude mais reflexiva, as atividades da oficina tiveram como objetivo específico: aprofundar aspectos da Física através do estudo do movimento de queda dos corpos. As teorias de Aristóteles e da Relatividade Geral foram novidades para os alunos participantes, uma vez que haviam já estudado brevemente as Leis de Newton. A proposta didática mostrou também que é possível abordar alguns conceitos de Física Moderna e Contemporânea a alunos de Ensino Fundamental tendo o cuidado de fazê-lo qualitativamente, mas nem por isso sem significado. Ao contrário, os alunos participantes da aplicação de 2015 conseguiram fazer uma *reconciliação integrativa*, como propõe Ausubel, especialmente no Encontro 7, em que representaram no quadro as diferentes teorias sobre a queda dos corpos, discutiram diferenças, mostrando inclusive que entenderam a ideia de deformação do espaço-tempo.

Foi interessante, de nosso ponto de vista, mostrar aos participantes da oficina a teoria aristotélica, comentar com eles que esta é de senso comum e verificarmos que muitos, sem se darem conta, interpretavam o movimento de queda dos corpos como Aristóteles. Eles mesmos foram percebendo isto, em um processo de crítica de suas visões. Também foram discutidas na oficina, de maneira um pouco mais detalhada<sup>17</sup> a fórmula da altura em função do tempo (para corpos em queda livre) e a Lei da Gravitação Universal.

Ao elaborar o planejamento da oficina, tivemos a preocupação de desenvolver atividades que permitissem uma maior participação dos alunos, em geral, acostumados com aulas expositivas tradicionais. Ao mostrar uma Física contextualizada, permitiram-se, dessa forma, momentos de reflexão. No contexto em que a proposta foi aplicada, isto foi uma novidade enriquecedora. Ao analisar os relatos dos participantes, percebemos o quanto eles notaram que suas opiniões eram importantes e este fator contribuiu para que eles se sentissem motivados a participar, mesmo que a atividade não valesse nota, ou pontuação extra para a disciplina de Física regular. Este aspecto está de acordo com o referencial teórico utilizado, a *Teoria da Aprendizagem Significativa* de David Ausubel, onde a motivação, ou predisposição, dos

---

<sup>17</sup> Em comparação com a aula tradicional dada a eles no horário regular.

estudantes é algo fundamental para que ocorra uma aprendizagem significativa para eles.

Como dito, no sétimo encontro da oficina de 2015 foi possível ter um retorno importante, pois todos os participantes contribuíram, opinaram e retomaram dos conceitos vistos ao longo da oficina. O debate final mostrou bons indícios de que as visões “do fazer ciência” foram transformadas. Um importante resultado foi que os alunos mostraram compreender (e aceitar) a ideia de que a ciência é feita por seres humanos comuns, que não é construída por gênios individuais. Esse retorno foi tomado como uma avaliação positiva da atividade, além de nos fornecer uma noção do quanto as ideias e crenças dos alunos mudaram no decorrer da oficina. Infelizmente, não foi possível fazer um bom fechamento da oficina de 2014, porém foi possível perceber que eles também gostaram da atividade e desejavam que fosse novamente realizada no ano seguinte. Isto sinalizou que também em 2014 a proposta foi bem recebida.

Um fato curioso ocorreu em 2015: encontramos um dos participantes de 2014 no corredor do colégio e ele nos disse que fazia falta (em suas aulas regulares do Ensino Médio) uma visão mais contextualizada da Física, fazendo referência às dinâmicas da oficina. Isso nos gratificou e mostrou o quanto uma dinâmica focada em reflexões é capaz de motivar e levar o aluno a uma aprendizagem com sentido.

Os textos, vídeos e descrição das dinâmicas utilizadas na presente proposta didática foram reunidos em forma de material de apoio ao professor na esperança de que este seja usado tanto em atividades voltadas para o Ensino Fundamental quanto na introdução à Física no Ensino Médio. Além disso, é importante destacar que o material elaborado não foi pensado como algo rígido. É possível fazer adaptações ao contexto em que o professor atua e vivencia.

Este Trabalho de Conclusão de Curso permitiu tanto a mim, como educadora, quanto aos alunos refletir uma nova maneira para lidar com os conceitos da Física. Por mais que já acreditássemos que é importante incentivar a reflexão por parte dos alunos, visando a que a educação seja uma preparação para a cidadania, percebemos que é fundamental que haja um planejamento e coerência nas atividades. As dinâmicas de 2014 e 2015 aqui relatadas mostram que é possível ensinar Física de forma atraente e

proporcionar aos alunos de Ensino Fundamental uma introdução a conceitos de Filosofia da Ciência. Tudo isso de maneira a construir uma visão mais crítica sobre a ciência, sobre a construção das teorias científicas. As distintas teorias estudadas sobre a queda dos corpos tenderam a mostrar essa provisoriade do nosso conhecimento.

Tratar a Física articulada com elementos da História e Filosofia da Ciência mostrou ser uma grande possibilidade para ensinar conceitos científicos de forma significativa. A Epistemologia de Kuhn esteve adequada aos nossos propósitos e mostrou enorme potencialidade. Sabemos, contudo, que há contextos em que não é possível realizar uma aula de Física marcada por debates. Pode-se fazer adaptações para conseguir aplicar no ensino regular com o uso, por exemplo, de alguns textos e atividades (interpretações dos textos e debates) para introduzir o conteúdo. Entretanto, a aplicação de uma oficina no turno inverso pode ser uma boa alternativa. Saímos desta experiência satisfeitos e realizados.

Esperamos que este trabalho seja um incentivo aos professores na aventura de ensinar conceitos de mecânica (queda dos corpos) a partir de uma visão mais crítica, menos ingênua e, ao mesmo tempo, factível, auxiliando, assim, na busca de um ensino de Física de qualidade.

## **8. REFERÊNCIAS**

Alves, M. T. S. & Henrique, A. B. (2009). *Pensamento Epistemológico no Ensino de Física: Uma Investigação Preliminar no Ensino Médio*. In: Simpósio Nacional em Ensino de Física, XVIII, Vitória, ES.

Andrade, R., Nascimento, R., & Germano, M. (2008). Influências da Física moderna na obra de Salvador Dalí. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(3), 400-423.

Araujo, I. S. (2005). *Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral*. Tese de doutorado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Brasil. (2002). Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio) – PCN+. Brasília: SEMT. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>.

Brasil. (1997). Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais (Educação Fundamental) – PCN. Brasília : MEC/SEF. Disponível em:<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro04.pdf>

Briccia, V. & Carvalho, A. M. P. (2011). Visões sobre a natureza da ciência construídas a partir do uso de um texto histórico na escola média. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 10(1), p.1-22.

Castilho, M. I. (2005) *Uma introdução conceitual à Relatividade Especial no ensino médio*. Trabalho de conclusão de curso de mestrado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

*Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. (2014). Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production.

Cosmos: episódio oito da série apresentado por Carl Sagan que aborda conceitos da teoria da Relatividade Restrita disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=QBd0KjqSdU0&index=8&list=PLAAAF021ED9B5C665>

Deformação do espaço-tempo através de um experimento feito com um tecido elástico e algumas esferas. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxlqpo>

F. Drummond, J. *et al.* (2015). Narrativas históricas: gravidade, sistemas de mundo e natureza da ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(1), 99-141.

Francisco Jr., W.; Andrade, D. & Mesquita, N. (2015). Visões de cientistas e atividade científica na obra Ponto de Impacto de Dan Brown: possibilidades de

inserção de elementos de História e Filosofia das Ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(1), 76-98.

Guttman, G. & Braga, M. (2015). A origem do universo como tema para discutir a Natureza da Ciência no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(2), p. 442-460.

Gurgel, I. & Pietrocola, M. (2011). Uma discussão epistemológica sobre a imaginação científica: a construção do conhecimento através da visão de Albert Einstein. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, vol. 33, n. 1, p. 1-12.

Hewitt, P. G., (2011). (tradução Trieste Freire Ricci). *Física Conceitual*, 11 ed., Porto Alegre: Bookman.

Hipermídia que trata sobre a evolução de alguns conceitos na Física. Disponível em [http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia\\_v13.html](http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia_v13.html)

Hygino, C. B.; Souza, N. S. & Linhares, M. P. (2012). Reflexões sobre a natureza da ciência em sala de aula: estudo de um episódio histórico do Brasil colonial. *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 7, n. 2, p. 14 -24.

Hygino, C. B.; Souza, N. S. & Linhares, M. P. (2013). Episódios da história da ciência em aulas de física com alunos jovens e adultos: uma proposta didática articulada ao método de estudo de caso. *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 12, n. 1, p. 1 -23.

Kemper, E. (2008). *A Inserção de Tópicos de Astronomia Como Motivação Para o Estudo da Mecânica em Uma Abordagem Epistemológica Para o Ensino Médio*. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Kneubil, F. B. & Ricardo, E. C. (2014). A relevância do ensino sobre a ciência: relato de uma experiência em um curso universitário de eletromagnetismo. *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 9, n.2, p. 170-186.

Kuhn, T. S. (2013). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 12<sup>a</sup> ed.

Massoni, N. T. (2010). *A Epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física: a questão da mudança epistemológica*. Tese de Doutorado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

Massoni, N. T. & Moreira, M. A. (2012). Ensino de física em uma escola pública: um estudo de caso etnográfico com um viés epistemológico. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 17, n. 1, p. 147-181.

Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atualmente denominado *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*) vol. 12, nº. 3, p. 164-214.

Monteiro, M. M. & Martins, A. F. P. (2015). História da ciência na sala de aula: Uma sequência didática sobre o conceito de inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 37, n.4, p. 4501-1-4501-9.

Moreira, M. A. & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do Século XX*. São Paulo: E.P.U.

Moreira, M. A., Massoni, N. T. & Ostermann, F. (2007). "História e epistemologia da física" na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

Moreira, M. A. & Ostermann, F. (1993). Sobre o ensino do método científico. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, vol. 10, n.2, p. 108-117.

Moreira, M. A. & Veit, E. (2010). *Ensino Superior: bases teóricas e metodológicas*. São Paulo: E.P.U.

Moreira, M. A. (2014). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: E.P.U.

Nicolau, J. L.; Jr., Brockington, G. & Sasseron, L. H. (2011). Formação contínua de professores para abordagem de tópicos de relatividade no ensino médio: saberes docentes dos implementadores. *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 6, n. 2, p. 96-106.

Ostermann, F. (1996). A epistemologia de Kuhn. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 184-196.

Ostermann, F. & Cavalcanti, C. J. H. (2011). *Epistemologia: implicações para o ensino de ciências*. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011.

Peduzzi, L. (1996). Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica?. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(1), 48-63.

Peduzzi, L.; Tenfen, D. & Cordeiro, M. (2012). Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da Física. *Caderno Brasileiro de Ensino De Física*, vol. 29, n. Especial 2, p. 758-786.

Queda de uma pena e de um martelo na Lua. Vídeo disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>. Acesso em ...

Raicik, A. C. & Peduzzi, L. O. Q. (2013). *Uma discussão sobre os contextos da descoberta e da justificativa nos estudos de Du Fay*. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Águas de Lindoia. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências.

Ribeiro Junior, L. A.; Cunha, M. F. & Laranjeiras, C. C.. (2012). Simulação de experimentos históricos no ensino de física: uma abordagem computacional das dimensões histórica e empírica da ciência na sala de aula. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), p. 1-10.

Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

Rodrigues, C. M.; Sauerwein, I. P. S. & Sauerwein, R. A. (2014). Uma proposta de inserção da teoria da relatividade restrita no Ensino Médio via estudo do GPS. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), p.1-7.

Rosa, R. S. (2012) *Tecnologias da informação e comunicação como recurso instrucional para uma unidade didática sobre a relação entre força e movimento*. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

Silva, A. F. G.; Andrade, J. A., Jr. & Nobre, F. A. S. (2012). Ensino de física moderna: um estudo de caso do ensino público e privado. *Experiências em Ensino de Ciências*, vol. 7, n. 1, p. 1-10.

Silva, H., & Moraes, A. (2015). O estudo da espectroscopia no ensino médio através de uma abordagem histórico-filosófica: possibilidade de interseção entre as disciplinas de Química e Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(2), p. 378-406.

Silveira, A. F. et al. (2009). *Natureza da ciência numa proposta de sequência didática: explorando os pensamentos de Aristóteles e Galileu sobre o movimento relativo*. In: Simpósio Nacional em Ensino de Física, XVIII, Vitória.

Silveira, F.; Moreira, M. A. & Axt, R. (1992). Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: um exemplo em Mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 10 (2), 187-194.

Silveira Junior, P. B. & Arnoni, M. E. B. (2013). Física dos anos iniciais: estudo sobre a queda dos corpos através da metodologia da mediação dialética. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 35(3), p. 1-8.

Staguhn, G. (2011). *Breve storia dell'atomo*. Milão: Salani Editore.

Vicentini, A., et. al. (2011). Instrumentação para o ensino de física moderna e sua inserção em escolas de ensino médio – relato de experiência. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 6, n.3, p. 38-44.

Wolff, J. F. S. (2005) *O Ensino da Teoria da Relatividade Especial no Nível Médio: Uma abordagem Histórica e Conceitual*. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

## 9. ANEXOS

### ANEXO 1

#### Texto 1: *Matéria e energia: duas faces da mesma moeda*

A matéria manifesta-se através de “eventos” que ocorrem no espaço e no tempo. A matéria não é imóvel: galáxias, estrelas, planetas, pessoas, átomos etc. geram eventos.

Somente se pode falar em eventos quando entra em cena o fator tempo. No universo nada existe fora do tempo, afora Deus, mas Deus não está na esfera de competência da Física. O tempo fez-se presente no universo no momento em que pela primeira vez aconteceu alguma coisa, algum evento. E esse evento original, primordial, é o que chamamos de *big bang*, do qual tudo se originou (segundo a teoria hoje mais aceita), inclusive a matéria e o tempo, há cerca de 13 bilhões de anos. Não se sabe o que havia antes, nem mesmo como se chegou ao *big bang*.

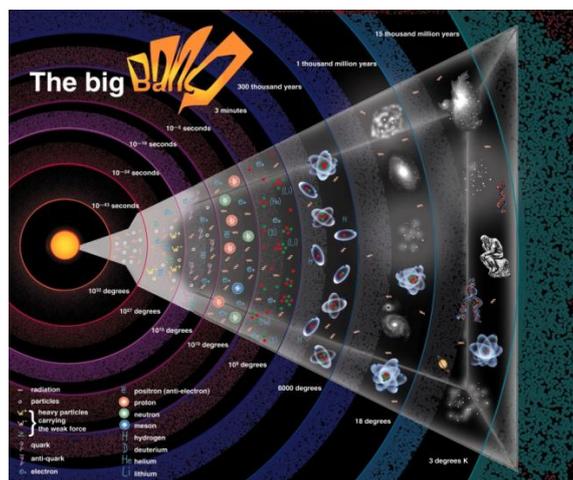


Figura 1: ilustração da evolução do universo segundo a teoria da *big bang*.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo3.html>

O mais provável é que antes do *big bang* não houvesse nada. Contudo, o “nada”, assim como Deus, não é objeto de estudo da Física. Qualquer tipo de “evento” para ocorrer deve envolver energia, força. A matéria não é outra coisa senão energia concentrada. Aquilo que os antigos filósofos (gregos) viam como a “substância universal, indistinta, indefinida”, que teria dado origem aos elementos seria comparável ao atual conceito físico de “energia”.

Energia seria, em certo sentido, a “forma original disforme” da substância universal. Dessa forma, matéria seria energia compactada. E, vice-versa, a energia não seria nada além de matéria extremamente rarefeita. Esse tipo de pensamento está alinhado à nossa tendência de considerar energia como um fluxo uniforme e originário e tudo o que há no universo como um adensamento momentâneo de energia, uma concentração. Matéria como concentração de energia. Energia como sublimação de matéria. Basta tomarmos um objeto qualquer, uma pedra, por exemplo, para compreendermos que o que temos nas mãos é energia concentrada – literalmente petrificada. Para quebrar a pedra, liberando assim parte da energia concentrada no seu

interior, precisamos fazer uso de energia. Por exemplo, podemos bater com um martelo até que ela se estilhaça, ou até que se quebre o martelo. Percebe-se, então, que para modificar o estado da matéria, qualquer que seja o estado, precisa-se de energia.

Todos os eventos da natureza estão associados a uma troca de energia, durante a qual nada se perde, o que ocorre é uma transformação de uma forma de energia em outra, sendo que a energia total do universo permanece constante. É a mesma quantidade liberada no evento primordial, o *big bang*.

Um outro exemplo pode ser instrutivo: se tomarmos uma batata crua, ela é dura e precisamos fazer muita força para amassá-la. Mas se fervermos a batata por meia hora, estaremos fornecendo energia e seu estado mudará. Ela ficará macia e não mais teremos dificuldades para amassá-la. Mas se precisará de mais energia para cozinhar uma batata grossa do que para cozinhar uma batata pequena. Assim, o conceito de energia é acompanhado pelo conceito de massa. É importante compreender isto.

Em Física, o conceito de massa é utilizado com dupla acepção. Os físicos falam em <<massa inercial>> quando se referem à propriedade que o corpo tem de resistir ao movimento. Qualquer corpo (isto é, qualquer objeto) tende a permanecer no estado em que está. A matéria é completamente inerte, para não dizer “preguiçosa” para provocar modificações de seu estado. Toda a matéria no universo tende a permanecer no menor estado de energia (se está parada tende a permanecer parada; se está em movimento tende a permanecer em movimento com uma velocidade constante). Para modificar o estado de movimento de um corpo, como vimos, é necessário energia, por exemplo, em forma de um impulso. O impulso terá que ser tanto maior quanto maior for a massa.

Por <<massa gravitacional>> os físicos entendem a propriedade do corpo de exercer atração sobre outro corpo. A propriedade das massas de atraírem-se mutuamente é chamada de “gravitação” ou “força de gravidade”.

No séc. XVII os físicos Galileu Galilei e Isaac Newton formularam as leis do movimento dos corpos a partir de forças. Essa parte da Física ficou conhecida como Mecânica Clássica e as três Leis de Newton, assim como a Lei da Gravitação Universal, são as bases dessa mecânica.

Mas os gregos explicavam os movimentos diferentemente, com outra visão de mundo. Assim como, Albert Einstein, no início do séc. XX fundou uma nova mecânica (a mecânica relativística, ou “relatividade”) através da qual o movimento passou a ser entendido com base em uma nova visão de mundo, um novo paradigma na linguagem do filósofo da ciência Thomas Kuhn. Assim, embora se conceba que a partir do *big bang* os movimentos sempre existiram no universo, sua explicação foi mudando com o passar dos séculos.

#### **Referências:**

Staguhrn, G. (2011). *Breve Storia dell'atomo*, Milão: Salani Editore (tradução e adaptação nossa).

Fonte da figura adicionada no texto:

<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo3.html>. Acesso em setembro de 2014.

Questões para serem entregues após a leitura do Texto 1: Matéria e energia: duas faces da mesma moeda.

Nome: \_\_\_\_\_

01. O que você sabe sobre a teoria do *Big Bang*?
02. De acordo com o texto, quando surgiu o tempo?
03. A frase: “*qualquer corpo tende a permanecer no estado em que está*” relaciona-se com qual lei de Newton que você já conhece?

## ANEXO 2

### **Texto 3<sup>18</sup>: *Onde existe matéria, sempre existem forças em jogo***

Sabemos que existem, no universo, três estados de agregação das substâncias: sólidos, líquidos e gasosos. No caso das substâncias sólidas, o estado de agregação depende do arranjo dos átomos e isto determina grandes diferenças de densidade<sup>19</sup>. Por exemplo, um pedaço de madeira é uma substância sólida com uma densidade inferior a um idêntico pedaço de ferro. Outras propriedades da matéria são o volume, ou seja, o espaço que a matéria ocupa, de maneira que dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo.

Sabemos, assim, que no interior da matéria existem forças – as forças de agregação dos átomos. Desta forma, quando falamos de matéria não podemos deixar de falar das forças que operam no seu interior e também daquelas que provém da matéria e que agem sobre ela – e determina os movimentos.

O ramo da Física que descreve as leis de movimento dos corpos é chamado Mecânica e ocupa-se de massas, forças e acelerações. Foi Galileu Galilei (1564-1642) quem concebeu e fez os primeiros experimentos a respeito das leis de movimento, por exemplo, sobre a tendência dos corpos de permanecerem parados ou em movimento constante; ou no caso de um corpo em queda, percebeu que a distância percorrida aumenta com o quadrado do tempo (medido em segundos). Por sua vez, Isaac Newton (1642-1727) desenvolveu matematicamente as leis da Mecânica Clássica que descrevem os movimentos de todos os corpos, independentemente se se tratam de bolinhas de bilhar ou de planetas. Com esses três conceitos (massa, força e aceleração) Newton formulou as três leis fundamentais do movimento dos corpos: a Primeira Lei de Newton trata do princípio da inércia, segundo a qual um corpo não submetido a forças (ou seja, quando a soma de todas as forças que atuam sobre ele seja nula) preserva seu estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme (MRU); a Segunda Lei de Newton é o princípio da ação e diz que a implicação de uma força resultante determina uma aceleração, sendo que forças de mesma intensidade agindo sobre corpos com diferentes massas geram acelerações distintas; a Terceira Lei de Newton é aquela do chamado princípio da reação, ou seja, a cada ação contrapõe-se sempre uma reação igual (em intensidade) e contrária (em sentido) que atua em corpos distintos. Se por exemplo um corpo em movimento choca-se com um corpo parado, este último passa a se mover na mesma direção do “empurrão”, enquanto o outro tende a se mover na direção contrária. Além disso, Newton formulou a Lei da Gravitação Universal para explicar como os corpos (por exemplo, a Terra, a Lua, a maçã etc.) se atraem mutuamente. Isto quer dizer que não apenas os corpos celestes de grandes massas geram forças e sofrem a ação de forças, mas a gravitação também explica porque quando damos um impulso e saltamos não somos lançados para o espaço, mas voltamos a cair sobre o solo terrestre, isto é, somos atraídos de volta pela força da gravidade.

---

<sup>18</sup> O Texto 2 corresponde ao Apêndice D (pois foi elaborado pela autora).

<sup>19</sup> Densidade é uma grandeza que expressa a razão (ou divisão) entre a massa de um corpo e o volume ocupado por ele, ou seja, a densidade dá uma ideia da concentração de um corpo.

Estas leis de extraordinária simplicidade e as relativas expressões (ou fórmulas) matemáticas forneceram uma descrição muito boa de todos os movimentos mecânicos do nosso universo. Com as três leis de Newton, mais a Lei da Gravitação, pode-se descrever tanto a trajetória de um projétil (por exemplo, uma bola chutada por um jogador de futebol) quanto a trajetória da Terra em torno do Sol.

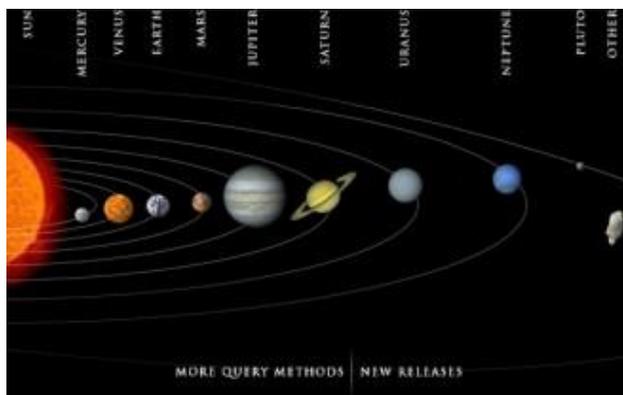


Figura 2: representação do movimento dos planetas ao redor do Sol.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/solar/solar04/solar04.htm>

A nossa experiência cotidiana está extremamente conectada com a Mecânica Clássica, quer notemos ou não as leis de Newton. Ao movermo-nos no mundo não fazemos nada mais que colocar em prática essas leis. Desde crianças as conhecemos: quando andamos, quando caímos, quando fazemos colidir um objeto contra outro, quando lançamos objetos, quando escalamos árvores e escorregamos, ou seja, enquanto aprendemos a nos mover no mundo.

Não nos maravilhamos quando vemos uma maçã madura cair do galho ao invés de voar para o alto, nem do espetáculo de um astronauta que se libera no espaço próximo de sua astronave sem se precipitar para a Terra.

Mas quem se pergunta por que essas coisas acontecem? Este é o fascínio da Física cujo estudo está iniciando.

#### **Referências:**

STAGUHN, G. (2011). *Breve Storia dell'atomo*, Milão: Salani Editore, 2011 (tradução e adaptação nossa).

Referência da figura adicionada ao texto:

<http://www.if.ufrgs.br/oei/solar/solar04/solar04.htm>. Acesso em setembro de 2014.

Questões para serem entregues (e para a reflexão) após a leitura do Texto 3:  
*Onde existe matéria, sempre existem forças em jogo*

Nome: \_\_\_\_\_

1. Tanto o pensamento (ou seja, o intelecto humano) quanto o experimento são importantes para o desenvolvimento da Ciência, isto é, para a formulação das leis e teorias que explicam os fenômenos.

Você concorda com essa afirmação? Justifique sua resposta.

2. A partir do que foi debatido em aula e da leitura do texto, como você explica a queda dos corpos do ponto de vista da Mecânica Clássica? Qual a relação entre a queda de uma maçã e o movimento da Lua, por exemplo? Faça um desenho para auxiliar na sua explicação.

## 10. APÊNDICES

### APÊNDICE A

**Teste 1: Questões para investigar concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência** (questionário utilizado como pré e pós-teste na Aplicação Piloto de 2014)

(Adaptado de Moreira, Massoni & Ostermann, 2007)

Nome: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_

#### Questionário sobre Filosofia da Ciência

A seguir aparecem oito afirmativas sobre como é produzido o conhecimento científico; como ele evolui; como ele se diferencia de outros tipos de conhecimentos e outros aspectos. Solicita-se que em cada uma das afirmativas você posicione a extensão de sua concordância ou discordância segundo a seguinte codificação:

CONCORDO FORTEMENTE	CF
CONCORDO	C
INDECISO	I
DISCORDO	D
DISCORDO FORTEMENTE	DF

Faça um círculo ao redor da(s) letra(s) que melhor expressa(m) a sua concepção e evite marcar muitas vezes INDECISO.					
1. Todo o conhecimento científico (as leis e teorias da Física, por exemplo) é provisório, isto é, pode mudar com o tempo.	CF	C	I	D	DF
2. Quando dois cientistas observam o mesmo fato ou fenômeno, eles devem chegar obrigatoriamente às mesmas conclusões.	CF	C	I	D	DF
3. Todas as leis e princípios da Ciência nascem a partir de cuidadosas observações e muitas anotações de dados.	CF	C	I	D	DF
4. Todo conhecimento científico resulta da aplicação sistemática de um método científico (ou seja, um conjunto de passos que leva às leis e teorias).	CF	C	I	D	DF
5. Tudo aquilo que não é passível de comprovação experimental (isto é, que não pode ser submetido a testes de laboratório) não pode ser considerado (ou designado) conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF

6. Ao fazer um experimento, o cientista deve observar o fenômeno puro (como é de fato), sem elaborar nem levar em conta suas concepções ou intuições prévias.	CF	C	I	D	DF
7. Existe apenas um método científico, geral e universal, para produzir o conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF
8. As explicações científicas, os enunciados científicos são necessariamente verdadeiros e definitivos.	CF	C	I	D	DF

**Referências:**

Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

## APÊNDICE B

**Teste 2: Questões para investigar as concepções dos alunos sobre a Natureza da Ciência** (questionário utilizado como pré e pós-teste na Aplicação da Oficina em 2015, tem uma pequena variação em relação ao teste aplicado em 2014).

(Adaptado de Moreira, Massoni & Ostermann, 2007)

Nome: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_

### Questionário sobre Filosofia da Ciência

A seguir aparecem dez afirmativas sobre como é produzido o conhecimento científico; como ele evolui; como ele se diferencia de outros tipos de conhecimentos e outros aspectos. Solicita-se que em cada uma das afirmativas você posicione a extensão de sua concordância ou discordância segundo a seguinte codificação:

CONCORDO FORTEMENTE	CF
CONCORDO	C
INDECISO	I
DISCORDO	D
DISCORDO FORTEMENTE	DF

Faça um círculo ao redor da(s) letra(s) que melhor expressa(m) a sua concepção e evite marcar muitas vezes INDECISO.					
1. Todo o conhecimento científico (as leis e teorias da Física, por exemplo) é provisório, isto é, pode mudar com o tempo.	CF	C	I	D	DF
2. Quando dois cientistas observam o mesmo fato ou fenômeno, eles devem chegar obrigatoriamente às mesmas conclusões.	CF	C	I	D	DF
3. Todas as leis e princípios da Ciência nascem a partir de cuidadosas observações e muitas anotações de dados.	CF	C	I	D	DF
4. Todo conhecimento científico resulta da aplicação sistemática de um método científico (ou seja, um conjunto de passos fixos que leva às leis e teorias).	CF	C	I	D	DF
5. Tudo aquilo que não é passível de comprovação experimental (isto é, que não pode ser submetido a testes de laboratório) não pode ser considerado (ou designado) conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF
6. Ao fazer um experimento, o cientista deve observar o fenômeno puro (como é de fato), sem elaborar nem levar					

em conta suas concepções ou intuições prévias.	CF	C	I	D	DF
7. Existe apenas um método científico, geral e universal, para produzir o conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF
8. As explicações científicas, os enunciados científicos são necessariamente verdadeiros e definitivos.	CF	C	I	D	DF
9. Pode-se dizer que a ciência é uma construção humana e, por esta razão, pode conter erros, imprecisões que com o passar do tempo podem ser corrigidas e aperfeiçoadas.	CF	C	I	D	DF
10. No processo da Ciência, alguns ingredientes como criatividade, imaginação, intuição também são importantes.	CF	C	I	D	DF

#### Referências

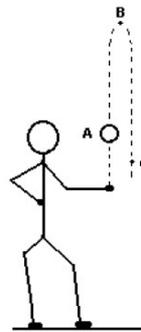
Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

## APÊNDICE C

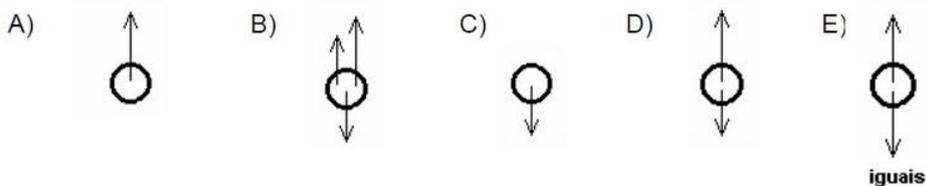
### Teste 3: Adaptação de um teste sobre concepções alternativas em mecânica com base em Silveira *et al.*, 1992

Leia com atenção e marque a resposta que você julga correta na grade, ao final.

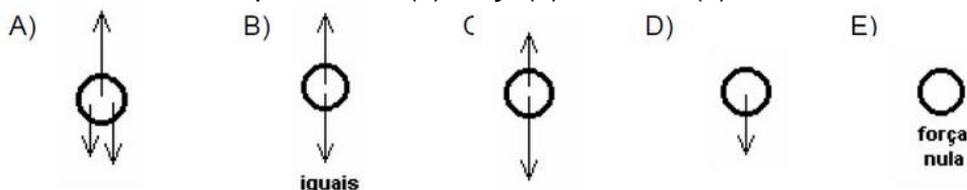
As questões 1, 2 e 3 referem-se ao seguinte enunciado: um menino lança verticalmente para cima uma bola. Os pontos A, B e C identificam algumas posições da bola após o lançamento (B é o ponto mais alto da trajetória). É desprezível a força resistiva do ar na bola. As setas nos desenhos seguintes simbolizam forças exercidas na bola.



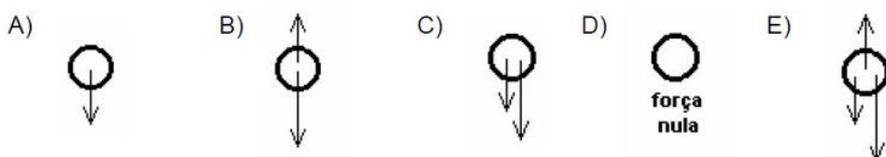
01. No ponto A, quando a bola está subindo, qual dos desenhos melhor representa a(s) força(s) exercidas na bola?



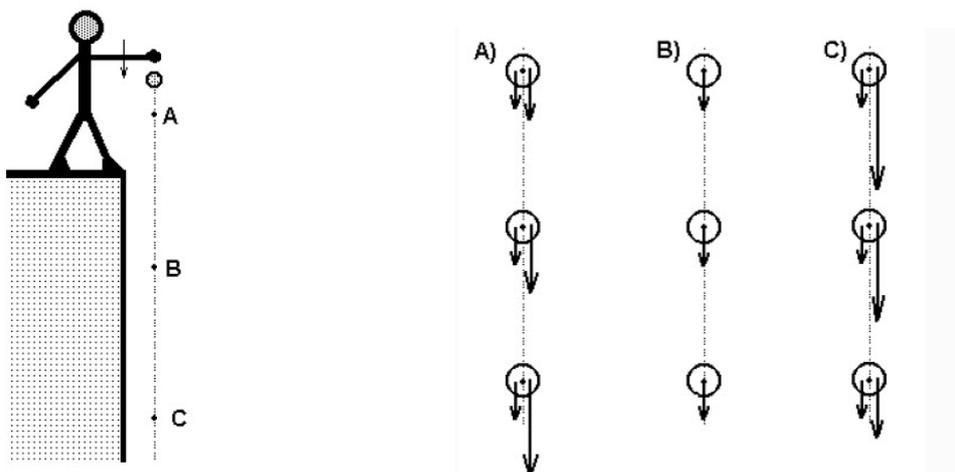
02. No ponto B, quando a bola atinge o ponto mais alto da trajetória, qual dos desenhos melhor representa a(s) força(s) exercida(s) na bola?



03. No ponto C, quando a bola está descendo, qual dos desenhos melhor representa a(s) força(s) exercida(s) na bola?



04. A figura refere-se a um indivíduo que, do topo de uma torre, arremessa para baixo uma bola. Os pontos A, B e C são pontos da trajetória da bola após o arremesso. É desprezível a força de resistência do ar sobre a bola. As setas nos esquemas seguintes simbolizam as forças exercidas sobre a bola nos pontos A, B e C. Qual dos esquemas seguintes melhor representa a(s) força(s) sobre a bola?



Referências:

Silveira, F., Moreira, M.A. e Axt, R. (1992). Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: um exemplo em Mecânica. *Enseñanza de las Ciências*, 10 (2), 187-194, 1992 (adaptação nossa, sendo que apenas algumas das questões do teste validado pelos autores foram utilizadas).

**Para entregar: respostas do teste sobre concepções em mecânica.**

Nome: \_\_\_\_\_

Questão 1	A	B	C	D	E
Questão 2	A	B	C	D	E
Questão 3	A	B	C	D	E
Questão 4	A	B	C	D	E

Gabarito: 1 C; 2 D; 3 A; 4 B.

## APÊNDICE D

### Texto 2: *Modelo aristotélico do movimento dos corpos*

A história da humanidade é marcada pela busca de explicações sobre questões fundamentais como: quem somos, de onde viemos e para onde vamos? Muitos povos da antiguidade se questionaram a respeito disso e elaboraram suas próprias teorias.

Certa vez, Neil deGrasse Tyson, em um episódio da Série Cosmos, *A Spacetime Odyssey* (2014)<sup>20</sup>, fez a seguinte afirmação: “*nascemos inseridos em um mistério, um mistério que tem nos assombrado desde que nos conhecemos por humanos. Acordamos neste mundinho sob o cobertor de estrelas, como um bebê abandonado na porta de uma casa, sem uma carta que explique de onde viemos, quem somos, como nosso universo foi concebido. (...) Tivemos que entender tudo isso por nós mesmos. A melhor coisa que tínhamos a nosso favor era nossa inteligência.*”

Isto nos dá uma ideia do longo caminho que a humanidade precisou percorrer para alcançar o conhecimento que hoje temos sobre o mundo que nos rodeia.

Egípcios e babilônios, na antiguidade, desenvolveram uma cultura científica de *caráter prático, ao observar os céus e ao fazer anotações*. Já os filósofos gregos se questionaram sobre a essência das coisas: *seria o mundo feito de determinado elemento? Qual(is) seria(m) esses elementos essenciais que formam todas as coisas? Ou seria o mundo baseado em geometrias e números?*

Richard Feynman, um dos gigantes da Física do séc. XX, dizia-se babilônico, pois diferentemente dos gregos que eram racionais e estavam em busca de regularidades matemáticas, ele afirmava que sua metodologia em busca de explicações físicas era seguir suas intuições, usar sua imaginação, fazer tentativas de resolver certas equações matemáticas para solucionar um problema, olhar de outra maneira o mesmo problema e assim por diante (Mlodinow, 2005).

Para Aristóteles, filósofo grego que nasceu provavelmente em 384 a.C. a matéria era formada por quatro elementos: terra, água, ar e fogo.



Figura 1: representação de Aristóteles e os quatro elementos em camadas concêntricas.

<sup>20</sup> Frase extraída do Episódio 3 da série *Cosmos A Spacetime Odyssey*. A série foi locada para uso e sala de aula.

Para Aristóteles os quatro elementos teriam um “lugar natural”. Quando retirados de seu lugar natural, esses elementos deslocar-se-iam verticalmente para ocupar seus lugares naturais.

O lugar natural da terra e da água, por serem mais pesados, seria embaixo. Por essa razão, eles naturalmente se movem (caem) para baixo. Já o fogo e o ar são mais leves e o lugar natural seria em cima, como no caso da fumaça, o movimento de subida é, portanto, um movimento natural (em busca do lugar natural).

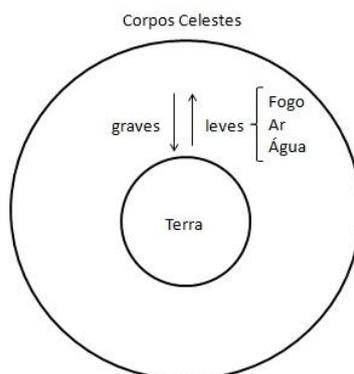


Figura 2: representação do movimento em busca do lugar natural dos quatro elementos segundo Aristóteles.

Fonte: a autora, inspirada em *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011

De acordo com essa teoria de tendência de buscar o lugar natural, Aristóteles explicava a queda dos objetos. Uma pedra, por exemplo, é formada basicamente pelo elemento terra e como a busca pelo lugar natural é para baixo, quando abandonada ela cai em direção ao solo. Tal movimento seria, então, uma tendência natural. Para Aristóteles, se duas pedras de massas diferentes são abandonadas de uma mesma altura, a pedra mais pesada cai primeiro, pois possui maior quantidade do elemento terra e, conseqüentemente, tem mais “pressa” para atingir o seu lugar natural.

Para esse pensador, o movimento violento seria causado por algum agente externo e se oporia ao movimento natural. Assim, ao lançar uma pedra para cima, ela se afasta do lugar natural, mas quando a ação do agente externo se esgota, ela retorna em busca do seu lugar natural. O repouso é o estado final, de maneira que para se conseguir deslocar um objeto a partir do repouso é necessária uma ação violenta (hoje sabemos que é necessária uma força provocada por um agente).

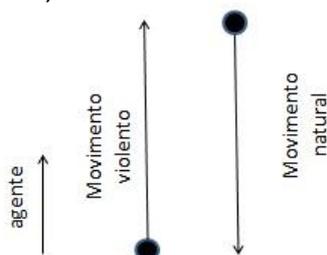


Figura 3: representação dos movimentos violentos e natural.

Fonte: a autora, inspirada em *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

A mecânica (ou teoria) de Aristóteles permaneceu como uma explicação válida durante 18 (dezoito) séculos até que um novo contexto cultural e social levou alguns pensadores a questionarem as ideias aristotélicas.

**Referências:**

Mlodinow, L. (2005). *O arco-íris de Feynman: o encontro de um jovem cientista com um dos maiores gênios de nosso tempo*. Rio de Janeiro: Editora Sextante.

Sites de internet consultados:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p758/23064>

[http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia\\_v13.html](http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia_v13.html)

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles>

Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

**Questões para reflexão após a leitura do Texto 2**

Nome: \_\_\_\_\_

a) Você acha que a maneira como egípcios e babilônios faziam ciência era mais correta que a dos gregos?

b) Em sua opinião, as ideias de Aristóteles sobre o movimento dos corpos foram um atraso para o avanço científico? Justifique sua resposta.

## APÊNDICE E

### Orientações aos alunos sobre o júri simulado:

#### *Júri Simulado*

Esta atividade busca incentivar a participação ativa dos estudantes e simula um tribunal judiciário. Os estudantes são divididos em três grupos: dois grupos cumprem o papel de debatedores (defendendo duas teorias ou posturas opostas) e um terceiro grupo simula o júri popular e é responsável pelo veredicto. Essa divisão é feita na aula anterior sendo que cada aluno sabe com antecedência qual o papel que deverá assumir no jogo e tem oportunidade de se preparar. Além disso, todos os estudantes recebem indicação de livros ou sites de internet e são fortemente incentivados a pesquisarem e estudarem sobre os temas, em casa, para melhor argumentarem, defendendo suas posições e atacando a visão contrária, assim como os membros do júri precisam se preparar para estarem aptos na tarefa de julgar a atuação dos colegas.

O tema proposto nesta proposta é: ***Qual teoria melhor descreve a queda dos corpos: a aristotélica ou a da Mecânica Clássica?***

Os grupos debatedores têm três momentos importantes:

1º momento: exposição do ponto de vista inicial, seguido de defesa ou ataque;

2º momento: direito de resposta (réplica);

3º momento: considerações finais (tréplica).

No fim, o júri popular (grupo dos jurados que assistem a todo o debate) se reúne, debate internamente e decreta o veredicto (isto é, declara o grupo vencedor).

## APÊNDICE F

### Texto introdutório sobre as Teorias da Relatividade Especial e Geral.

#### Texto 4: *Albert Einstein e a explicação da queda dos corpos através da Teoria da Relatividade*

O início do século XX foi marcado pelo surgimento de um novo paradigma na Ciência. As ideias de tempo e espaço que eram conceitos absolutos na física newtoniana (também chamada “mecânica clássica”) cederam lugar à concepção de tempo e espaço relativos. Em 1905, Albert Einstein publicou o artigo intitulado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento* em que apresentava a Teoria da Relatividade Restrita, em que aparecia pela primeira vez a noção de tempo e espaço não absolutos, isto é, passavam a depender do referencial do observador.

Essas ideias foram tão revolucionárias que despertaram novos sentimentos em vários campos da sociedade, inclusive nas artes. Um exemplo foi o artista espanhol Salvador Dalí que procurou retratar em suas obras a nova visão de mundo da época. A Figura 1 mostra uma obra intitulada *A persistência da memória* (1931), em que aparecem três relógios (representando o passado, o presente e o futuro), mas todos são macios, moles passando a ideia da dilatação do tempo da Teoria da Relatividade Restrita.



Figura 1: A persistência da memória (1931)

Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Persistence\\_of\\_Memory#/media/File:The\\_Persistence\\_of\\_Memory.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Persistence_of_Memory#/media/File:The_Persistence_of_Memory.jpg)

Além disso, na obra, o espaço está representado pela árvore, pela montanha, pelo céu e mar e estes se relacionam, de alguma maneira, com os relógios deformados. De acordo com a Relatividade Restrita (ou Relatividade Especial), espaço e tempo estão intimamente relacionados. Certa vez, Salvador Dalí expressou isso dizendo: “O tempo é impensável sem o espaço, dizem cada um dos meus quadros. Meus relógios moles não são apenas uma imagem fantasista e poética do real, mas esta visão (...) é, com efeito, uma

definição mais perfeita de tempo-espaço, que as mais altas especulações matemáticas possam dar. (Dalí, 1976)<sup>21</sup>.

## Postulados da Teoria da Relatividade Restrita

O primeiro postulado de Einstein afirma que todos os processos da Natureza ocorrem da mesma forma em todos os referenciais inerciais<sup>22</sup>. Dito de outra forma, se um observador estiver no interior de um elevador sem aberturas, no espaço, ele não poderá distinguir se o elevador é acelerado para cima ou se ele cai sob a ação da gravidade, pois se um feixe de luz entrar por um orifício, nas duas situações, a luz parecerá se encurvar à medida que o sistema se move.

O segundo postulado de Einstein diz que a velocidade da luz, no vácuo, é a mesma em todos os referenciais inerciais. Em outras palavras, independente se um observador se move ou se uma fonte que emite luz esta movimento, quando esse observador mede o módulo da velocidade da luz, no vácuo, ele obtém sempre o mesmo resultado numérico ( $c$ )<sup>23</sup>.

## Vamos tentar entender melhor as consequências disto

Começemos por analisar uma situação na qual as propostas de Einstein diferem das teorias clássicas<sup>24</sup>. Considere que uma esfera foi colocada em uma esteira que se move a 5 m/s. A velocidade da esfera passa a ser 5 m/s.

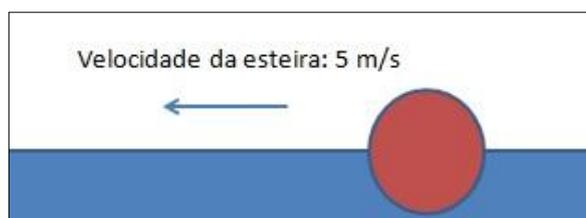


Figura 2: representação da esfera colocada em cima de uma esteira que se move a 5 m/s.  
Fonte: a autora, baseada em <http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

Caso seja colocada uma segunda bola que já tenha uma velocidade de 2 m/s, quando colocada na esteira, terá uma velocidade de 7 m/s.

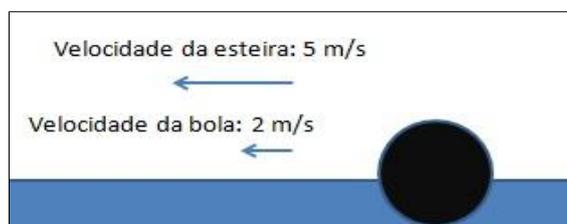


Figura 3: representação da esfera de 2 m/s colocada em cima de uma esteira que se move a 5 m/s.

<sup>21</sup> Disponível em Influências da Física Moderna na obra de Salvador Dalí: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6243>

<sup>22</sup> Referencial inercial: referencial em que é válida a 1ª lei de Newton.

<sup>23</sup> A velocidade da luz no vácuo, representada pela letra "c", tem um valor aproximado de 300.000 km/s ou, no Sistema Internacional de Medidas 300.000.000 m/s, que em notação científica se escreve  $3 \cdot 10^8$  m/s.

<sup>24</sup> Exemplo retirado do site <http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

Se, sobre as duas esferas, colocarmos um medidor de velocidade da luz, e uma fonte de luz fosse posicionada sobre a mesma linha de movimento delas, de forma que ambas se aproximassem da fonte, a teoria clássica indica que a velocidade da luz medida pela esfera que se move a velocidade de 7 m/s seria maior do que a velocidade da luz medida pela esfera que move a velocidade de 5 m/s. A partir dos postulados de Einstein, vemos que ambas as esferas devem medir a mesma velocidade.

Segundo a teoria da relatividade, nenhum corpo pode atingir a velocidade da luz. Se um corpo alcançar uma velocidade muito próxima à velocidade da luz, haverá uma diferença na percepção de espaço e de tempo em relação a um referencial na Terra, por exemplo.

## Dilatação do tempo

De acordo com a teoria da Relatividade, cada observador terá sua própria medida de tempo. Podemos entender essa ideia a partir do *paradoxo dos gêmeos*.

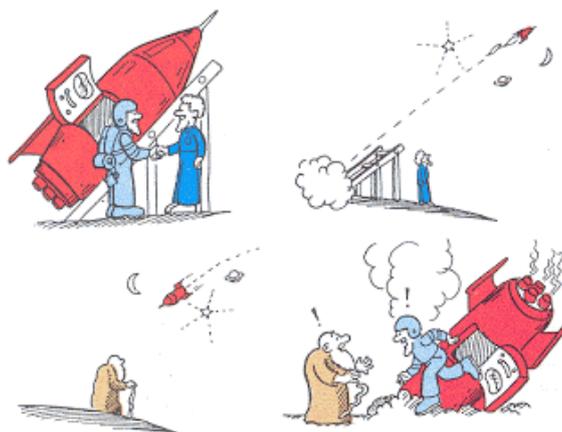


Figura 4: representação do paradoxo dos gêmeos

Fonte: <http://principioderelatividade.blogspot.com.br/2012/09/imagem-ilustracao-do-paradoxo-de-gemeos.html>

Supondo uma situação entre dois irmãos gêmeos: imaginando que um dos gêmeos viaja em uma nave espacial com velocidade próxima a da luz enquanto o outro irmão permanece no planeta Terra, de acordo com a Relatividade para o irmão que permaneceu na Terra, o tempo na nave passará mais devagar, ou seja, o tempo no referencial da nave sofre uma dilatação. Isto implicará que quando o irmão voltar de viagem estará mais jovem e perceberá que seu gêmeo envelheceu mais do que ele.

Do ponto de vista matemático, as ideias de Einstein implicaram em uma modificação das transformações de Galileu e nas equações de Newton. Para Galileu e Newton o tempo era absoluto e permitia medir eventos que ocorrem na mesma posição simultaneamente. Mas segundo a teoria de Einstein, o tempo pode sofrer dilatação, de maneira que para eventos que ocorrem em referenciais separados (viajando com velocidades próximas às da luz) somente seria possível determinar a simultaneidade se a luz tivesse velocidade infinita. Porém isto não é possível porque isto contraria o segundo postulada.

## Contração do espaço

Imagine um super-herói viajando com uma velocidade próxima a da luz. De acordo com um referencial na Terra, haverá uma contração na dimensão do super-herói, conforme mostra a figura 5, ou do referencial do super-herói haverá uma contração na dimensão da Terra. As razões são as mesmas, a luz não se propaga com velocidade infinita e há discrepâncias nas medidas dos observadores. Desta forma, ou se pensa em dilatação do tempo ou em contração do espaço. É por isso que em Relatividade se fala no conceito espaço-tempo.

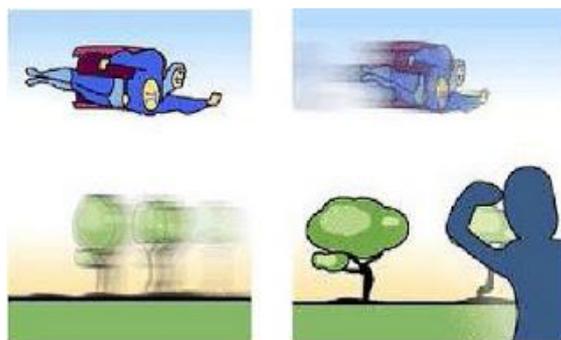


Figura 5: representação da contração do espaço de um super-herói com velocidade próxima da luz.  
Fonte: <http://cienciasemcensura.blogspot.com.br/2011/12/o-que-e-cosmologia.html>

## Teoria da Relatividade Geral: espaço-tempo e a queda dos corpos

Em 1915, Einstein publicou a Teoria da Relatividade Geral, em que abordou uma nova interpretação a respeito da gravidade.

De acordo com Albert Einstein, os corpos massivos deformam o espaço-tempo<sup>25</sup>. Dessa forma, planetas ou quaisquer outros objetos tentariam se mover em linha reta, mas devido à curvatura do espaço-tempo, a trajetória é curva.

***Assim, podemos interpretar a queda dos corpos no nosso planeta como se estivessem submetidos a essa curvatura do espaço-tempo.***

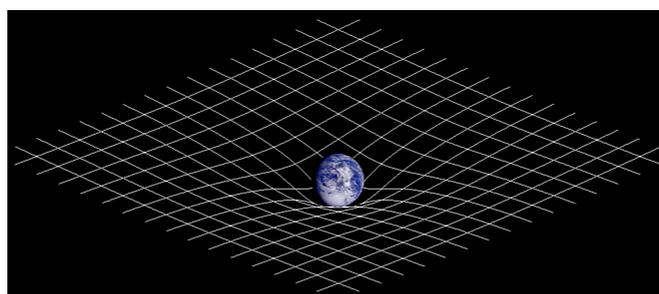


Figura 6: representação da curvatura do espaço-tempo do planeta Terra  
Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86682>

<sup>25</sup> Para a teoria da relatividade, espaço e tempo são dependentes um do outro. Ao imaginarmos que o espaço é formado por três dimensões (x, y e z), podemos entender que o tempo exerce a função de uma quarta dimensão. A partir desta ideia surge o conceito de espaço-tempo.

A partir desta interpretação, podemos entender a queda de uma maçã a partir da distorção do espaço-tempo causado pela Terra. **A Teoria da Relatividade Geral aboliu o conceito de força gravitacional.**

De acordo com a teoria da Relatividade Geral, até a luz de uma estrela deveria ser desviada pela curvatura do espaço-tempo, como mostra a figura 7. Cabe perceber que esta proposta contradiz as ideias de Newton sobre a atuação da força da gravidade apenas sobre corpos massivos.

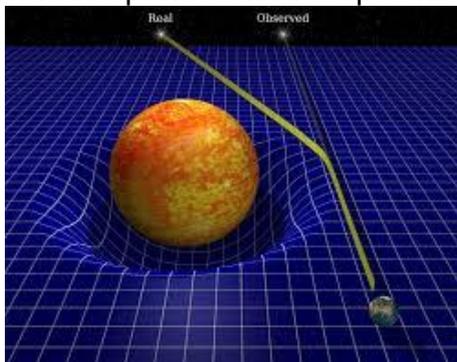


Figura 7: representação do desvio da luz devido a curvatura do espaço-tempo.  
Fonte: <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-10/lentes-gravitacionais-fernando.pdf>

Essa deformação do espaço-tempo, e conseqüentemente a teoria da relatividade geral, foi confirmada num eclipse observado no ano de 1919, em Sobral, nordeste do Brasil. Observou-se um desvio na posição de uma estrela, como ilustra a Figura 8.

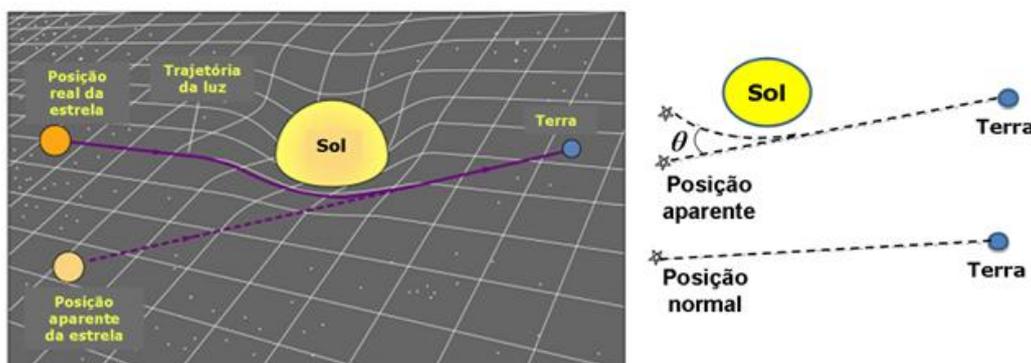


Figura 8: representação do desvio da luz da estrela observado durante o eclipse de 1919, no Brasil.  
Fonte: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/20262/fig11.png?sequence=92>

Vimos que a ciência está em constante mudança. Hoje uma explicação pode parecer correta, mas, com o tempo e com o avanço da tecnologia e dos modelos computacionais e matemáticos, ela pode dar lugar a outra, mais adequada para explicar melhor algum aspecto da natureza.

De acordo com o pensador e filósofo da ciência Thomas Kuhn, a Ciência passa por revoluções científicas. Essas mudanças bruscas correspondem a trocas de paradigmas e podem trazer visões de mundo muito diferentes, como no caso da substituição da mecânica newtoniana pela teoria da relatividade de Einstein. Ou então, a mudança da visão de Aristóteles baseada no lugar natural para explicar a queda dos corpos pela teoria de Newton embasada em forças de atração gravitacional. Cada uma dessas mudanças de paradigma (crenças, valores, visões de mundo) representa uma Revolução Científica e para Kuhn é assim que a ciência avança.

## Referências:

Hawking, S.. (2009). *O Universo numa casca de noz*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

Hewitt, P. G. (2011)., *Física Conceitual*, 11 ed. Porto Alegre: Bookman.

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6243>

Figura 1 baseada em:

[https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Persistence\\_of\\_Memory#/media/File:The\\_Persistence\\_of\\_Memory.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Persistence_of_Memory#/media/File:The_Persistence_of_Memory.jpg)

Figuras 2 e 3 baseadas em:

<http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

Figura 4:

<http://principioderelatividade.blogspot.com.br/2012/09/imagem-ilustracao-do-paradoxo-de-gemeos.html>

Figura 5:

<http://cienciasemcensura.blogspot.com.br/2011/12/o-que-e-cosmologia.html>

Figura 6:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86682>

Figura 7:

<http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-10/lentes-gravitacionais-fernando.pdf>

Figura 8:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/20262/fig11.png?sequence=92>

## Questões para reflexão

1) Faça uma comparação entre as três teorias vistas a respeito da queda dos corpos.

2) Analisamos, no decorrer das oficinas, duas grandes mudanças de paradigmas ou visões de mundo a respeito da queda dos corpos. Como podemos interpretar tais mudanças de acordo com a teoria de Thomas Kuhn?

## **APÊNDICE G**

### **Questões finais para a avaliação da oficina feitas na aplicação de 2014**

#### Questionário para avaliar a oficina sobre Queda dos Corpos

1. O que você mais gostou durante as oficinas?
2. O que você esperava?
3. Quais as sugestões?
4. Gostaria de entender melhor algum assunto visto na oficina?
5. Deixe uma mensagem.

## **APÊNDICE H**

### **Questões finais para a avaliação da oficina feitas na aplicação de 2015**

1. A partir do que foi discutido nos encontros, podemos afirmar que existe apenas um método de se fazer Ciência? Justifique.
2. Podemos dizer que as afirmações científicas são definitivas? Justifique.
3. Você acha que é possível que, no futuro, exista uma teoria que substitua a da Relatividade, uma vez que esta não é compatível com a mecânica do mundo microscópico (Mecânica Quântica)? Justifique.
4. Como você avalia essa oficina? Ela ajudou você a compreender melhor o movimento da queda dos corpos e a ter uma nova visão do fazer Ciência?

## APÊNDICE I

### ***História e filosofia da ciência e a Epistemologia de Kuhn***

Ao estudar Filosofia (que estuda a natureza do conhecimento humano), somos convidados a refletir sobre conceitos que, por mais presentes que estejam no nosso cotidiano, algumas vezes não damos a devida atenção. Com relação à Filosofia da Ciência (que estuda a natureza do conhecimento científico), temos a possibilidade de pensar a respeito da atividade científica, permitindo-nos rever nossas crenças sobre a ciência e construir, eventualmente, uma visão menos ingênua e mais questionadora.

Entre os cientista há diferentes posturas a respeito da importância do tema. Mas no ensino ele é relevante, pois nos convida a sermos críticos e reflexivos. Nos anos 1960, houve uma forte onda de preconceito dos cientistas em relação à Filosofia e alguns se orgulhavam disso (Rocha, 1991, p.65, *apud* Ostermann & Cavalcanti, 2011, p.14). Por outro lado, em 1944, Albert Einstein mostrou-se favorável à inserção de tópicos de História e Filosofia da Ciência em cursos introdutórios de Física. (ibid., 2011).

A Filosofia é essencial à atividade humana. Neste sentido, Ostermann e Cavalcanti (2011, p.16) afirmaram: “Na ciência, ao menos grosseiramente, se pode dizer que a Filosofia é a sua precursora e propulsora. (...), a Filosofia está inseparavelmente conectada à vida e é parte inerente da condição humana.”. A ciência é marcada por questionamentos a respeito dos fenômenos presentes no mundo que nos rodeia. No caso de Albert Einstein, os pensamentos mentais (*Gedankenexperiment*) foram fundamentais para a formulação da Relatividade Restrita e Geral. Podemos fazer ciência filosofando e isso pode nos tornar seres críticos (ibid., 2011, p.17).

A Filosofia da Ciência preocupa-se em analisar como se faz ciência. É relevante que o educador se preocupe em discutir esses temas em sala de aula, pois “... as ‘visões epistemológicas contemporâneas’ podem ajudar a melhorar o Ensino de Física, refletido-a como uma ciência em construção, fazendo do professor um divulgador da Física, conquistado por sua beleza exuberante” (Massoni, 2010). Mas a despeito de muitos artigos produzidos, das orientações dos PCNs, PCN+, etc., uma adequada discussão desses aspectos “não chegou ainda nas salas de aula, persistindo crenças distorcidas e a ausência de reflexão sobre o papel e a natureza da ciência” sugerindo que muito há para ser feito (ibid., p. 393).

No século XVII, Francis Bacon tentou explicar qual método estava por trás do desenvolvimento científico. Para ele, as teorias surgiram a partir da observação. (Chalmers, 2000, p.20). De acordo com Bacon, a partir dos dados, poderia se obter leis gerais. Esta ideia é conhecida como *empirista-indutivista*.

Alguns filósofos da ciência criticaram fortemente a visão empirista-indutivista proposta por Francis Bacon. Para eles, a ciência é algo bem mais complexo. Thomas Kuhn<sup>26</sup> defende que a teoria antecede as observações. Para ele, a Ciência é praticada com base em um *paradigma*, que é um conjunto de realizações científicas universalmente reconhecidas por uma comunidade

---

<sup>26</sup> Thomas Kuhn (1922 – 1996): físico e filósofo da ciência estadunidense publicou em 1962 um dos livros mais importantes para a História e Filosofia da Ciência, *A estrutura das revoluções científicas*.

científica durante algum período e fornece um arcabouço conceitual para subsidiar o trabalho científico, um conjunto de técnicas experimentais e teóricas, bem como os problemas e soluções exemplares compartilhados por uma comunidade de praticantes. A Física de Aristóteles e a de Newton são exemplos de paradigmas que serviram durante algum tempo para definir os problemas, os “métodos” e a estrutura teórica à comunidade científica.

Com o avanço do conhecimento, pode ocorrer divergências entre as previsões do paradigma e os dados experimentais. Quando o paradigma apresenta dificuldades, anomalias sérias e persistentes, pode entrar em crise. Em algumas situações, a crise pode conduzir à rejeição e substituição do paradigma vigente. Esta descontinuidade na prática científica é chamada por Kuhn de *revolução científica*. Durante a crise podem surgir novas explicações ou teorias com o objetivo de salvar o paradigma ou, então, começam a aparecer investigações extraordinárias que podem conduzir a um novo conjunto de compromissos – um novo paradigma. Dependendo da crise, a comunidade científica pode optar pela troca de paradigma. Essa mudança descontínua caracteriza, como já mencionado, a *revolução científica*.

A troca de paradigmas acaba por introduzir visões de mundo muito diferentes, *incomensuráveis* com as anteriores. Um exemplo é a substituição da mecânica newtoniana pela Teoria da Relatividade de Einstein. Na teoria de Newton, o tempo e o espaço são absolutos, não existem limites para a velocidade e queda dos corpos é explicada como uma propriedade característica dos corpos massivos que gera a “força de atração gravitacional”. Na Teoria da Relatividade de Einstein, o tempo depende do referencial, nenhuma velocidade pode ultrapassar a velocidade da luz no vácuo e a gravidade passa a ser explicada como resultado da deformação do espaço-tempo por um corpo massivo, isto é, dispensa a força.

É fácil de interpretar as três explicações estudadas para a queda dos corpos de acordo com a visão *kuhniana*: houve duas revoluções científicas; uma na troca do paradigma aristotélico pela mecânica clássica newtoniana; outra na troca do clássico pelo relativístico. **Será que teremos novas revoluções científicas? Será que o paradigma relativístico poderá ser substituído por outro no futuro?**

É importante mostrar ao aluno que o conhecimento científico possui uma história, que a ciência cria modelos para tentar compreender e explicar a realidade, que a Física possui conexão com o cotidiano e que os conceitos e teorias científicas não são fixos e estáveis (Matthews, 1995). A ciência é uma construção humana, sujeita a erros. Como construção humana, podemos entender que ela é feita por homens e mulheres que criam modelos para tentar compreender a realidade, conforme escreveu Chassot (2003):

Nunca é demais insistir que os modelos que usamos não são a realidade. São aproximações facilitadoras para entendermos a realidade e que nos permitem algumas (limitadas) generalizações. Talvez a marca da incerteza, hoje tão mais presente na ciência, devesse estar mais fortemente presente em nossas aulas. (Chassot, 2003, p.98).

## Referências:

Chalmers, A. F. (1993). *O que é ciência, afinal?* São Paulo: Brasiliense.

Kuhn, T. S. (2013). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 12ª ed.

Massoni, N. T. (2010). *A Epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física: a questão da mudança epistemológica*. Tese de Doutorado, IF-UFRGS.

Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atualmente denominado *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*) vol. 12, nº. 3, p. 164-214.

Moreira, M. A. & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do Século XX*. São Paulo: E.P.U.

Oostermann, F. & Cavalcanti, C. J. H. (2011). *Epistemologia: implicações para o ensino de ciências*. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011.

Oostermann, F. (1996). A epistemologia de Kuhn. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 184-196.

Chassot, A. (2003). Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, (22), 89-100.

*Wikipedia*. (06 ago de 2016). Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Kuhn](https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas_Kuhn).

## **APÊNDICE J: Produto Educacional**

JÊNIFER ANDRADE DE MATOS

***PROPOSTA DIDÁTICA PARA APRESENTAR CONCEITOS DO MOVIMENTO  
DE QUEDA DOS CORPOS NO ENSINO FUNDAMENTAL ATRAVÉS DE UM  
APORTE HISTÓRICO E EPISTEMOLÓGICO***

## Sumário:

Apresentação.....	3
Teoria da aprendizagem significativa.....	5
Epistemologia de Thomas Kuhn.....	8
Planejamento.....	10
Encontro 1.....	13
Encontro 2.....	19
Encontro 3.....	26
Encontro 4.....	34
Encontro 5.....	38
Encontro 6.....	41
Encontro 7.....	49
Referências.....	54

## Apresentação

Prezado professor!

Este material tem por objetivo ser uma abordagem alternativa para introduzir o estudo de fenômenos físicos no Ensino Fundamental de forma a instigar os jovens a criarem expectativas positivas a respeito da Física, a refletirem sobre o papel da ciência e, especialmente, buscando desconstruir estereótipos equivocados sobre a natureza do conhecimento científico. Além disso, como se verá, permite “tocar” de forma introdutória em alguns conceitos de Física Moderna e Contemporânea que os alunos apreciam. Estivemos movidos por várias expectativas: alcançar uma melhoria da qualidade de ensino, atendendo em parte sugestões de longa data presentes em documentos de políticas públicas educacionais (e.g., PCNs, PCN+, Diretrizes Curriculares Gerais para a Educação Básica), promover um ensino mais voltado à formação para a cidadania, isto é, à reflexão crítica e aproximar o ensino escolar de alguns conceitos da Física Moderna e Contemporânea, de forma, claramente qualitativa, mas ainda assim com significado para os estudantes.

As estratégias pensadas e aqui apresentadas foram testadas e aplicadas na 8ª série (atual 9º ano) do Ensino Fundamental de uma escola particular de Porto Alegre por dois anos consecutivos, em formato de oficina extraclasse. A receptividade por parte dos alunos foi excelente. Desta forma, acreditamos que possam ser utilizadas no ensino regular para apresentar a Física de uma forma mais atrativa. Os textos de apoio têm uma linguagem simples e abordam conceitos abrangentes e inclusivos, como propõe a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que nos serviu de referencial teórico, começando com o estudo da queda dos corpos a partir de três momentos históricos distintos: a explicação de Aristóteles; a física clássica de Galileu e Newton e a gravitação de Einstein. Essas três explicações para o mesmo fenômeno – o movimento de queda dos corpos – permitiu discutir explicitamente também aspectos da natureza da ciência, através da visão de Thomas Kuhn, que foi tomada como referencial epistemológico.

É importante destacar que se pode (e incentiva-se) utilizar este material também como abordagem inicial em turmas de Ensino Médio para auxiliar e motivar o estudo da Mecânica com um viés diferenciado e possibilitando, como já comentado, ao mesmo

tempo abordar conceitos *de* física e discutir algo *sobre* a física visando alcançar uma visão mais ampla e não ingênua a respeito da natureza da ciência.

Foram planejados sete encontros para trabalhar essas três interpretações da queda dos corpos (aristotélica, clássica e da relatividade geral) de maneira qualitativa e introdutória e, ao mesmo tempo, histórica e epistemológica. Para desenvolver as dinâmicas da oficina, tivemos a preocupação de selecionar e elaborar materiais e textos que estivessem de acordo com o nível cognitivo da faixa etária dos alunos participantes. A metodologia por trás das atividades está baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, cujos aspectos mais relevantes e relacionados com esta proposta serão apresentados no item subsequente. Dessa forma, preocupamo-nos em mapear os conhecimentos prévios dos aprendizes, uma vez que, para Ausubel, o novo conhecimento se “ancora” no conhecimento antigo de maneira não arbitrária e não literal, permitindo que ambos sejam enriquecidos e adquiram novos significados.

Algumas ideias de Thomas Kuhn (Kuhn. 2013) foram usadas para explicar a evolução dos conceitos físicos trabalhados e para discutir e embasar a noção da “reiterada substituição” de diferentes visões de mundo, ou distintos paradigmas, como característica marcante do processo da ciência.

Assim, este material abrange tanto textos selecionados ou elaborados pela autora, quanto sugestões de leitura e de vídeos para complementar as dinâmicas, sempre com o objetivo de motivar o estudo do movimento de queda dos corpos em três diferentes perspectivas históricas.

Esperamos que este produto possa auxiliá-lo em sua prática docente, oferecendo uma possível alternativa para se ensinar conceitos de Mecânica a partir de uma estratégia diferenciada e motivadora.

## Teoria da aprendizagem significativa

O referencial teórico que dá suporte a esta proposta de trabalho, como comentado, é a *Teoria da Aprendizagem Significativa* de David Ausubel. Esta teoria é cognitiva, isto é, toma a *aprendizagem significativa* como um processo em que a nova informação relaciona-se de maneira não arbitrária e não literal com algum conhecimento já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Para Ausubel, o indivíduo aprende a partir da *interação* do novo conhecimento, que o professor deseja promover, com aquele já existente na sua mente e essas ideias prévias são denominadas *subsunçores* (Moreira, p.161, 2014). A partir dessa relação (que deve ser não arbitrária e não literal, como já dito) ambos os conhecimentos adquirem novos significados (Moreira & Veit, 2010) e a estrutura cognitiva é enriquecida e organizada. A expressão “não arbitrário” significa que o novo conhecimento associa-se não a qualquer conceito, mas a algum conceito pré-existente que tenha relação. Por exemplo, a criança possui a noção de força associada a “empurrão e puxão”; quando o professor ensina a gravitação universal de Newton o conceito de “força de atração gravitacional” associa-se naturalmente ao conceito prévio de “força” atribuindo-lhe novos significados e facilitando a aprendizagem.

Mas para isso, segundo Ausubel, o aluno deve ter predisposição para aprender. Este é um fator importante para que o novo conhecimento se relacione de maneira não arbitrária e substantiva (não ao pé da letra) com aquilo que o aprendiz já sabe (ibid. 2010, p. 40). Desta forma, uma ideia vista pela primeira vez de maneira simbólica se relaciona com algo já presente na estrutura cognitiva como um conceito, uma imagem, um símbolo, por exemplo, que já são claros e são relevantes para o sujeito.

Por outro lado, como adverte Ausubel, quando não ocorre interação entre o novo conhecimento e algum *subsunçor*, ou seja, quando o aluno apenas armazena a nova ideia na sua estrutura cognitiva, dizemos que ocorreu uma *aprendizagem mecânica*. Para este caso, podemos considerar que o que acaba ocorrendo é a memorização de fórmulas. É importante notar que quando os assuntos são totalmente novos para o estudante não há outra saída senão começar com a aprendizagem mecânica e ir diferenciando os conceitos até que este tipo de aprendizagem possa, com o tempo, transformar-se em aprendizagem significativa, desde que o aprendiz tenha

predisposição para relacionar de forma não arbitrária a nova informação com subsunções que foram construídos em sua vivência, na sua estrutura cognitiva.

De acordo com Ausubel, o fator mais importante para que se dê a *aprendizagem significativa* é aquilo que o aprendiz já sabe, assim é necessário que o professor identifique tais informações e ensine a partir delas (Moreira, 2014).

Nesse sentido, esta proposta procurou partir de conceitos presumivelmente conhecidos pelos alunos do Ensino Fundamental em seu cotidiano e também construídos em estudos anteriores (ciências no Ensino Fundamental, por exemplo). Para buscar mapeá-los, começamos pela aplicação de um questionário inicial sobre aspectos da natureza da ciência e desenvolvemos no primeiro encontro um diálogo para identificar conceitos que os alunos já conheciam sobre o tema trabalhado, isto é, a queda dos corpos.

Para Ausubel, os novos conhecimentos são adquiridos por processos de *assimilação, diferenciação progressiva e reconciliação integrativa* (ou *integradora*). Isto pressupõe que se comece apresentando conceitos mais abrangentes e inclusivos e à medida que ocorre interação efetiva entre estes conceitos e as antigas ideias dá-se a *assimilação*. Como resultado, a estrutura cognitiva do aluno fica mais organizada e diferenciada. Essa interação permite que tanto o novo conceito quanto o conhecimento prévio sofram modificações e que a estrutura cognitiva se reorganize através da progressiva diferenciação dos conceitos e da retomada da visão geral, ou reconciliação integrativa, que é promovida pelo professor.

No caso do presente trabalho, podemos considerar que a noção cotidiana de “queda dos corpos” é um conceito bem estabelecido na estrutura cognitiva do estudante e que interagirá com conceitos novos como os de “lugar natural”, “força de atração gravitacional” e “curvatura do espaço-tempo”, abordados ao longo dos encontros permitindo, assim, uma diferenciação e um enriquecimento do conceito inicial.

A etapa que é complementar a esse processo é a *reconciliação integrativa* (ou *integradora*), quando, então, são mostradas diferenças e semelhanças entre os conceitos mais gerais e aqueles mais específicos, fazendo uma retomada geral e solidificando a estrutura cognitiva do indivíduo.

Para que este mecanismo seja possível, Novak (colaborador de Ausubel, *apud* Araujo, 2005, p. 67) propõe que se deve começar com conceitos mais gerais, como já mencionado, e mostrar possíveis relações com os mais específicos; em seguida, volta-se

ao mais geral, dando a ele novos significados. Nesse caso, há a possibilidade tanto da *diferenciação progressiva* quanto da *reconciliação integrativa*.

Nessa linha, em nossa proposta realizamos, no último encontro, uma retomada das três teorias estudadas sobre a queda dos corpos, revisitando conceitos, destacando diferenças e buscando oferecer uma noção kuhniana de como a ciência evoluiu ao longo dos séculos para explicar esse fenômeno físico na esperança de que o aprendiz tenha enriquecido seu entendimento e também refletido sobre o processo, em si, da ciência como uma atividade humana em constante transformação.

## Epistemologia de Thomas Kuhn

A visão de ciência que a proposta busca abordar é a de que a atividade científica é governada por um conjunto de compromissos experimentais e teóricos, de problemas e soluções exemplares compartilhados por uma comunidade de praticantes, o que garante uma continuidade em algum período e um espírito comunitário à ciência como argumentado pelo filósofo da ciência Thomas Kuhn. De acordo com Kuhn, a ciência é processo dinâmico que começa com *pré-ciência*, quando ainda não há um paradigma estabelecido, *ciência normal* quando a comunidade adere a um único paradigma, *crise*, *revolução científica*, *novo paradigma* e assim recomeça o ciclo.

Na fase *pré-paradigmática* há competição entre diversas teorias a respeito de uma mesma classe de fenômenos e à medida que um conjunto de explicações consegue fazer previsões bem sucedidas os cientistas convertem-se e tornam-se um *paradigma*.

De acordo com Kuhn, a ciência madura é praticada com base em um único *paradigma*, que fornece base conceitual e metodológica para o trabalho científico por algum período chamado de *ciência normal*.

No período de *ciência normal*, podem ocorrer divergências entre as previsões do paradigma e a evidência experimental. As divergências caracterizam dificuldades, anomalias do paradigma, sendo que o acúmulo de anomalias sérias e persistentes pode resultar em uma *crise paradigmática*.

Quando o paradigma apresenta anomalias sérias e persistes pode entrar em crise. A crise pode conduzir à rejeição e substituição do paradigma vigente dando lugar a um novo paradigma. Esta descontinuidade na prática científica é chamada por Kuhn de *revolução científica*.

Dependendo da crise, os cientistas podem optar por trocar de paradigma. A substituição de paradigmas é considerada revolucionária, pois um paradigma vigente possui forte influência sobre a ciência (Moreira & Massoni, 2011, p. 33).

Kuhn ao examinar retrospectivamente a História da Ciência percebeu que a ocorrência de *revoluções científicas* atribui à ciência um caráter provisório. Assim, seria um erro ensinar as teorias científicas como algo definitivo, verdadeiro e inquestionável. Ao trabalhar diferentes teorias para explicar o movimento de queda dos corpos que prevaleceram em diferentes épocas (teorias de Aristóteles, Newton e Einstein) estamos apresentando três diferentes paradigmas. Este referencial permite que os alunos percebam que as teorias científicas são provisórias e que não existe uma única maneira

de trabalhar cientificamente (contrário ao que comumente se pode encontrar em muitos livros didáticos que sugerem a existência de um “método científico” algorítmico e infalível).

Com esta interpretação da atividade científica, o aluno tem a possibilidade de perceber a ciência como uma construção humana, dinâmica, falível e com características sociológicas claras. Além disso, podem refletir sobre o processo da ciência, argumentar a respeito dos avanços que os sucessivos paradigmas representaram, melhorando suas concepções e tornando o estudo da Física mais interessante.

## Planejamento e sequência de atividades

O referencial por trás das dinâmicas desta proposta de introdução à Física na escola, como exposto, é o da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e da epistemologia de Kuhn, para auxiliar na reflexão da atividade científica. O conceito kuhniano de “paradigma” como um conjunto de técnicas experimentais e teóricas, bem como de problemas e soluções exemplares compartilhados pelos praticantes de uma comunidade científica, em alguma época, foi utilizado para apresentar a Física de Aristóteles e a Mecânica Clássica como exemplos de interpretações paradigmáticas do movimento de queda dos corpos. Quando um paradigma apresenta dificuldades, anomalias sérias e persistentes, este pode entrar em crise. Em algumas situações, a crise pode conduzir à substituição do paradigma vigente. Esta descontinuidade na prática científica é chamada por Kuhn de *revolução científica*.

Assim, as distintas explicações, ou interpretações, do movimento de queda dos corpos, desde os gregos antigos até a contemporaneidade, foram tomadas nas dinâmicas da oficina como revoluções científicas que se sucederam na História e Filosofia da Ciência (HFC) e essa estratégia marcou e incentivou ao debate de ideias e propiciou momentos de reflexão em sala de aula.

No Quadro 1, a seguir, apresentamos de forma panorâmica o cronograma da intervenção didática proposta.

Quadro 1: mostra a sequência da intervenção didática proposta.

Encontro	Atividade	Objetivos
Encontro 1	Em um primeiro momento, aplicação de um questionário a respeito da natureza da ciência a ser respondido individualmente. Na sequência, uma discussão no grande grupo abordando conceitos sobre movimento, tempo e queda dos corpos. Em seguida, leitura de um texto introdutório sobre movimentos com questões para serem respondidas de maneira individual para serem debatidas, em seguida, coletivamente.	Esta primeira aula tem como objetivo mapear concepções que os alunos possuíam a respeito da natureza da ciência e também sobre os movimentos, além de possibilitar um debate sobre a queda dos corpos.
Encontro	Aplicação de uma adaptação de um teste	Pretende-se mostrar ao aluno que as

2	sobre concepções alternativas em mecânica (Silveira <i>et al.</i> , 1992) e apresentação e discussão a respeito da teoria de Aristóteles sobre o movimento dos corpos (especialmente o conceito de “lugar natural”).	ideias de Aristóteles são bastante intuitivas e que permaneceram vigentes durante séculos, devido especialmente ao contexto social e religioso que se seguiu.
Encontro 3	Discussão a respeito dos fundamentos das teorias de Galileu Galilei, como personagem fundamental de uma nova visão de mundo, e visualização de um episódio da série Cosmos a respeito da vida e obra de Isaac Newton.	Pretende-se aqui relacionar as teorias da Mecânica Clássica com o contexto social, científico e cultural da época.
Encontro 4	Aprofundamento da discussão e apresentação da teoria de Newton com a realização e debate sobre o teste das concepções alternativas em mecânica aplicado no segundo encontro. No final, pretende-se dividir a turma em três grupos visando preparar os alunos para a realização de um jogo, o júri simulado: um grupo para defender as ideias de Aristóteles, outro para defender a mecânica de Newton e um terceiro com a função de ser o corpo de jurados.	Objetiva-se trabalhar com os alunos um pouco mais dinamicamente sobre as ideias de Newton; e alertar que serão analisadas com mais detalhes no Ensino Médio.
Encontro 5	Realização do júri simulado, onde será retomada a divisão dos alunos em grupos: 1) defesa das ideias de Aristóteles; 2) defesa das ideias de Newton/Galileu; 3) corpo de jurados. No decorrer da atividade cada grupo terá três momentos para se manifestar: acusação, defesa e considerações finais. No final, os jurados se reunirão para decidir qual o foi o grupo vencedor, isto é, o que melhor argumentou.	Neste momento, deseja-se que os alunos desenvolvam uma reflexão a respeito das duas teorias estudadas sobre a queda dos corpos (isto é, teoria aristotélica <i>versus</i> teoria newtoniana) e desenvolvam a habilidade de argumentar.
Encontro 6	Leitura e discussão de um texto abordando, de maneira qualitativa e introdutória, a teoria da Relatividade Restrita e Geral de	Nesta última etapa, pretende-se mostrar ao aluno que a Ciência está em constante transformação, que à

	Einstein. Assim, pretende-se introduzir uma nova explicação, um novo paradigma, a respeito da queda dos corpos. Assim, objetiva-se relacionar o conteúdo a respeito da queda dos corpos com aspectos da Filosofia da Ciência de Thomas Kuhn.	medida que a ciência avança novas teorias surgem para explicar mais e melhor os fenômenos físicos. Além disso, visa-se abordar a noção de que há teóricos que tentam explicar como se faz Ciência, como Thomas Kuhn, e que tal reflexão é importante para o desenvolvimento do nosso senso crítico.
Encontro 7	Retomada das três teorias explicativas estudadas sobre a queda dos corpos e reaplicação do questionário realizado no Encontro 1 sobre a natureza da ciência, com o intuito de perceber se houve progresso nas concepções dos estudantes. No final será realizado um grande debate a respeito “do fazer ciência” de acordo com a epistemologia de Kuhn e também sobre como os alunos perceberam/receberam as oficinas.	Pretende-se refletir com os alunos a respeito do “fazer ciência” a partir da visão de Kuhn tomando as três teorias estudadas sobre a queda dos corpos como distintos paradigmas. Visa-se mostrar aos alunos que a ciência está em constante transformação. Além disso, espera-se um retorno dos alunos a respeito do conteúdo e a maneira como este foi tratado nas oficinas.

Fonte: a autora em colaboração com a professora orientadora.

A seguir, são mostradas com mais detalhes as dinâmicas de cada encontro que compõe a presente proposta, seguidas dos textos de apoio por nós utilizados e de sugestões de textos e vídeos ao professor que esteja disposto a introduzir o estudo da Física imbuído do espírito de que esta seja uma experiência positiva para os estudantes.

## Encontro 1

### Plano de Aula do Encontro 1:

Tempo previsto: 100 minutos

#### Conteúdo:

- Natureza da Ciência
- Conceitos introdutórios sobre temas da Física.

#### Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Pensar criticamente sobre algumas questões relacionadas com a Natureza da Ciência.
- Examinar suas ideias (pré-conceitos).
- Reconhecer a importância do estudo dos movimentos dos corpos.

#### Recursos:

- MUC
- Texto de apoio impresso (ou em meio digital se a escola disponibilizar).

Teste impresso entregue a cada aluno (adaptado de Moreira, Massoni & Ostermann, 2007).

#### Referências:

Staguhrn, G. (2011). *Breve storia dell'atomo*. Milão: Salani Editore.

Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

### **Atividade inicial**

#### **Sugestão ao professor:**

Aplicar o teste individualmente para investigar as concepções prévias dos alunos a respeito da Natureza da Ciência. Utilizar nos próximos encontros- o mapeamento das concepções para poder mostrar visões epistemológicas mais adequadas, fazendo com que os alunos percebam que suas ideias iniciais estavam equivocadas.

### **Questões para investigar concepções sobre a Natureza da Ciência**

(Adaptado de Moreira, Massoni & Ostermann, 2007)

Nome: \_\_\_\_\_

Idade: \_\_\_\_\_

A seguir aparecem dez afirmativas sobre como é produzido o conhecimento científico; como ele evolui; como ele se diferencia de outros tipos de conhecimentos e outros aspectos. Solicita-se que em cada uma das afirmativas você posicione a extensão de sua concordância ou discordância segundo a seguinte codificação:

CONCORDO FORTEMENTE	CF
CONCORDO	C
INDECISO	I
DISCORDO	D
DISCORDO FORTEMENTE	DF

Faça um círculo ao redor da(s) letra(s) que melhor expressa(m) a sua concepção e evite marcar muitas vezes INDECISO.					
1. Todo o conhecimento científico (as leis e teorias da Física, por exemplo) é provisório, isto é, pode mudar com o tempo.	CF	C	I	D	DF
2. Quando dois cientistas observam o mesmo fato ou fenômeno, eles devem chegar obrigatoriamente às mesmas conclusões.	CF	C	I	D	DF
3. Todas as leis da Ciência nascem a partir de inúmeras observações e muitas anotações de dados.	CF	C	I	D	DF
4. Todo conhecimento científico resulta da aplicação sistemática de um método científico (ou seja, um conjunto de passos fixos que leva dos dados de observação e experimentação às leis e teorias).	CF	C	I	D	DF
5. Tudo aquilo que não é passível de comprovação experimental (isto é, que não pode ser submetido a testes de laboratório) não pode ser considerado (ou designado) conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF
6. Ao fazer um experimento, o cientista deve observar o fenômeno como ele é de fato, sem elaborar nem levar em conta suas concepções ou intuições prévias.	CF	C	I	D	DF
7. Existe apenas um método científico, geral e universal, para produzir o conhecimento científico.	CF	C	I	D	DF
8. As explicações científicas são necessariamente verdadeiras e definitivas.	CF	C	I	D	DF
9. Pode-se dizer que a ciência é uma construção humana e, por esta razão, pode conter erros, imprecisões que com o passar do tempo podem ser corrigidas e aperfeiçoadas.	CF	C	I	D	DF
10. No processo da Ciência, alguns ingredientes como criatividade, imaginação, intuição também são importantes.	CF	C	I	D	DF

### Referências:

Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

### Desenvolvimento

#### Parte 1:

#### Sugestão ao professor:

A partir das questões abaixo (ou outras), promover um diálogo para investigar as concepções prévias que os alunos apresentam a respeito dos movimentos, dando ênfase ao estudo da queda dos corpos. Podem-se anotar no quadro as ideias apresentadas. É importante incentivar a participação de todos neste debate para poder ter acesso às ideias prévias da maioria. **Nesse momento** nenhuma explicação será fornecida, pois visa-se levantar concepções (ou conhecimentos prévios, na acepção de Ausubel) e problematizar o tema “movimento dos corpos” fazendo com que além de expor suas ideias, os alunos comecem a questioná-las percebendo a necessidade de compreender novas explicações, ou seja, sintam a necessidade de obter explicações científicas.

A parte de texto em itálico explicita qual é a ideia de cada questão.

### **Sugestão de questões para debate:**

1) Como se caracteriza o movimento? Como sabemos se um objeto está em movimento?

*(A ideia central é tratar de referenciais, ou seja, passar uma ideia de que o conceito de movimento é relativo, necessita de um ponto de referência em relação ao qual se pode dizer se um objeto está ou não em movimento.).*

2) O que é tempo? A partir de quando faz sentido iniciar a contagem do tempo?

*(A ideia é associar a contagem do tempo à ocorrência de algum evento no nosso cotidiano, no mundo. Também objetiva fazer uma reflexão a respeito de “tempo é absoluto”, isto é, que ele passa da mesma maneira para qualquer observador, em qualquer referencial)*

3) Por que os corpos caem?

*(A ideia é coletar as concepções, explicações prévias, intuições dos alunos sobre “o que eles sabem sobre a queda dos corpos; listar suas falas no quadro e perceber se possuem noções sobre “atração dos corpos”, “lugar natural em baixo”, “gravidade” etc. Para incitá-los a expor suas ideias pode-se perguntar se ““Alguém “avisa” à maçã que ela deve cair em direção ao solo?”).*

## **Desenvolvimento**

### **Parte 2:**

#### **Sugestão ao professor:**

Leitura da adaptação e tradução do texto intitulado *Matéria e energia: duas faces da mesma moeda*, do livro *Breve Storia dell'atomo*. A partir dessa leitura, espera-se seja

despertado interesse, nos alunos, para o estudo do movimento dos corpos, já que para David Ausubel a predisposição para aprender é um fator muito importante para uma *aprendizagem significativa*.

### Texto 1: *Matéria e energia: duas faces da mesma moeda*

A matéria manifesta-se através de “eventos” que ocorrem no espaço e no tempo. A matéria não é imóvel: galáxias, estrelas, planetas, pessoas, átomos etc. geram eventos.

Somente se pode falar em eventos quando entra em cena o fator tempo. No universo nada existe fora do tempo, afora Deus, mas Deus não está na esfera de competência da Física. O tempo fez-se presente no universo no momento em que pela primeira vez aconteceu alguma coisa, algum evento. E esse evento original, primordial, é o que chamamos de *big bang*, do qual tudo se originou (segundo a teoria hoje mais aceita), inclusive a matéria e o tempo, há cerca de 13 bilhões de anos. Não se sabe o que havia antes, nem mesmo como se chegou ao *big bang*.

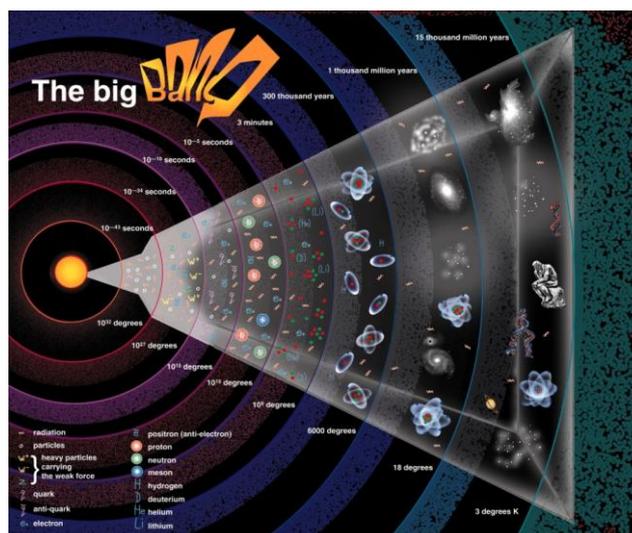


Figura 1: ilustração da evolução do universo segundo a teoria do *big bang*.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo3.html>

O mais provável é que antes do *big bang* não houvesse nada. Contudo, o “nada”, assim como Deus, não é objeto de estudo da Física. Qualquer tipo de “evento” para ocorrer deve envolver energia, força. A matéria não é outra coisa senão energia concentrada. Aquilo que os antigos filósofos (gregos) viam como a “substância universal, indistinta, indefinida”, que teria dado origem aos elementos seria comparável ao atual conceito físico de “energia”.

Energia seria, em certo sentido, a “forma original disforme” da substância universal. Dessa forma, matéria seria energia compactada. E, vice-versa, a energia não seria nada além de matéria extremamente rarefeita. Esse tipo de pensamento está alinhado à nossa tendência de considerar energia como um fluxo uniforme e originário e tudo o que há no universo como um adensamento momentâneo de energia, uma concentração. Matéria como concentração de energia. Energia como sublimação de matéria. Basta tomarmos um objeto qualquer, uma pedra, por exemplo, para

compreendermos que o que temos nas mãos é energia concentrada – literalmente petrificada. Para quebrar a pedra, liberando assim parte da energia concentrada no seu interior, precisamos fazer uso de energia. Por exemplo, podemos bater com um martelo até que ela se estilhaça, ou até que se quebre o martelo. Percebe-se, então, que para modificar o estado da matéria, qualquer que seja o estado, precisa-se de energia.

Todos os eventos da natureza estão associados a uma troca de energia, durante a qual nada se perde, o que ocorre é uma transformação de uma forma de energia em outra, sendo que a energia total do universo permanece constante. É a mesma quantidade liberada no evento primordial, o *big bang*.

Um outro exemplo pode ser instrutivo: se tomarmos uma batata crua, ela é dura e precisamos fazer muita força para amassá-la. Mas se fervermos a batata por meia hora, estaremos fornecendo energia e seu estado mudará. Ela ficará macia e não mais teremos dificuldades para amassá-la. Mas se precisará de mais energia para cozinhar uma batata grossa do que para cozinhar uma batata pequena. Assim, o conceito de energia é acompanhado pelo conceito de massa. É importante compreender isto.

Em Física, o conceito de massa é utilizado com dupla acepção. Os físicos falam em <<massa inercial>> quando se referem à propriedade que o corpo tem de resistir ao movimento. Qualquer corpo (isto é, qualquer objeto) tende a permanecer no estado em que está. A matéria é completamente inerte, para não dizer “preguiçosa” para provocar modificações de seu estado. Toda a matéria no universo tende a permanecer no menor estado de energia (se está parada tende a permanecer parada; se está em movimento tende a permanecer em movimento com uma velocidade constante). Para modificar o estado de movimento de um corpo, como vimos, é necessário energia, por exemplo, em forma de um impulso. O impulso terá que ser tanto maior quanto maior for a massa.

Por <<massa gravitacional>> os físicos entendem a propriedade do corpo de exercer atração sobre outro corpo. A propriedade das massas de atraírem-se mutuamente é chamada de “gravitação” ou “força de gravidade”.

No séc. XVII os físicos Galileu Galilei e Isaac Newton formularam as leis do movimento dos corpos a partir de forças. Essa parte da Física ficou conhecida como Mecânica Clássica e as três Leis de Newton, assim como a Lei da Gravitação Universal, são as bases dessa mecânica.

Mas os gregos explicavam os movimentos diferentemente, com outra visão de mundo. Assim como, Albert Einstein, no início do séc. XX fundou uma nova mecânica (a mecânica relativística, ou “relatividade”) através da qual o movimento passou a ser entendido com base em uma nova visão de mundo, um novo paradigma na linguagem do filósofo da ciência Thomas Kuhn. Assim, embora se conceba que a partir do *big bang* os movimentos sempre existiram no universo, sua explicação foi mudando com o passar dos séculos.

## Referências:

Staguhrn, G. (2011). *Breve Storia dell'atomo*, Milão: Salani Editore (tradução e adaptação nossa).

Fonte da figura adicionada ao texto:

<http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo3.html>. Acesso em setembro de 2014.

## Fechamento

### Sugestão ao professor:

Após a leitura, pedir para que os alunos respondam as questões finais para verificar se eles captaram ideias a respeito do *Big bang* e do tempo. Destacamos que nossa aplicação desta proposta ocorreu em turno inverso e que os alunos já tinham noções das Leis de Newton, de maneira que o que aqui se objetivou foi fazer uma reconciliação integrativa para que a aprendizagem não se reduzisse à memorização de fórmulas. Contudo, em casos em que os alunos não tiveram ainda contato com os fundamentos da mecânica, a questão três deve ser retirada. Ao finalizarem a atividade, sugere-se que o professor solicite aos alunos compartilhem as respostas com o grande grupo.

**Sugestão de questões para serem entregues após a leitura do texto *Matéria e energia: duas faces da mesma moeda.***

Nome: \_\_\_\_\_

01. O que você sabe sobre a teoria do *Big Bang*?
02. De acordo com o texto, quando surgiu o tempo?
03. A frase: “*qualquer corpo tende a permanecer no estado em que está*” relaciona-se com qual lei de Newton que você já conhece?

## Encontro 2

Plano de Aula do Encontro 2:

Tempo previsto: 100 minutos

Conteúdo:

- Teoria aristotélica sobre o movimento de queda dos corpos.  
Conceito de “lugar natural”.

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Reconhecer que as ideias de Aristóteles eram bastante intuitivas, mas que para a época representavam uma explicação adequada dos fenômenos.
- Intuir que essas ideias vigeram durante séculos por que ofereciam explicações próximas do senso comum e também alinhavam-se aos aspectos sociais e religiosos.
- Questionar suas próprias concepções sobre o fenômeno estudado.

Recursos:

- Quadro e caneta.
- Teste impresso, adaptado de Silveira *et al.* (1992), entregue a cada aluno.
- Texto sobre a explicação de Aristóteles a respeito da queda dos corpos.

Referências:

Silveira, F., Moreira, M. A. & Axt, R. Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: um exemplo em Mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 187-194, 1992.

Peduzzi, L. (1996). Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica?. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(1), 48-63.

### Atividade inicial

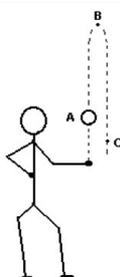
Sugestão ao professor:

Iniciar o encontro com a aplicação do teste adaptado de Silveira *et al.* (1992) sobre força e movimento. Assim que os alunos terminam, solicitar que entreguem apenas a grade com as respostas. O objetivo desta atividade é investigar concepções iniciais que os alunos apresentam sobre força e movimento.

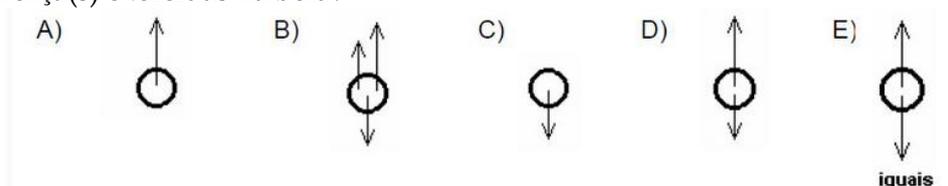
**Adaptação de um teste sobre concepções alternativas em mecânica com base em  
Silveira *et al.*, 1992**

Leia com atenção e marque a resposta que você julga correta na grade, ao final.

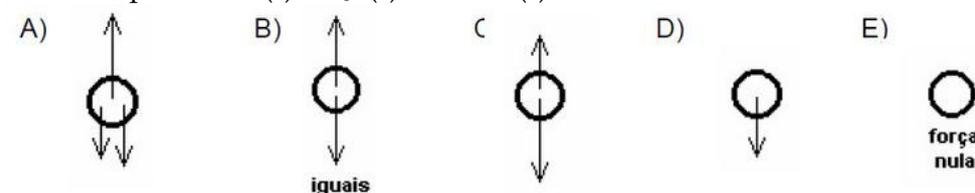
As questões 1, 2 e 3 referem-se ao seguinte enunciado: um menino lança verticalmente para cima uma bola. Os pontos A, B e C identificam algumas posições da bola após o lançamento (B é o ponto mais alto da trajetória). É desprezível a força resistiva do ar na bola. As setas nos desenhos seguintes simbolizam forças exercidas na bola.



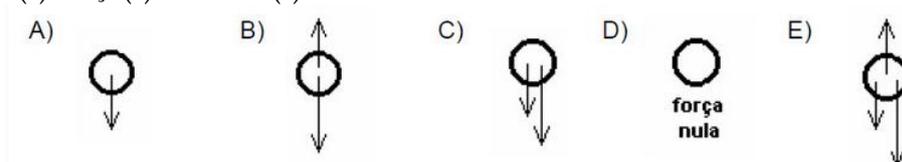
01. No ponto A, quando a bola está subindo, qual dos desenhos melhor representa a(s) força(s) exercidas na bola?



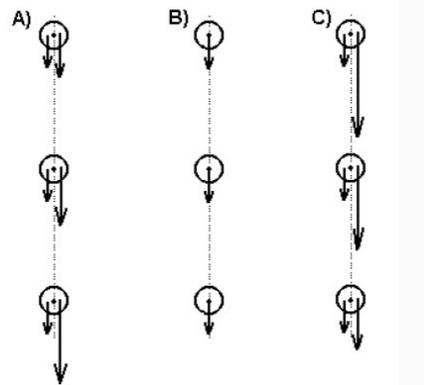
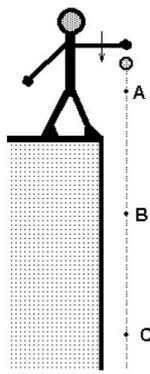
02. No ponto B, quando a bola atinge o ponto mais alto da trajetória, qual dos desenhos melhor representa a(s) força(s) exercida(s) na bola?



03. No ponto C, quando a bola está descendo, qual dos desenhos melhor representa a(s) força(s) exercida(s) na bola?



04. A figura refere-se a um indivíduo que, do topo de uma torre, arremessa para baixo uma bola. Os pontos A, B e C são pontos da trajetória da bola após o arremesso. É desprezível a força de resistência do ar sobre a bola. As setas nos esquemas seguintes simbolizam as forças exercidas sobre a bola nos pontos A, B e C. Qual dos esquemas seguintes melhor representa a(s) força(s) sobre a bola?



**Referências:**

Silveira, F., Moreira, M.A. & Axt, R. (1992). Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: um exemplo em Mecânica. *Enseñanza de las Ciências*, 10 (2), 187-194, 1992 (adaptação nossa, sendo que apenas algumas das questões do teste validado pelos autores foram utilizadas).

**Para entregar: respostas do teste sobre concepções em mecânica.**

Nome: \_\_\_\_\_

Questão 1	A	B	C	D	E
Questão 2	A	B	C	D	E
Questão 3	A	B	C	D	E
Questão 4	A	B	C	D	E

**Gabarito: 1 C; 2 D; 3 A; 4 B.**

**Desenvolvimento**

**Parte 1:**

**Sugestão ao professor:**

Entregar para os alunos o texto impresso intitulado *Modelo aristotélico do movimento dos corpos*. Sugere-se fazer uma leitura em conjunto com os alunos.

## Texto 2: Modelo aristotélico do movimento dos corpos

A história da humanidade é marcada pela busca de explicações sobre questões fundamentais como: quem somos, de onde viemos e para onde vamos? Muitos povos da antiguidade se questionaram a respeito disso e elaboraram suas próprias teorias.

Certa vez, Neil deGrasse Tyson, em um episódio da Série *Cosmos, A Spacetime Odyssey* (2014)<sup>27</sup>, fez a seguinte afirmação: “nascemos inseridos em um mistério, um mistério que tem nos assombrado desde que nos conhecemos por humanos. Acordamos neste mundinho sob o cobertor de estrelas, como um bebê abandonado na porta de uma casa, sem uma carta que explique de onde viemos, quem somos, como nosso universo foi concebido. (...) Tivemos que entender tudo isso por nós mesmos. A melhor coisa que tínhamos a nosso favor era nossa inteligência.”

Isto nos dá uma ideia do longo caminho que a humanidade precisou percorrer para alcançar o conhecimento que hoje temos sobre o mundo que nos rodeia.

Egípcios e babilônios, na antiguidade, desenvolveram uma cultura científica de caráter prático, ao observar os céus e ao fazer anotações. Já os filósofos gregos se questionaram sobre a essência das coisas: seria o mundo feito de determinado elemento? Qual(is) seria(m) esses elementos essenciais que formam todas as coisas? Ou seria o mundo baseado em geometrias e números?

Richard Feynman, um dos gigantes da Física do séc. XX, dizia-se babilônico, pois diferentemente dos gregos que eram racionais e estavam em busca de regularidades matemáticas, ele afirmava que sua metodologia em busca de explicações físicas era seguir suas intuições, usar sua imaginação, fazer tentativas de resolver certas equações matemáticas para solucionar um problema, olhar de outra maneira o mesmo problema e assim por diante (Mlodinow, 2005).

Para Aristóteles, filósofo grego que nasceu provavelmente em 384 a.C. a matéria era formada por quatro elementos: terra, água, ar e fogo.



Figura 1: representação de Aristóteles e os quatro elementos em camadas concêntricas.

Fonte: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p758/23064>

Para Aristóteles os quatro elementos teriam um “lugar natural”. Quando retirados de seu lugar natural, esses elementos deslocar-se-iam verticalmente para ocupar seus lugares naturais.

O lugar natural da terra e da água, por serem mais pesados, seria embaixo. Por essa razão, eles naturalmente se movem (caem) para baixo. Já o fogo e o ar são mais

---

<sup>27</sup> Frase extraída do Episódio 3 da série *Cosmos A Spacetime Odyssey*. A série foi locada para uso e sala de aula.

leves e o lugar natural seria em cima, como no caso da fumaça, o movimento de subida é, portanto, um movimento natural (em busca do lugar natural).

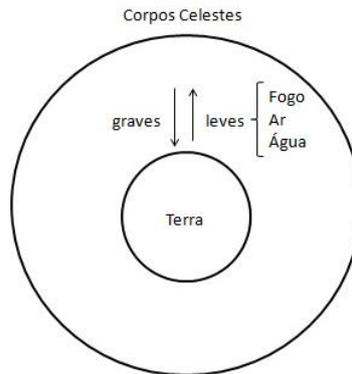


Figura 2: representação do movimento em busca do lugar natural dos quatro elementos segundo Aristóteles.

Fonte: a autora, inspirada em *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011

De acordo com essa teoria de tendência de buscar o lugar natural, Aristóteles explicava a queda dos objetos. Uma pedra, por exemplo, é formada basicamente pelo elemento terra e como a busca pelo lugar natural é para baixo, quando abandonada ela cai em direção ao solo. Tal movimento seria, então, uma tendência natural. Para Aristóteles, se duas pedras de massas diferentes são abandonadas de uma mesma altura, a pedra mais pesada cai primeiro, pois possui maior quantidade do elemento terra e, conseqüentemente, tem mais “pressa” para atingir o seu lugar natural.

Para esse pensador, o movimento violento seria causado por algum agente externo e se oporia ao movimento natural. Assim, ao lançar uma pedra para cima, ela se afasta do lugar natural, mas quando a ação do agente externo se esgota, ela retorna em busca do seu lugar natural. O repouso é o estado final, de maneira que para se conseguir deslocar um objeto a partir do repouso é necessária uma ação violenta (hoje sabemos que é necessária uma força provocada por um agente).

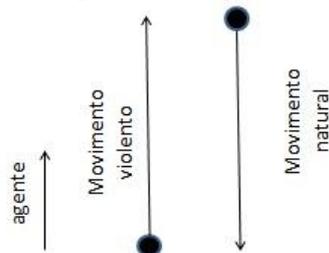


Figura 3: representação dos movimentos violentos e natural.

Fonte: a autora, inspirada em *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

A mecânica (ou teoria) de Aristóteles permaneceu como uma explicação válida durante 18 (dezoito) séculos até que um novo contexto cultural e social levou alguns pensadores a questionarem as ideias aristotélicas.

### Referências:

Mlodinow, L. (2005). *O arco-íris de Feynman: o encontro de um jovem cientista com um dos maiores gênios de nosso tempo*. Rio de Janeiro: Editora Sextante.

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p758/23064>

[http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia\\_v13.html](http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia_v13.html)

<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles>

Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

## Desenvolvimento

### Parte 2:

#### Sugestão ao professor:

Após a leitura do texto e discussão da interpretação aristotélica sobre a queda dos corpos, pedir para os alunos que respondam questões relacionadas com essa interpretação. Espera-se que os alunos tenham a possibilidade de iniciar uma reflexão a respeito da Natureza da Ciência questionando-se sobre a viabilidade dessa explicação. A ideia da primeira questão é investigar a importância que o pensamento e o experimento exercem no desenvolvimento da Ciência, uma vez que o texto mostra que os gregos valorizavam muito a razão enquanto egípcios e babilônios, o experimento. Comentar que Aristóteles tinha um pensamento *empirista*, ou seja, acreditava que era a partir dos sentidos que se obtém o conhecimento. Pedir aos alunos que pensem a respeito da seguinte frase dita por ele: “*Não há nada no intelecto que não estivesse antes nos órgãos dos sentidos.*”<sup>28</sup>. Incentivar um debate sobre se concordam (ou não) com a frase e com visão de como se faz ciência de acordo com Aristóteles. É importante, neste momento, destacar que há sim conhecimentos que derivam da empiria, mas que o que é equivocado é acreditar que todo o conhecimento tem origem na observação e experimentação pura. Já a segunda questão tem por objetivo refletir sobre o quanto vigorou a teoria aristotélica e sua influencia no desenvolvimento da ciência. A partir da terceira questão, pode-se comentar a importância do ar para o movimento na vertical, de acordo com Aristóteles. Assim, a partir da representação feita pelos alunos (pode-se pedir para algum voluntário desenhar no quadro) explicar que a força para cima (na subida) que acompanhava o objeto, tinha como agente o ar (que exercia dois papéis, empurrava para cima e

---

<sup>28</sup> Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/KANT.pdf>

oferecia resistência) que iria diminuindo, que nenhuma força haveria no momento de altura máxima e apareceria uma “força” para baixo na descida, já que Aristóteles acreditava que haveria uma “força” do próprio corpo responsável pela queda, ou seja, a tendência de busca do lugar natural.

**Sugestão de questões sobre o texto *Modelo aristotélico do movimento dos corpos*:**

- a) Você acha que a maneira como egípcios e babilônios faziam ciência era mais correta que a dos gregos?
- b) Em sua opinião, as ideias de Aristóteles sobre o movimento dos corpos foram um atraso para o avanço científico? Justifique sua resposta.
- c) Como Aristóteles explicava a queda de duas pedras com massas diferentes? Faça um desenho representando de, acordo com Aristóteles, o movimento de subida, repouso e descida de um objeto que foi lançado, representando a(s) força(s) em cada etapa.

**Fechamento**

**Sugestão ao professor:**

Verificar as respostas do teste sobre concepções alternativas em mecânica (Silveira *et al.*, 1992) aplicado no início do encontro. As respostas obtidas servirão para dar sequência à interpretação da queda dos corpos de acordo com a mecânica clássica vista nos próximos encontros.

## Encontro 3

### Plano de Aula do Encontro 3

Tempo previsto: 100 minutos

#### Conteúdo:

Apresentação e interpretação da teoria da Mecânica Clássica sobre a queda dos corpos

Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Reconhecer a importância do contexto social no desenvolvimento científico
- Perceber que na época em que viveu Galileu Galilei floresceram novas ideias sobre o mundo e novas explicações dos fenômenos
- Relacionar as ideias elaboradas por Galileu para interpretar a queda dos corpos com o contexto de sua época
- Descrever a queda dos corpos na ausência da resistência do ar (a partir do vídeo que mostra a “queda de uma pena e de um martelo na Lua”)  
Reconhecer que teorias científicas muitas vezes surgem antes de experimentos e observações na natureza

#### Recursos:

- Quadro, caneta
  - Computador e *datashow*
- Texto impresso entregue a cada aluno

#### Referências:

Vídeo da queda de uma pena e de um martelo na Lua: <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>.

Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

### **Atividade inicial**

#### **Sugestão ao professor:**

Revisão das ideias aristotélicas estudadas no encontro anterior. Incentivar a

participação dos alunos questionando-os sobre como era o modelo de Aristóteles para explicar a queda dos corpos. Principais itens a serem retomados: matéria formada pelos quatro elementos *terra, água, fogo e ar* e “pressa” de um corpo de maior massa de cair primeiro por possuir mais o elemento terra, buscando seu lugar natural. Comentar que, de acordo com Aristóteles, acima da Lua havia perfeição, sendo um lugar formado por éter ou quinta essência que permitiria movimentos curvos. Assim, na Terra, movimentos curvos não eram possíveis. E que, de acordo com essa visão, o lançamento de um projétil teria sempre uma trajetória formada por segmentos de reta, conforme mostra a figura abaixo representada, que pode ser desenhada no quadro.

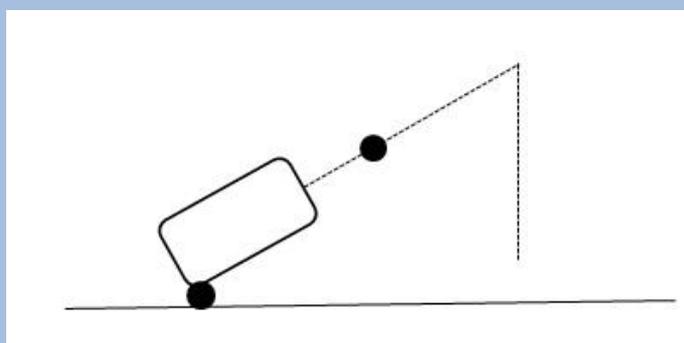


Figura 1: representação do lançamento de um projétil de acordo com a física aristotélica.

## Desenvolvimento

### Parte 1:

#### Sugestão ao professor:

Leitura do texto intitulado *Onde existe matéria sempre existem forças em jogo* com o objetivo de introduzir e incentivar o estudo do conteúdo que abordará uma nova interpretação a respeito da queda dos corpos ou na visão de Kuhn, um novo paradigma. Sugere-se entregar uma cópia impressa para cada aluno.

Texto 3: *Onde existe matéria, sempre existem forças em jogo*

Sabemos que existem, no universo, três estados de agregação das substâncias: sólidos, líquidos e gasosos. No caso das substâncias sólidas, o estado de agregação depende do arranjo dos átomos e isto determina grandes diferenças de densidade<sup>29</sup>. Por exemplo, um pedaço de madeira é uma substância sólida com uma densidade inferior a um idêntico pedaço de ferro. Outras propriedades da matéria são o volume,

---

<sup>29</sup> Densidade é uma grandeza que expressa a razão (ou divisão) entre a massa de um corpo e o volume ocupado por ele, ou seja, a densidade dá uma ideia da concentração de um corpo.

ou seja, o espaço que a matéria ocupa, de maneira que dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo.

Sabemos, assim, que no interior da matéria existem forças - as forças de agregação dos átomos. Desta forma, quando falamos de matéria não podemos deixar de falar das forças que operam no seu interior e também daquelas que provêm da matéria e que agem sobre ela - e determina os movimentos.

O ramo da Física que descreve as leis de movimento dos corpos é chamado Mecânica e ocupa-se de massas, forças e acelerações. Foi Galileu Galilei (1564-1642) quem concebeu e fez os primeiros experimentos a respeito das leis de movimento, por exemplo, sobre a tendência dos corpos de permanecerem parados ou em movimento constante; ou no caso de um corpo em queda, percebeu que a distância percorrida aumenta com o quadrado do tempo (medido em segundos). Por sua vez, Isaac Newton (1642-1727) desenvolveu matematicamente as leis da Mecânica Clássica que descrevem os movimentos de todos os corpos, independentemente se se tratam de bolinhas de bilhar ou de planetas. Com esses três conceitos (massa, força e aceleração) Newton formulou as três leis fundamentais do movimento dos corpos: a Primeira Lei de Newton trata do princípio da inércia, segundo a qual um corpo não submetido a forças (ou seja, quando a soma de todas as forças que atuam sobre ele seja nula) preserva seu estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme (MRU); a Segunda Lei de Newton é o princípio da ação e diz que a implicação de uma força resultante determina uma aceleração, sendo que forças de mesma intensidade agindo sobre corpos com diferentes massas geram acelerações distintas; a Terceira Lei de Newton é aquela do chamado princípio da reação, ou seja, a cada ação contrapõe-se sempre uma reação igual (em intensidade) e contrária (em sentido) que atua em corpos distintos. Se por exemplo um corpo em movimento choca-se com um corpo parado, este último passa a se mover na mesma direção do “empurrão”, enquanto o outro tende a se mover na direção contrária. Além disso, Newton formulou a Lei da Gravitação Universal para explicar como os corpos (por exemplo, a Terra, a Lua, a maçã etc.) se atraem mutuamente. Isto quer dizer que não apenas os corpos celestes de grandes massas geram forças e sofrem a ação de forças, mas a gravitação também explica porque quando damos um impulso e saltamos não somos lançados para o espaço, mas voltamos a cair sobre o solo terrestre, isto é, somos atraídos de volta pela força da gravidade.

Estas leis de extraordinária simplicidade e as relativas expressões (ou fórmulas) matemáticas forneceram uma descrição muito boa de todos os movimentos mecânicos do nosso universo. Com as três leis de Newton, mais a Lei da Gravitação, pode-se descrever tanto a trajetória de um projétil (por exemplo, uma bola chutada por um jogador de futebol) quanto a trajetória da Terra em torno do Sol.

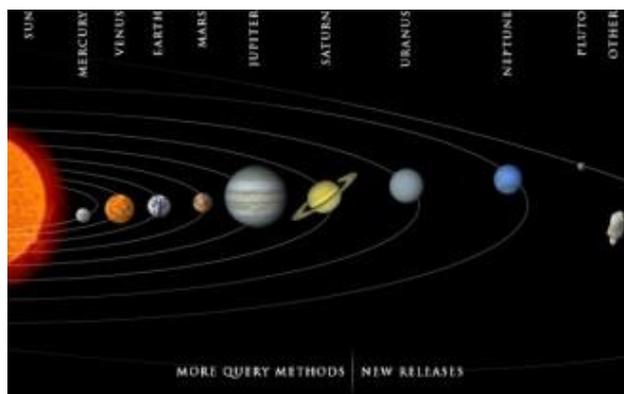


Figura 2: representação do movimento dos planetas ao redor do Sol.

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/oei/solar/solar04/solar04.htm>

A nossa experiência cotidiana está extremamente conectada com a Mecânica Clássica, quer notemos ou não as leis de Newton. Ao movermo-nos no mundo não fazemos nada mais que colocar em prática essas leis. Desde crianças as conhecemos: quando andamos, quando caímos, quando fazemos colidir um objeto contra outro, quando lançamos objetos, quando escalamos árvores e escorregamos, ou seja, enquanto aprendemos a nos mover no mundo.

Não nos maravilhamos quando vemos uma maçã madura cair do galho ao invés de voar para o alto, nem do espetáculo de um astronauta que se libera no espaço próximo de sua astronave sem se precipitar para a Terra.

Mas quem se pergunta por que essas coisas acontecem? Este é o fascínio da Física cujo estudo está iniciando.

#### **Referências:**

STAGUHN, G. (2011). *Breve Storia dell'atomo*, Milão: Salani Editore, 2011 (tradução e adaptação nossa).

Referência da figura adicionada ao texto:

<http://www.if.ufrgs.br/oei/solar/solar04/solar04.htm>. Acesso em setembro de 2014.

### **Desenvolvimento**

#### **Parte 2:**

#### **Sugestão ao professor:**

Na sequência da leitura e discussão do texto, propor a questão abaixo para os alunos refletirem a respeito do papel do experimento e pensamento no desenvolvimento da ciência. Assim que eles responderem individualmente, incentiva-se que eles comentem com o grande grupo suas respostas.

**Sugestão de questão para reflexão após a leitura do texto *Onde existe matéria, sempre existem forças em jogo.***

Tanto o pensamento (ou seja, o intelecto humano) quanto o experimento são importantes para o desenvolvimento da Ciência, isto é, para a formulação das leis e teorias que explicam os fenômenos. Você concorda com essa afirmação? Justifique sua resposta.

### **Desenvolvimento**

### Parte 3:

#### Sugestão ao professor:

Este momento do encontro tem por objetivo introduzir ideias a respeito da mecânica clássica. Abaixo há uma sugestão de texto para dar suporte ao professor a respeito da contextualização da época em que viveu Galileu Galilei (e seus contemporâneos), além de tratar a respeito da interpretação deste a respeito da queda dos corpos.

#### **Texto 4 ( de apoio ao professor)**

##### *Galileu Galilei e a queda dos corpos*

Houve um período na história da humanidade marcado pelo controle e proibições imposta pela Igreja Católica. Naquela época, a Igreja adotava determinadas teorias como corretas a respeito do mundo (por exemplo, uma adaptação da mecânica aristotélica à religião). Aqueles que tentassem questionar tais teorias podiam ser condenados e julgados. Foi o caso, por exemplo, de Giordano Bruno (frade italiano que viveu entre 1548 a 1600) que foi condenado pela Inquisição Romana, pois manifestou suas crenças de que o universo era infinito e que havia infinitas estrelas e planetas (assim como a Terra) que giravam, podendo, dessa forma, existir vidas inteligentes por lá.

Por mais que houvesse proibição por parte da Igreja diante de novas teorias a respeito da ordem natural, ressurgiu a teoria heliocêntrica (proposta por Aristarco de Samos em IV a.C.) com o astrônomo polonês Nicolau Copérnico (1473 - 1543). Para ele, a Terra não ocuparia um local privilegiado (centro do Universo) e giraria ao redor do Sol assim como os outros planetas, pois para Copérnico, o Sol estaria no centro do universo por ser o astro mais importante. Essas ideias colocavam a Terra como os demais planetas em um posição secundária, rompendo, dessa forma, com a doutrina aristotélica assumida pela Igreja.

O físico, matemático, astrônomo e filósofo italiano Galileu Galilei (1564 - 1642) foi influenciado pelas ideias de seus contemporâneos e pelo movimento Iluminista da época. Em 1610, com o auxílio de um telescópio, observou manchas e irregularidades no Sol e na Lua, percebendo, também, que Vênus girava em torno do Sol. Tais constatações mostraram-se totalmente opostas com as ideias de Aristóteles. Galileu dedicou-se, também, ao estudo de fenômenos presentes na Terra, como o caso da *queda dos corpos*.

De acordo com Galileu Galilei, um corpo em queda, no vácuo, tem acréscimos iguais na velocidade em tempos iguais. Isso significa que, se fosse possível retirar o ar, corpos de massas diferentes cairiam ao mesmo tempo, experimentando a mesma aceleração. Para aqueles que acreditavam na teoria aristotélica, Galileu estava equivocado por acreditar na possibilidade de vácuo. Algumas décadas após a morte de Galileu foram possíveis de se fazer as primeiras bombas de vácuo.

Galileu Galilei estimou um valor de aceleração de queda em  $4 \text{ m/s}^2$ . Hoje em dia sabemos que este valor está abaixo do esperado<sup>30</sup>, porém é importante destacar que

---

<sup>30</sup> Usa-se, aproximadamente,  $10 \text{ m/s}^2$  como valor da aceleração da gravidade.

ele não possuía equipamentos sofisticados para medir o tempo com precisão e que a ordem de grandeza é a mesma da aceleração da gravidade terrestre hoje aceita.

Galileu Galilei sabia que havia uma relação direta entre o deslocamento vertical ( $\Delta h$ ) e tempo ( $t$ ). Atualmente, usa-se a relação (1), mostrada abaixo, que representa a função da posição com o tempo para corpos em queda livre (desconsiderando a resistência do ar).

$$h = h_i + v_i t - \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

Onde:

$h$ : altura final (m);

$h_i$ : altura inicial (m);

$v_i$ : velocidade inicial (m/s);

$t$ : tempo (s);

$g$ : aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

É importante notar que o referencial adotado é o representado na figura 1, por este motivo aparece o sinal negativo na relação 1.

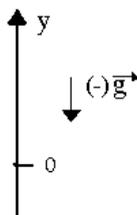


Figura 1: representação do referencial adotado.

Fonte: [http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Ghisiane/queda\\_dos\\_corpos.htm](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Ghisiane/queda_dos_corpos.htm)

Podemos reescrever a relação 1 como uma função do deslocamento<sup>31</sup> em função do tempo, considerando a velocidade inicial igual a zero, resultando, desta forma, na relação 2:

$$\Delta h = -\frac{gt^2}{2} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta h$ : deslocamento na vertical (m);

$t$ : tempo (s);

$g$ : aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );

Exemplo:

Consideremos um objeto abandonado de determinada altura. Desconsiderando a resistência do ar, qual o deslocamento deste objeto (a altura) nos instantes de tempo iguais a 1, 2, 3 e 4 segundos? Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Resolução:

*O exemplo nos proporciona as seguintes informações:*

$v_i = 0$  (já que o objeto foi abandonado)

$g = 10 \text{ m/s}^2$

---

<sup>31</sup> Para este caso, é importante que os alunos já tenham noções de deslocamento e distância, como o caso do público alvo das oficinas aplicadas.

$$\Delta h = ?$$

Com o auxílio da relação 2, teremos que:

a) Para  $t = 1 \text{ s}$

$$\Delta h = -\frac{10 \cdot (1)^2}{2} = -5 \text{ m}$$

b) Para  $t = 2 \text{ s}$

$$\Delta h = -\frac{10 \cdot (2)^2}{2} = -20 \text{ m}$$

c) Para  $t = 3 \text{ s}$

$$\Delta h = -\frac{10 \cdot (3)^2}{2} = -45 \text{ m}$$

d) Para  $t = 4 \text{ s}$

$$\Delta h = -\frac{10 \cdot (4)^2}{2} = -80 \text{ m}$$

Note que o sinal negativo, novamente, se fez presente devido ao referencial adotado. É importante destacar que, em um movimento uniformemente acelerado, um corpo não percorre distâncias iguais em tempos iguais<sup>32</sup>.

Há muitos escritos que interpretam esses achados associando-os a uma doutrina empirista (concepção que acredita que o conhecimento deriva exclusivamente dos sentidos, da observação e experimentação), segundo a qual teria sido a partir do experimento da torre de Pisa e do auxílio de planos inclinados que Galileu “descobriu” a relação matemática que descreve a queda dos corpos. Por outro lado, a partir de relatos do próprio Galileu, pode-se perceber que os experimentos serviram para testar a relação matemática por ele idealizada (Silveira & Peduzzi, 2008).

#### **E o experimento na Torre de Pisa?**

Existe uma lenda que relata que Galileu Galilei teria feito um experimento na Torre de Pisa deixando cair duas esferas de massas diferentes e teria comprovado que cairiam ao mesmo tempo, assim, demonstrando que sua teoria estaria certa. É importante notar que a teoria galileana afirma que corpos de massas diferentes caem em tempos iguais, desde que haja vácuo! Assim, Galileu sabia que corpos de massas diferentes teriam tempos de queda diferentes em meios resistivos. Em 1937, o historiador Alexandre Koyré afirmou que o experimento na Torre de Pisa nunca foi realizado por Galileu Galilei, mostrando, assim, que essa história é mito. (*apud*, 2008). Há um vídeo muito interessante que mostra a queda, na Lua<sup>33</sup>, de dois objetos de massas diferentes (sugere-se mostrar aos alunos). As ideias de Galileu Galilei representaram um avanço para o tempo em que vivia, já que estamos diante de explicações que saem do senso comum.

#### **Referências:**

Silveira, F., & Peduzzi, L. (2008). Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(1), 27-55.  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Giordano\\_Bruno](https://pt.wikipedia.org/wiki/Giordano_Bruno)

---

<sup>32</sup> Diferença que deve ser destacada, caso os alunos já tenham estudado movimento retilíneo uniforme.

<sup>33</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>.

<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=250>  
<http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/Aulas/Pages/6.html>  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau\\_Cop%C3%A9rnico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico)  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu\\_Galilei](https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei)  
[http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Determinando\\_g.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Determinando_g.pdf)  
<https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/GRAVIDADE.pdf>  
[http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Ghisiane/queda\\_dos\\_corpos.htm](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Ghisiane/queda_dos_corpos.htm)

### **Fechamento**

#### **Sugestão ao professor:**

Para finalizar o encontro, sugere-se iniciar a visualização do vídeo que representa um pouco do contexto histórico em que viveu Isaac Newton<sup>34</sup>. Este episódio mostra o incentivo do astrônomo Edmond Halley para a publicação de um dos livros mais importantes para a mecânica clássica, *Principia*. Através desta obra, Newton explica as bases da dinâmica clássica, como o movimento dos planetas.

---

<sup>34</sup> *A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

## Encontro 4

### Plano de Aula do Encontro 4

Tempo previsto: 100 minutos

#### Conteúdo:

- Teoria da Gravitação Universal de Isaac Newton
- Explicação da Mecânica Clássica para a queda dos corpos  
Discussão do contexto histórico em que vivia Newton

#### Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Refletir sobre a importância do contexto histórico em que vivia Isaac Newton para o desenvolvimento de suas ideias.
- Relacionar as ideias de Newton com as de Galileu (e com o contexto da época).
- Reconhecer a mecânica de Newton como uma nova teoria para explicar a queda dos corpos e uma nova visão de mundo, um novo paradigma (a aceção de Kuhn).
- Perceber que ciência não surge apenas de experiências e observações.  
Descrever aspectos da vida do cientista Isaac Newton percebendo-o como uma pessoa humana (com capacidades intelectuais geniais, mas também com fraquezas tipicamente humanas).

#### Recursos:

- Quadro, caneta.  
Computador e *datashow* (para visualizar o vídeo).

#### Referências:

- Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.

#### Referências consultadas:

- Hewitt, P. G., trad.: Trieste Freire Ricci, *Física Conceitual*, 11 ed., Porto Alegre: Bookman, 2011.
- Rocha, J. F. (Org.). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA, 2011.

### Atividade inicial

#### Sugestão ao professor:

Começar com uma revisão das teorias aristotélicas e galileanas a respeito da queda dos corpos, estudadas nos encontros anteriores.

Continuar a visualização do vídeo sobre Isaac Newton.

### Desenvolvimento

#### Parte 1:

#### Sugestão ao professor:

Promover um debate com os alunos para avaliarem o episódio da série *cosmos*. Pode-se ressaltar que este vídeo mostra uma visão mais humana dos cientistas, por exemplo, a inimizade existente entre Robert Hooke e Isaac Newton. Além disso, também é representado o incentivo do astrônomo Edmond Halley para a publicação do livro *Principia*, base da mecânica clássica que descreve o movimento dos corpos. Com isso, tenta-se mostrar a importância de aspectos históricos para a construção da ciência. Abaixo há uma sugestão de texto para dar suporte ao professor a respeito de Isaac Newton e sua interpretação sobre a queda dos corpos.

### Texto 5 (de apoio ao professor)

#### *Isaac Newton e a queda dos corpos*

Isaac Newton (1642 - 1726), físico e matemático inglês propôs a *teoria da gravitação universal* segundo a qual massa atrai massa e isso justifica a queda dos corpos nas proximidades da Terra, que é um corpo muito massivo. Na mecânica de Newton, a mesma força<sup>35</sup> que atrai uma maçã para o solo é a que gera o movimento da Lua ao redor da Terra e dos planetas ao redor do Sol. Isso significa que há uma força de atração entre a Terra e massas em queda próximas a sua superfície, sendo que a Lua, por exemplo, não colapsa sobre a Terra porque está dotada de grande velocidade (que permite que ela se mantenha em órbita). A lei da gravitação universal, representada pela relação 3, proposta por Newton representa a atração existente entre as massas, relacionando com a distância entre elas:

$$F = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} \quad (3)$$

---

<sup>35</sup> É importante que os alunos já saibam o conceito de força como uma **ação** capaz de deformar, colocar em movimento e oferecer resistência. É uma grandeza vetorial, caracterizada a partir de módulo, direção e sentido. Para as grandezas vetoriais, faz-se uso de flechas para melhor representá-las.

Onde:

F: módulo da força de atração entre as massas (N);

G: constante da gravitação universal ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ );

M e m: massas (kg);

d: distância entre as massas (m).

A figura 1, representada abaixo, demonstra as forças de atração entre a Terra e a Lua, isto é, busca mostrar que a Terra atrai a Lua com uma força de mesma intensidade com que a Lua atrai a Terra.

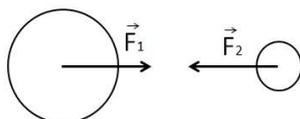


Figura 1: representação das forças de atração entre a Terra e a Lua.

Abaixo, na figura 2, é mostrada a representação da força peso durante a queda de um objeto na superfície da Terra.

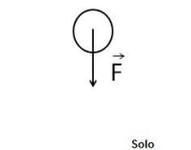


Figura 2: representação da força peso em um objeto em queda na superfície da Terra.

Há muitas versões a respeito de uma lenda que afirma que Newton teria “descoberto” a lei da gravitação universal a partir da queda de uma maçã. Há um relato de uma pessoa próxima a Newton, John Conduitt<sup>36</sup>. Ele afirma que, em 1666, Newton estava na fazenda de sua mãe Lincolnshire e meditava no jardim. Surgiu, então, em sua mente a ideia de que a atração que a Terra em uma maçã em queda pode se estender para uma distância maior, chegando até a Lua.

Essa passagem pode ilustrar ou sugere a influencia do pensamento para se obter conhecimentos mais complexos, que é uma noção, em geral, longe do senso comum.

#### **Referências:**

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)

<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/RAM-livro-Cibelle-Newton.pdf>

## **Desenvolvimento**

### **Parte 2:**

#### **Sugestão ao professor:**

Retomada do teste sobre força e movimento (Silveira *et al*, 1992). pode-se passar aos alunos o gabarito e explicar cada uma das quatro questões. Sugere-se destacar que a força é uma ação. Isso significa que, quando o objeto sai das nossas mãos, deixamos de

<sup>36</sup> <http://www.ghc.usp.br/server/pdf/RAM-livro-Cibelle-Newton.pdf>

exercer tal ação e, conseqüentemente, a força deixa de existir. Assim, como o objeto está na superfície da Terra, esta é a única que “exerce força” sobre ele.

**Gabarito:**

Questão	Alternativa correta
1	C
2	D
3	A
4	B

**Fechamento**

**Sugestão ao professor:**

Neste momento, sugere-se solicitar para a turma dividir-se em três grupos para iniciarem os preparativos para o jogo do júri simulado, programado para o próximo encontro. É interessante levar opções de materiais extras para eles se prepararem. Entregar as seguintes orientações.

**Texto 6: Orientações aos alunos sobre o júri simulado:**

**Júri Simulado**

Esta atividade busca incentivar a participação ativa dos estudantes e simula um tribunal judiciário. Os estudantes são divididos em três grupos: dois grupos cumprem o papel de debatedores (defendendo duas teorias ou posturas opostas) e um terceiro grupo simula o júri popular e é responsável pelo veredicto. Essa divisão é feita na aula anterior sendo que cada aluno sabe com antecedência qual o papel que deverá assumir no jogo e tem oportunidade de se preparar. Além disso, todos os estudantes recebem indicação de livros ou sites de internet e são fortemente incentivados a pesquisarem e estudarem sobre os temas, em casa, para melhor argumentarem, defendendo suas posições e atacando a visão contrária, assim como os membros do júri precisam se preparar para estarem aptos na tarefa de julgar a atuação dos colegas.

O tema proposto nesta proposta é: *Qual teoria melhor descreve a queda dos corpos: a aristotélica ou a da Mecânica Clássica?*

Os grupos debatedores têm três momentos importantes:

1º momento: exposição do ponto de vista inicial, seguido de defesa ou ataque;

2º momento: direito de resposta (réplica);

3º momento: considerações finais (tréplica).

No final, o júri popular (grupo dos jurados que assistem a todo o debate) reúne-se, debate internamente e decreta o veredicto (isto é, declara o grupo vencedor).

## Encontro 5

### Plano de Aula do Encontro 5

Tempo previsto: 100 minutos

#### Conteúdo:

Júri simulado: debate entre as visões de Aristóteles e da Mecânica Clássica para a queda dos corpos.

#### Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Discernir ideias de diferentes paradigmas
- Desenvolver habilidades de argumentação
- Posicionar-se diante de argumentos apresentados pelos grupos no jogo do “júri simulado”

Comparar as duas teorias estudadas sobre o movimento de queda dos corpos (visão aristotélica *versus* Mecânica Clássica).

#### Recursos:

- Textos de apoio (já oferecidos nos encontros anteriores).
- Consulta à internet e outros itens que os alunos julgarem necessários para defender as ideias no “júri simulado”.

#### Referências:

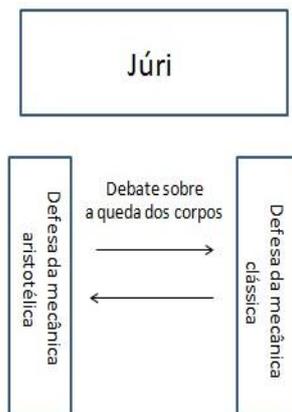
##### Referências sugeridas (aos alunos como preparação ao júri simulado):

- Hipermídia que trata sobre a evolução de alguns conceitos na Física. Disponível em [http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia\\_v13.html](http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia_v13.html)
- Vídeo da queda de uma pena e de um martelo na Lua. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>
- Vídeo locado sobre Isaac Newton, que faz parte da série americana *Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. *Cosmos: A Spacetime Odyssey*. Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.
- Hewitt, P. G., trad.: Trieste Freire Ricci, *Física Conceitual*, 11 ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.
- Texto sobre o modelo aristotélico para a queda dos corpos.

### Atividade inicial

#### Sugestão ao professor:

Sugere-se dedicar os vinte minutos iniciais para a organização dos alunos em seus grupos para a realização do júri simulado. Durante esse período, o professor pode passar pelos grupos, auxiliando-os. A figura abaixo mostra uma possível configuração da sala de aula para a dinâmica.



Fonte: a autora.

### Desenvolvimento

#### Sugestão ao professor:

No início da dinâmica, os alunos que compõem o júri podem sortear qual grupo inicia a defesa. É importante que o professor se mantenha neutro diante do debate, esclarecendo apenas possíveis equívocos. Na sequência, a defesa adversária fica encarregada de se manifestar. Em seguida, há mais dois momentos para ambas as defesas (grupos debatedores) mostrarem argumentos para embasar o motivo pelo qual a teoria defendida por eles é melhor para explicar a queda dos corpos.

Depois disso, o copo de jurados (júri) se reúne para decidir qual dos dois grupos melhor defendeu sua teoria (apresentou argumentos mais consistentes e se saiu melhor). Neste momento, o professor pode acompanhar a discussão dos jurados para entender qual a linha de raciocínio foi por eles utilizada e verificar se faz sentido (para que não se abra espaço para decisões embasadas em questões pessoais). Logo após, os jurados juntam-se aos dois grupos e informam qual foi escolhido como vencedor e justifica o motivo da escolha.

### Fechamento

#### Sugestão ao professor:

Para finalizar a dinâmica, o professor pode propor um debate com os alunos

participantes para avaliar o júri. É importante que se tente mostrar possíveis aspectos positivos e negativos para que esta seja atividade possível de ser realizada com outros temas em encontros futuros. **Destacamos que nas duas aplicações que realizamos junto a alunos da 8ª série do Ensino Fundamental (em 2014 e 2015) de uma escola particular de Porto Alegre, o júri simulado foi recebido com muito entusiasmo pelos estudantes. Percebemos que no intuito de vencer o jogo os alunos acabam estudando e se preparando com dedicação e profundidade, bem como desenvolvem habilidades de argumentação. Sugere-se examinar o trabalho de Guttman e Braga (2015)<sup>37</sup> onde alunos debatem sobre duas diferentes ideias que explicam a origem do universo, baseando-se na ideia de julgamento simulado para os alunos refletirem aspectos da HFC.**

---

<sup>37</sup> GUTTMANN, G. & BRAGA, M. (2015). A origem do universo como tema para discutir a Natureza da Ciência no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(2), p. 442-460.

## Encontro 6

### Plano de Aula do Encontro 6

Tempo previsto: 100 minutos

#### Conteúdo:

- Conceitos introdutórios da Relatividade Restrita e Geral  
Interpretação segundo a Relatividade Geral do movimento de queda dos corpos.

#### Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Reconhecer que ao longo do desenvolvimento científico houve diferentes explicações para o mesmo fenômeno, de queda dos corpos.
- Refletir sobre o contexto em que surgiu a teoria elaborada por Albert Einstein. Perceber que se trata de uma nova teoria para explicar a queda dos corpos, e um novo paradigma, na visão de Kuhn.

#### Recursos:

- Quadro, caneta.
- Computador, *DataShow*.  
Texto impresso (ou em meio digital se a escola oferecer condições).

#### Referências:

- Vídeo que ilustra a deformação do espaço-tempo através de um experimento feito com um tecido elástico e algumas esferas. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxIgp0>;

#### Referências consultadas:

Hewitt, P. G. (2011). *Física Conceitual*, 11ª ed. Porto Alegre: Bookman.

### **Atividade inicial**

#### **Sugestão ao professor:**

Este encontro tratará de uma nova interpretação teórica a respeito da queda dos corpos baseada na Teoria Relatividade Geral. No entanto, pensamos em, primeiramente, introduzir ideias a respeito da Teoria da Relatividade Especial para mostrar aos alunos que o início do século XX foi marcado pelo surgimento de novos polares na Física. Esse debate pode ser iniciado a partir da leitura do texto intitulado *Albert Einstein e a explicação da queda dos corpos através da Teoria da Relatividade*. A parte inicial do texto aborda influência dessa nova visão de mundo nas artes, além de

mostrar os postulados da Relatividade Especial e, de forma introdutória, algumas repercussões como a dilatação do tempo, a contração do espaço e ideia de espaço-tempo. O texto está disponibilizado na sequência.

### **Desenvolvimento**

#### **Sugestão ao professor:**

Após introduzir as ideias a respeito da Relatividade Especial com o auxílio do texto, sugerimos mostrar um vídeo que ilustra a ideia da deformação do espaço-tempo e que servirá como base para explicar a queda dos corpos a partir da Teoria da Relatividade Geral<sup>38</sup>. Durante a reprodução do vídeo, o professor comenta com os alunos que o tecido deformado pela esfera de maior massa, como mostrado no experimento, ilustra a ideia da deformação do espaço-tempo causado pelos corpos celestes (como planetas e estrelas), e que esta seria a causa da queda dos corpos próximos à superfície da Terra e do movimento dos planetas ao redor do Sol, por exemplo. Na sequência, pode-se dar continuidade à leitura do texto (parte da Relatividade Geral). O texto completo que servirá de apoio para o encontro 6 está disponibilizado abaixo.

#### **Texto 7 (qualitativo sobre as Teorias da Relatividade Especial e Geral):**

##### *Albert Einstein e a explicação da queda dos corpos através da Teoria da Relatividade*

O início do século XX foi marcado pelo surgimento de um novo paradigma na Ciência. As ideias de tempo e espaço que eram conceitos absolutos na física newtoniana (também chamada “mecânica clássica”) cederam lugar à concepção de tempo e espaço relativos. Em 1905, Albert Einstein publicou o artigo intitulado *Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento* em que apresentava a Teoria da Relatividade Restrita, em que aparecia pela primeira vez a noção de tempo e espaço não absolutos, isto é, passavam a depender do referencial do observador.

Essas ideias foram tão revolucionárias que despertaram novos sentimentos em vários campos da sociedade, inclusive nas artes. Um exemplo foi o artista espanhol Salvador Dalí que procurou retratar em suas obras a nova visão de mundo da época. A Figura 1 mostra uma obra intitulada *A persistência da memória* (1931), em que aparecem três relógios (representando o passado, o presente e o futuro), mas todos são macios, moles passando a ideia da dilatação do tempo da Teoria da Relatividade Restrita.

---

<sup>38</sup> Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxIgp0>

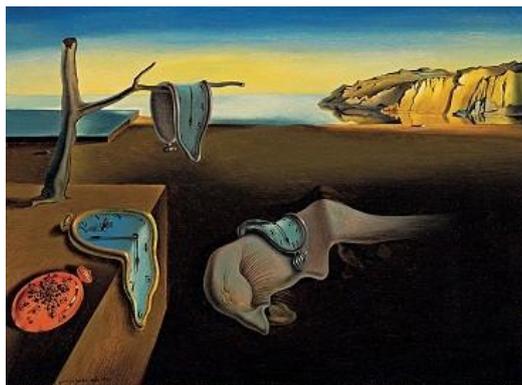


Figura 1: A persistência da memória (1931)

Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Persistence\\_of\\_Memory#/media/File:The\\_Persistence\\_of\\_Memory.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Persistence_of_Memory#/media/File:The_Persistence_of_Memory.jpg)

Além disso, na obra, o espaço está representado pela árvore, pela montanha, pelo céu e mar e estes se relacionam, de alguma maneira, com os relógios deformados. De acordo com a Relatividade Restrita (ou Relatividade Especial), espaço e tempo estão intimamente relacionados. Certa vez, Salvador Dalí expressou isso dizendo: “*O tempo é impensável sem o espaço, dizem cada um dos meus quadros. Meus relógios moles não são apenas uma imagem fantasista e poética do real, mas esta visão (...) é, com efeito, uma definição mais perfeita de tempo-espaço, que as mais altas especulações matemáticas possam dar.* (Dalí, 1976)”<sup>39</sup>.

### Postulados da Teoria da Relatividade Restrita

O primeiro postulado de Einstein afirma que *todos os processos da Natureza ocorrem da mesma forma em todos os referenciais inerciais*<sup>40</sup>. Dito de outra forma, se um observador estiver no interior de um elevador sem aberturas, no espaço, ele não poderá distinguir se o elevador é acelerado para cima ou se ele cai sob a ação da gravidade, pois se um feixe de luz entrar por um orifício, nas duas situações, a luz parecerá se encurvar à medida que o sistema se move.

O segundo postulado de Einstein diz que *a velocidade da luz, no vácuo, é a mesma em todos os referenciais inerciais*. Em outras palavras, independente se um observador se move ou se uma fonte que emite luz está em movimento, quando esse observador mede o módulo da velocidade da luz, no vácuo, ele obtém sempre o mesmo resultado numérico ( $c$ )<sup>41</sup>.

### Vamos tentar entender melhor as consequências disto

---

<sup>39</sup> Disponível em Influências da Física Moderna na obra de Salvador Dalí: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6243>

<sup>40</sup> Referencial inercial: referencial em que é válida a 1ª lei de Newton.

<sup>41</sup> A velocidade da luz no vácuo, representada pela letra “ $c$ ”, tem um valor aproximado de 300.000 km/s ou, no Sistema Internacional de Medidas 300.000.000 m/s, que em notação científica se escreve  $3 \cdot 10^8$  m/s.

Começemos por analisar uma situação na qual as propostas de Einstein diferem das teorias clássicas<sup>42</sup>. Considere que uma esfera foi colocada em uma esteira que se move a 5 m/s. A velocidade da esfera passa a ser 5 m/s (em relação à esteira).

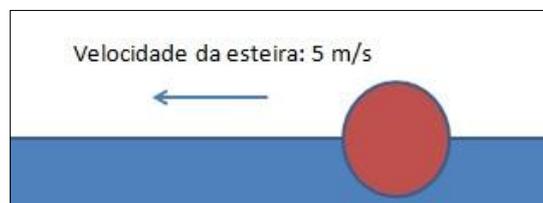


Figura 2: representação da esfera colocada em cima de uma esteira que se move a 5 m/s. Fonte: a autora, baseada em <http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

Caso seja colocada uma segunda bola que já tenha uma velocidade de 2 m/s (em relação à esteira), quando colocada na esteira, terá uma velocidade de 7 m/s.

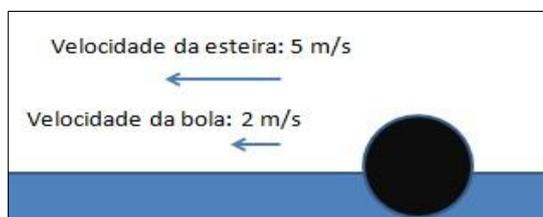


Figura 3: representação da esfera de 2 m/s colocada em cima de uma esteira que se move a 5 m/s. Fonte: a autora, baseada em <http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

Se, sobre as duas esferas, colocarmos um medidor de velocidade da luz, e uma fonte de luz fosse posicionada sobre a mesma linha de movimento delas, de forma que ambas se aproximassem da fonte, a teoria clássica indica que a velocidade da luz medida pela esfera que se move a velocidade de 7 m/s seria maior do que a velocidade da luz medida pela esfera que move a velocidade de 5 m/s. A partir dos postulados de Einstein, vemos que ambas as esferas devem medir a mesma velocidade.

Segundo a teoria da relatividade, nenhum corpo pode atingir a velocidade da luz. Se um corpo alcançar uma velocidade muito próxima à velocidade da luz, haverá uma diferença na percepção de espaço e de tempo em relação a um referencial na Terra, por exemplo.

### Dilatação do tempo

De acordo com a teoria da Relatividade, cada observador terá sua própria medida de tempo. Podemos entender essa ideia a partir do *paradoxo dos gêmeos*.

---

<sup>42</sup> Exemplo retirado do site <http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

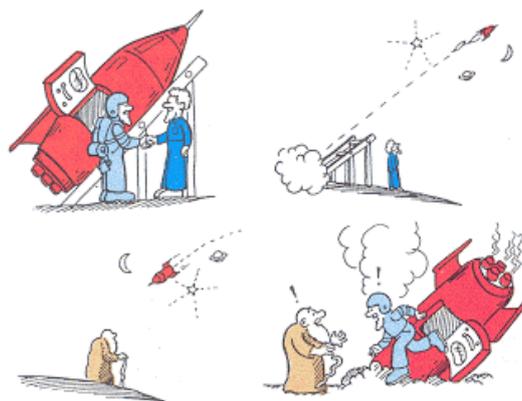


Figura 4: representação do paradoxo dos gêmeos

Fonte: <http://principioderelatividade.blogspot.com.br/2012/09/imagem-ilustracao-do-paradoxo-de-gemeos.html>

Supondo uma situação entre dois irmãos gêmeos: imaginando que um dos gêmeos viaja em uma nave espacial com velocidade próxima a da luz enquanto o outro irmão permanece no planeta Terra, de acordo com a Relatividade para o irmão que permaneceu na Terra, o tempo na nave passará mais devagar, ou seja, o tempo no referencial da nave sofre uma dilatação. Isto implicará que quando o irmão voltar de viagem estará mais jovem e perceberá que seu gêmeo envelheceu mais do que ele.

Do ponto de vista matemático, as ideias de Einstein implicaram em uma modificação das transformações de Galileu e nas equações de Newton. Para Galileu e Newton o tempo era absoluto e permitia medir eventos que ocorrem na mesma posição simultaneamente. Mas segundo a teoria de Einstein, o tempo pode sofrer dilatação, de maneira que para eventos que ocorrem em referenciais separados (viajando com velocidades próximas à da luz) somente seria possível determinar a simultaneidade se a luz tivesse velocidade infinita. Porém isto não é possível porque isto contraria o segundo postuladao.

### Contração do espaço

Imagine um super-herói viajando com uma velocidade próxima a da luz. De acordo com um referencial na Terra, haverá uma contração na dimensão do super-herói, conforme mostra a figura 5, ou do referencial do super-herói haverá uma contração na dimensão da Terra. As razões são as mesmas, a luz não se propaga com velocidade infinita e há discrepâncias nas medidas dos observadores. Desta forma, ou se pensa em dilatação do tempo ou em contração do espaço. É por isso que em Relatividade se fala no conceito espaço-tempo.

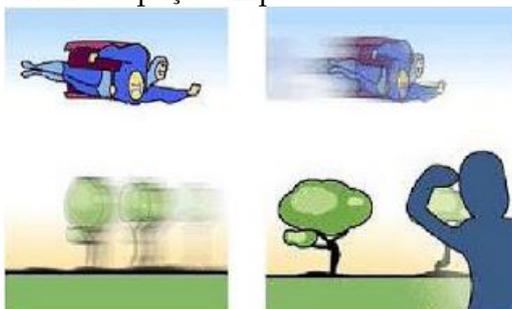


Figura 5: representação da contração do espaço de um super-herói com velocidade próxima da luz.

Fonte: <http://cienciasencensura.blogspot.com.br/2011/12/o-que-e-cosmologia.html>

## Teoria da Relatividade Geral: espaço-tempo e a queda dos corpos

Em 1915, Einstein publicou a Teoria da Relatividade Geral, em que abordou uma nova interpretação a respeito da gravidade.

De acordo com Albert Einstein, os corpos massivos deformam o espaço-tempo<sup>43</sup>. Dessa forma, planetas ou quaisquer outros objetos tentariam se mover em linha reta, mas devido à curvatura do espaço-tempo, a trajetória é curva.

*Assim, podemos interpretar a queda dos corpos no nosso planeta como se estivessem submetidos a essa curvatura do espaço-tempo.*

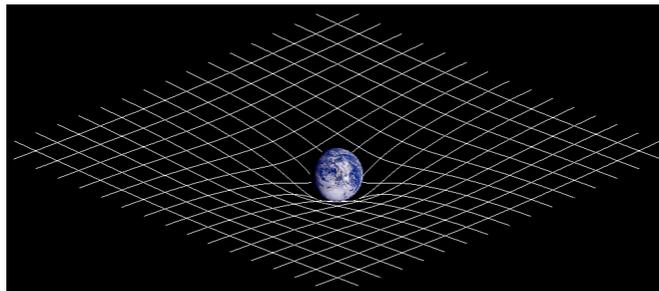


Figura 6: representação da curvatura do espaço-tempo do planeta Terra

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86682>

A partir desta interpretação, podemos entender a queda de uma maçã a partir da distorção do espaço-tempo causado pela Terra. **A Teoria da Relatividade Geral aboliu o conceito de força gravitacional.**

De acordo com a teoria da Relatividade Geral, até a luz de uma estrela deveria ser desviada pela curvatura do espaço-tempo, como mostra a figura 7. Cabe perceber que esta proposta contradiz as ideias de Newton sobre a atuação da força da gravidade apenas sobre corpos massivos.

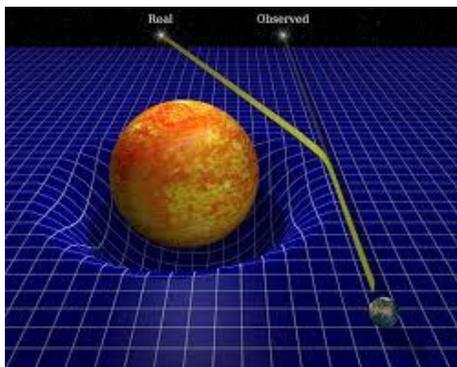


Figura 7: representação do desvio da luz devido a curvatura do espaço-tempo.

Fonte: <http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-10/lentes-gravitacionais-fernando.pdf>

Essa deformação do espaço-tempo, e conseqüentemente a teoria da relatividade geral, foi confirmada num eclipse observado no ano de 1919, em Sobral, nordeste do Brasil. Observou-se um desvio na posição de uma estrela, como ilustra a Figura 8.

<sup>43</sup> Para a teoria da relatividade, espaço e tempo são dependentes um do outro. Ao imaginarmos que o espaço é formado por três dimensões (x, y e z), podemos entender que o tempo exerce a função de uma quarta dimensão. A partir desta ideia surge o conceito de espaço-tempo.

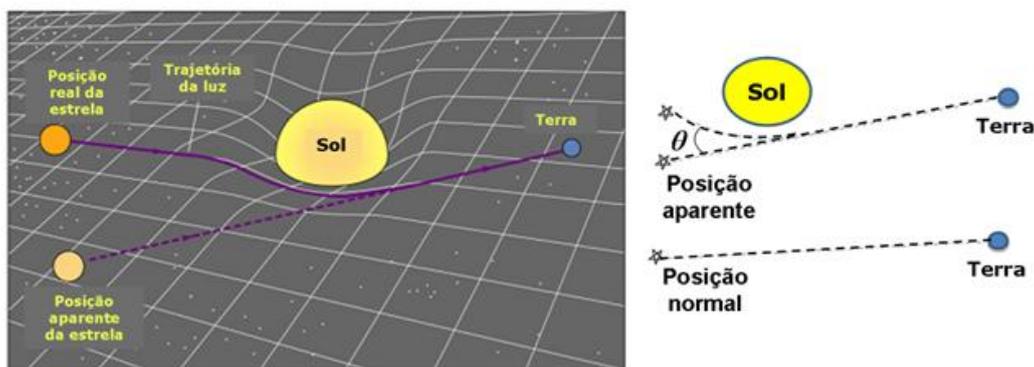


Figura 8: representação do desvio da luz da estrela observado durante o eclipse de 1919, no Brasil.

Fonte:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/20262/fig11.png?sequence=9>

2

Vimos que a ciência está em constante mudança. Hoje uma explicação pode parecer correta, mas, com o tempo e com o avanço da tecnologia e dos modelos computacionais e matemáticos, ela pode dar lugar a outra, mais adequada para explicar melhor algum aspecto da natureza.

De acordo com o pensador e filósofo da ciência Thomas Kuhn, a Ciência passa por revoluções científicas. Essas mudanças bruscas correspondem a trocas de paradigmas e podem trazer visões de mundo muito diferentes, como no caso da substituição da mecânica newtoniana pela teoria da relatividade de Einstein. Ou então, a mudança da visão de Aristóteles baseada no lugar natural para explicar a queda dos corpos pela teoria de Newton embasada em forças de atração gravitacional. Cada uma dessas mudanças de paradigma (crenças, valores, visões de mundo) representa uma Revolução Científica e para Kuhn é assim que a ciência avança.

### Referências:

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6243>

Hawking, S.. (2009). *O Universo numa casca de noz*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

Hewitt, P. G. (2011)., *Física Conceitual*, 11 ed. Porto Alegre: Bookman.

Figura 1 baseada em:

[https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Persistence\\_of\\_Memory#/media/File:The\\_Persistence\\_of\\_Memory.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Persistence_of_Memory#/media/File:The_Persistence_of_Memory.jpg)

Figuras 2 e 3 baseadas em:

<http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.

Figura 4:

<http://principioderelatividade.blogspot.com.br/2012/09/imagem-ilustracao-do-paradoxo-de-gemeos.html>

Figura 5:

<http://cienciasemcensura.blogspot.com.br/2011/12/o-que-e-cosmologia.html>

Figura 6:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86682>

Figura 7:

<http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-10/lentes-gravitacionais-fernando.pdf>

Figura 8:

<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/20262/fig11.png?sequence=92>

### Fechamento

#### **Sugestão ao professor:**

Na parte final deste encontro, sugerimos solicitar aos alunos para fazerem uma representação com auxílio de desenhos para cada teoria que ao longo da História da Ciência explicou o movimento de queda dos corpos e que foram estudadas nos encontros: aristotélica, clássica e relatividade geral. Abaixo está representada uma possível orientação da atividade. Após terminarem, o professor pode pedir que algum(ns) voluntário(s) representem as três teorias no quadro. No fim, é importante discutir de forma explícita que há pensadores, como, por exemplo o filósofo da ciência Thomas Kuhn, que buscam explicar a natureza da ciência, isto é, como o homem constrói o conhecimento científico. Segundo Kuhn o processo da ciência é marcado por trocas de paradigmas, por visões de mundo incomensuráveis e que cada troca de paradigma (visão aristotélica para clássica, clássica para relatividade) é caracterizada uma revolução científica. Para Kuhn, a ciência é feita a partir das revoluções científicas. No fim do encontro, é importante pedir para os alunos participarem do próximo encontro para poder dar um fechamento na dinâmica.

**Sugestão de atividade para reflexão após a leitura do texto *Albert Einstein e a explicação da queda dos corpos através da Teoria da Relatividade:***

Faça uma representação de cada uma das três teorias estudadas a respeito da queda dos corpos. Você pode fazer desenhos para auxiliar na sua representação.

Refleta: Qual das teorias explica melhor? Houve avanços ao longo da História da Ciência?

## Encontro 7

### Plano de Aula do Encontro 7

Tempo previsto: 100 minutos

#### Conteúdo:

- Revisão das três teorias trabalhadas para explicar o movimento de queda dos corpos
  - Interpretação da ciência de acordo com a visão de Thomas Kuhn a partir da ideia de distintos paradigmas sobre a queda dos corpos.
- Fechamento da oficina.

#### Objetivos de aprendizagem: oferecer condições para que o aluno consiga:

- Perceber que abordamos três diferentes teorias para explicar o mesmo fenômeno: a queda dos corpos
- Intuir que, de acordo com Thomas Kuhn, a ciência evolui através da dinâmica das revoluções científicas, caracterizadas pela troca de explicações teóricas, que representam distintas visões de mundo.

Reconhecer conceitos da Epistemologia de Kuhn como: paradigmas, revoluções científicas, visões de mundo incomensuráveis etc.

#### Recursos:

- Quadro, caneta
- Computador, *DataShow*

Teste impresso sobre aspectos da natureza da ciência a ser entregue a cada aluno.

#### Referências:

Teste sobre a Natureza da Ciência<sup>44</sup> adaptado de Moreira, M. A., Massoni, N. T., & Ostermann, F. (2007). História e epistemologia da física na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.

Vídeo que demonstra a curvatura do espaço-tempo a partir de um experimento em um tecido flexível com esferas. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxIgp0>.

---

<sup>44</sup> Este é o mesmo teste utilizado no encontro 1.

### Atividade inicial

#### Sugestão ao professor:

No início do encontro, sugerimos pedir aos alunos para explicarem de forma dialogada cada uma das três teorias vistas que explicam a queda dos corpos. É importante incentivar a participação de todos. Pode-se utilizar o vídeo, visto na última aula, que representa a deformação de um tecido por uma esfera como ilustração da curvatura do espaço-tempo para auxiliar a dar significado ao conceito, como propõe a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel.

### Desenvolvimento

#### Sugestão ao professor:

Sugerimos que o núcleo deste último encontro centre-se na leitura do texto que é apresentado na sequência e no debate de ideias a respeito “do fazer ciência” com base na visão epistemológica de Thomas Kuhn e na apresentação de conceitos colocados pela Filosofia da Ciência de Kuhn. Abaixo há um texto de apoio ao professor com ideias que podem ser utilizadas para a realização deste debate.

#### **Texto 8 (de apoio ao professor, mas também pode ser discutido com os alunos)**

##### *História e filosofia da ciência e a Epistemologia de Kuhn*

Ao estudar Filosofia (que estuda a natureza o conhecimento humano), somos convidados a refletir sobre conceitos que, por mais presentes que estejam no nosso cotidiano, algumas vezes não damos a devida atenção. Com relação à Filosofia da Ciência (que estuda a natureza do conhecimento científico), temos a possibilidade de pensar a respeito da atividade científica, permitindo-nos rever nossas crenças sobre a ciência e construir, eventualmente, uma visão menos ingênua e mais questionadora.

Entre os cientista há diferentes posturas a respeito da importância do tema. Mas no ensino ele é relevante, pois nos convida a sermos críticos e reflexivos. Nos anos 1960, houve uma forte onda de preconceito dos cientistas em relação à Filosofia e alguns se orgulhavam disso (Rocha, 1991, p.65, *apud* Ostermann & Cavalcanti, 2011, p.14). Por outro lado, em 1944, Albert Einstein mostrou-se favorável à inserção de tópicos de História e Filosofia da Ciência em cursos introdutórios de Física. (*ibid.*, 2011).

A Filosofia é essencial à atividade humana. Neste sentido, Ostermann e Cavalcanti (2011, p.16) afirmaram: “Na ciência, ao menos grosseiramente, se pode dizer que a Filosofia é a sua precursora e propulsora. (...), a Filosofia está inseparavelmente conectada à vida e é parte inerente da condição humana.”. A ciência é marcada por questionamentos a respeito dos fenômenos presentes no mundo que nos rodeia. No

caso de Albert Einstein, os pensamentos mentais (*Gedankenexperiment*) foram fundamentais para a formulação da Relatividade Restrita e Geral. Podemos fazer ciência filosofando e isso pode nos tornar seres críticos (ibid., 2011, p.17).

A Filosofia da Ciência preocupa-se em analisar como se faz ciência. É relevante que o educador se preocupe em discutir esses temas em sala de aula, pois “... as ‘visões epistemológicas contemporâneas’ podem ajudar a melhorar o Ensino de Física, refletido-a como uma ciência em construção, fazendo do professor um divulgador da Física, conquistado por sua beleza exuberante” (Massoni, 2010). Mas a despeito de muitos artigos produzidos, das orientações dos PCNs, PCN+, etc., uma adequada discussão desses aspectos “não chegou ainda nas salas de aula, persistindo crenças distorcidas e a ausência de reflexão sobre o papel e a natureza da ciência” sugerindo que muito há para ser feito (ibid., p. 393).

No século XVII, Francis Bacon tentou explicar qual método estava por trás do desenvolvimento científico. Para ele, as teorias surgiram a partir da observação. (Chalmers, 2000, p.20). De acordo com Bacon, a partir dos dados, poderia se obter leis gerais. Esta ideia é conhecida como *empirista-indutivista*.

Alguns filósofos da ciência criticaram fortemente a visão empirista-indutivista proposta por Francis Bacon. Para eles, a ciência é algo bem mais complexo. Thomas Kuhn<sup>45</sup> defende que a teoria antecede as observações. Para ele, a Ciência é praticada com base em um *paradigma*, que é um conjunto de realizações científicas universalmente reconhecidas por uma comunidade científica durante algum período e fornece um arcabouço conceitual para subsidiar o trabalho científico, um conjunto de técnicas experimentais e teóricas, bem como os problemas e soluções exemplares compartilhados por uma comunidade de praticantes. A Física de Aristóteles e a de Newton são exemplos de paradigmas que serviram durante algum tempo para definir os problemas, os “métodos” e a estrutura teórica à comunidade científica.

Com o avanço do conhecimento, pode ocorrer divergências entre as previsões do paradigma e os dados experimentais. Quando o paradigma apresenta dificuldades, anomalias sérias e persistentes, pode entrar em crise. Em algumas situações, a crise pode conduzir à rejeição e substituição do paradigma vigente. Esta descontinuidade na prática científica é chamada por Kuhn de *revolução científica*. Durante a crise podem surgir novas explicações ou teorias com o objetivo de salvar o paradigma ou, então, começam a aparecer investigações extraordinárias que podem conduzir a um novo conjunto de compromissos – um novo paradigma. Dependendo da crise, a comunidade científica pode optar pela troca de paradigma. Essa mudança descontínua caracteriza, como já mencionado, a *revolução científica*.

A troca de paradigmas acaba por introduzir visões de mundo muito diferentes, *incomensuráveis* com as anteriores. Um exemplo é a substituição da mecânica newtoniana pela Teoria da Relatividade de Einstein. Na teoria de Newton, o tempo e o espaço são absolutos, não existem limites para a velocidade e queda dos corpos é explicada como uma propriedade característica dos corpos massivos que gera a “força de atração gravitacional”. Na Teoria da Relatividade de Einstein, o tempo depende do referencial, nenhuma velocidade pode ultrapassar a velocidade da luz no vácuo e a gravidade passa a ser explicada como resultado da deformação do espaço-tempo por um corpo massivo, isto é, dispensa a força.

É fácil de interpretar as três explicações estudadas para a queda dos corpos de acordo com a visão *kuhniana*: houve duas revoluções científicas; uma na troca do paradigma aristotélico pela mecânica clássica newtoniana; outra na troca do clássico

---

<sup>45</sup> Thomas Kuhn (1922 – 1996): físico e filósofo da ciência estadunidense publicou em 1962 um dos livros mais importantes para a História e Filosofia da Ciência, *A estrutura das revoluções científicas*.

pelo relativístico. **Será que teremos novas revoluções científicas? Será que o paradigma relativístico poderá ser substituído por outro no futuro?**

É importante mostrar ao aluno que o conhecimento científico possui uma história, que a ciência cria modelos para tentar compreender e explicar a realidade, que a Física possui conexão com o cotidiano e que os conceitos e teorias científicas não são fixos e estáveis (Matthews, 1995). A ciência é uma construção humana, sujeita a erros. Como construção humana, podemos entender que ela é feita por homens e mulheres que criam modelos para tentar compreender a realidade, conforme escreveu Chassot (2003):

Nunca é demais insistir que os modelos que usamos não são a realidade. São aproximações facilitadoras para entendermos a realidade e que nos permitem algumas (limitadas) generalizações. Talvez a marca da incerteza, hoje tão mais presente na ciência, devesse estar mais fortemente presente em nossas aulas. (Chassot, 2003, p.98).

#### **Referências:**

Chalmers, A. F. (1993). *O que é ciência, afinal?* São Paulo: Brasiliense.

Kuhn, T. S. (2013). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 12ª ed.

Massoni, N. T. (2010). *A Epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física: a questão da mudança epistemológica*. Tese de Doutorado, IF-UFRGS.

Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atualmente denominado *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*) vol. 12, nº. 3, p. 164-214.

Moreira, M. A. & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do Século XX*. São Paulo: E.P.U.

Oostermann, F. & Cavalcanti, C. J. H. (2011). *Epistemologia: implicações para o ensino de ciências*. Porto Alegre: Evangraf; UFRGS, 2011.

Oostermann, F. (1996). A epistemologia de Kuhn. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 184-196.

Chassot, A. (2003). Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, (22), 89-100.

Wikipedia. (06 ago de 2016). Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Kuhn](https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas_Kuhn).

#### **Fechamento**

##### **Sugestão ao professor:**

Após o debate, sugerimos reaplicar o teste sobre concepções a respeito da Natureza da Ciência (respondidas no primeiro encontro) para avaliar se a atividade proporcionou

transformações na visão de ciência dos alunos, isto é, se propiciou tornar mais adequadas suas visões sobre a atividade científica.

Na sequência, recomendamos que os alunos respondam algumas questões, individualmente, para que se tenha um retorno sobre a receptividade da proposta de trabalho realizada.

No fim, pode-se perguntar ao grande grupo *como que eles pensavam que se fazia Ciência, antes de frequentar as oficinas*. Nesta parte, é importante ficar atento (a) na manifestação de cada aluno para que se perceba o quanto este conjunto de atividades contribuiu (ou não) para a construção de visões menos ingênuas sobre o fazer ciência. É importante destacar que, no decorrer do desenvolvimento científico, há uma história por trás que acompanha essa construção humana marcada por erros, crenças, contextos sociais e políticos, ou seja, que a ciência não é autônoma em relação ao seu tempo e à sociedade.

#### **Sugestão de questões finais para a avaliação da oficina**

01. A partir do que foi discutido nos encontros, podemos afirmar que existe apenas um método de se fazer Ciência? Justifique.
02. Podemos dizer que as afirmações científicas são definitivas? Justifique.
03. Você acha que é possível que, no futuro, exista uma teoria que substitua a da Relatividade, uma vez que esta não é compatível com a mecânica do mundo microscópico (Mecânica Quântica)? Justifique.
04. Como você avalia essa oficina? Ela ajudou você a compreender melhor o movimento da queda dos corpos e a ter uma nova visão do fazer Ciência?

## Referências

- Andrade, R.; Nascimento, R. & Germano, M. (2008). Influências da Física moderna na obra de Salvador Dalí. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 24(3), 400-423.
- Araujo, I. S. (2005). *Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral*. Tese de doutorado, IF-UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Chalmers, A. F. (1993). *O que é ciência, afinal?* São Paulo: Brasiliense.
- Chassot, A. (2003). Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. *Revista Brasileira de Educação*, (22), 89-100.
- Cosmos: A Spacetime Odyssey*: Tyson, N. de Grasse. (2014). Episódio 3: Quando o conhecimento domina o medo. [Filme-vídeo]. National Geographic, Fuzzy Door Production, 2014.
- Hewitt, P. G. (2011). *Física Conceitual*, 11 ed., Porto Alegre: Bookman.
- Kuhn, T. S. (2013). *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 12ª ed.
- Matthews, M. R. (1995). História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* (atualmente denominado *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*) vol. 12, nº. 3, p. 164-214.
- Massoni, N. T. (2010). *A Epistemologia contemporânea e suas contribuições em diferentes níveis de Ensino de Física: a questão da mudança epistemológica*. Tese de Doutorado, IF-UFRGS.
- Mlodinow, L. (2005). *O arco-íris de Feynman: o encontro de um jovem cientista com um dos maiores gênios de nosso tempo*. Rio de Janeiro: Editora Sextante.
- Moreira, M. A. (2014). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: E.P.U.
- Moreira, M. A. & Massoni, N. T. (2011). *Epistemologias do Século XX*. São Paulo: E.P.U.
- Moreira, M. A.; Massoni, N. T. & Ostermann, F. (2007). "História e epistemologia da física" na licenciatura em física: uma disciplina que busca mudar concepções dos alunos sobre a natureza da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 29(1), 127-134.
- Moreira, M. A. & Veit, E. (2010). *Ensino Superior: bases teóricas e metodológicas*. São Paulo: E.P.U.
- Ostermann, F. (1996). A epistemologia de Kuhn. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(3), 184-196.
- Ostermann, F. & Cavalcanti, C. J. H. (2011). *Epistemologia: implicações para o ensino de ciências*. Porto Alegre: Evangraf, UFRGS.
- Peduzzi, L. (1996). Física Aristotélica: por que não considerá-la no ensino da mecânica? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 13(1), 48-63.
- Peduzzi, L.; Tenfen, D., & Cordeiro, M. (2012). Aspectos da natureza da ciência em animações potencialmente significativas sobre a história da Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 29, 758-786. Disponível em <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2012v29nesp2p758/23064>

- Rocha, J. F. (Org.). (2011). *Origens e evolução das ideias da Física*. Salvador: EDUFBA,
- Silveira, F. (2002). A teoria do conhecimento de Kant: o idealismo transcendental. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19, 28-51.
- Silveira, F.; Moreira, M. A. e Axt, R. (1992). Estrutura interna de testes de conhecimento em Física: um exemplo em Mecânica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 187-194.
- Silveira, F. & Peduzzi, L. (2008). Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(1), 27-55.
- Staguhn, G. (2011). *Breve storia dell'atomo*. Milão: Salani Editore.

#### Sites da internet consultados

- Ciencia sem censura.blogspot*. (outubro de 2014). Fonte:  
<http://cienciasemcensura.blogspot.com.br/2011/12/o-que-e-cosmologia.html>
- Debom, C. R. (jul de 2016). IF - UFRGS. Fonte:  
<http://www.if.ufrgs.br/cref/camiladebom/>
- DW. (out de 2014). Fonte: <http://www.dw.com/pt/o-mundo-do-pequeno-einstein/a-16237013>.
- FÍSICA - UFMG. (outubro de 2014). Fonte:  
<http://www.fisica.ufmg.br/~dsoares/ensino/1-10/lentes-gravitacionais-fernando.pdf>
- IF - UFRGS. (set de 2014). Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/cosmo3.html>
- IF - UFRGS. (setembro de 2014). Fonte:  
<http://www.if.ufrgs.br/oei/solar/solar04/solar04.htm>
- LANTEC - Laboratório de novas tecnologias. (outubro de 2015). Fonte:  
[http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia\\_v13.html](http://www.lantec.ufsc.br/fisica/hipermidia_v13.html)
- Martins, R. A. (julho de 2016). GHTC - USP. Fonte:  
<http://www.ghc.usp.br/server/pdf/RAM-livro-Cibelle-Newton.pdf>
- Objetos educacionais - MEC*. (maio de 2016). Fonte:  
<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/20262/fig11.png?sequence=92>
- Principio da relatividade.blogspot*. (julho de 2016). Fonte:  
<http://principioderelatividade.blogspot.com.br/2012/09/imagem-ilustracao-do-paradoxo-de-gemeos.html>
- Silveira, F. L. (setembro de 2014). IF - UFRGS. Fonte:  
[http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Determinando\\_g.pdf](http://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/Determinando_g.pdf)
- Silveira, F. L. (julho de 2016). CREF-IF-UFRGS. Fonte:  
<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=250>

Silveira, F. L. (julho de 2016). *IF - UFRGS*. Fonte:  
<https://www.if.ufrgs.br/~lang/Textos/GRAVIDADE.pdf>

Vargas, G. S. (julho de 2016). *IF - UFRGS*. Fonte:  
[http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Ghisiane/queda\\_dos\\_corpos.htm](http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20041/Ghisiane/queda_dos_corpos.htm)

*Wikipedia*. (setembro de 2014). Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Giordano\\_Bruno](https://pt.wikipedia.org/wiki/Giordano_Bruno)

*Wikipedia*. (setembro de 2014). Fonte:  
[https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau\\_Cop%C3%A9rnico](https://pt.wikipedia.org/wiki/Nicolau_Cop%C3%A9rnico)

*Wikipedia*. (setembro de 2014). Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu\\_Galilei](https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei)

*Wikipedia*. (outubro de 2014). Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)

*Wikipedia*. (outubro de 2014). Fonte:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/The\\_Persistence\\_of\\_Memory#/media/File:The\\_Persistence\\_of\\_Memory.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/The_Persistence_of_Memory#/media/File:The_Persistence_of_Memory.jpg)

*Wikipedia*. (outubro de 2014). Fonte:  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=86682>

*Wikipedia*. (setembro de 2015). Fonte:  
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Arist%C3%B3teles>

*Wikipedia*. (06 de agosto de 2016). Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Kuhn](https://pt.wikipedia.org/wiki/Thomas_Kuhn)

*YouTube*. (outubro de 2015). Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=2KxBcJxIgp0>

*YouTube*. (agosto de 2016). Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=yA4Xba6xrJg>