

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

JOSÉ DANIEL SOUZA

**IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS
EPISTEMOLÓGICOS NO LIVRO
“FÍSICO-QUÍMICA I” DE LUIZ PILLA**

Porto Alegre

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE QUÍMICA

JOSÉ DANIEL SOUZA

**IDENTIFICAÇÃO DE OBSTÁCULOS
EPISTEMOLÓGICOS NO LIVRO
“FÍSICO-QUÍMICA I” DE LUIZ PILLA**

Trabalho de Conclusão de Curso elaborado junto à atividade de ensino “Trabalho de Conclusão de Curso da Licenciatura em Química” do Curso de Química, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Química
Orientador: Prof. Dr. Paulo Augusto Netz

Porto Alegre

2022

CIP – Catalogação na Publicação

Souza, José Daniel

Identificação de obstáculos epistemológicos no livro “Físico-Química I” de Luiz Pilla / José Daniel Souza. – Porto Alegre, 2022.
30 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Augusto Netz

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Licenciatura em Química, Porto Alegre, BR-RS, 2022.

1. Obstáculos epistemológicos. 2. Ensino de Termodinâmica. 3. Livros Didáticos. I. Netz, Paulo Augusto, orient. II. Título.

Agradecimentos

Agradeço a UFRGS por mais esta oportunidade de realizar um trabalho acadêmico, ao meu orientador, prof. Netz, pela acolhida e disposição, a todos os membros do Grupo de Pesquisa e Ensino de Química (GPEQ) da UFRGS, ao amigo João Luís Tavares pelas instruções no \LaTeX e aos meus familiares por todo apoio e compreensão.

Resumo

Os livros didáticos são instrumentos utilizados tanto na Educação Básica, quanto no Ensino Superior e a utilização destes no meio universitário é facilmente reconhecível pelo número de empréstimos deste material didático nas Bibliotecas Universitárias. Portanto, estes devem ser instrumentos que busquem promover a aprendizagem de conceitos científicos de modo adequado. Necessário assim se faz que existam pesquisas frequentes a fim de avaliar os Livros Didáticos. Neste trabalho, de natureza qualitativa, utilizou-se o conceito de obstáculo epistemológico, oriundo da filosofia de Gaston Bachelard, para analisar se o livro “Físico-Química I: termodinâmica química e equilíbrio químico” de Luiz Pilla, nos capítulos em que aborda a Termodinâmica, contém ou não obstáculos epistemológicos que acabam por trazer entraves ao aprendizado de Termodinâmica Clássica. A metodologia utilizada foi a Análise de Conteúdo e a Análise Documental, em que as categorias *a priori* foram os obstáculos epistemológicos, enfocando-se em ilustrações, exercícios e na parte textual do livro, através de diversas leituras e releituras. Encontrou-se quatro obstáculos epistemológicos principais: animista, verbal, substancialista e realista que ocorreram no texto e em ilustrações e principalmente associados aos conceitos de calor, trabalho, energia e entropia. Particularmente para a entropia, há evidências de que a utilização do termo “desordem” como explicação se constitui em uma palavra-obstáculo. Estes obstáculos que aparecem não são uma exclusividade do livro de Pilla, mas aparecem em outras publicações, conforme aponta a literatura nacional e internacional.

Palavras-chaves: Obstáculos epistemológicos. Ensino de Termodinâmica. Livros Didáticos.

Abstract

Textbooks are instruments used both in Basic Education and in Higher Education and their use in the university environment is easily recognizable by the loan number of this teaching material in University Libraries. Therefore, these must be instruments that seek to promote the learning of scientific concepts in an adequate way. It is therefore necessary that there are frequent surveys in order to evaluate the Textbooks. In this qualitative work, we used the concept of epistemological obstacle, derived from Gaston Bachelard's philosophy, to analyze the book "Physical-Chemistry I: chemical thermodynamics and chemical equilibrium" by Luiz Pilla, in the chapters in which it addresses the Thermodynamics, contains epistemological obstacles that end up bringing obstacles to the learning of Classical Thermodynamics. The methodology used was Content Analysis and Document Analysis, as *a priori* categories were the epistemological obstacles, focusing on illustrations, exercises and the textual part of the book, through several readings and re-readings. Four main epistemological obstacles were found: animist, verbal, substantialist and realist that occurred in the text and in illustrations and mainly associated with the concepts of heat, work, energy and entropy. Particularly for entropy, there is evidence that the use of the term "disorder" as an explanation constitutes an obstacle word. These obstacles that appear are not exclusive to Pilla's book, but appear in other publications, as pointed out in national and international literature.

Key-words: Epistemological obstacles. Teaching Thermodynamics. Didactic books.

Lista de abreviaturas e siglas

LDs	Livros Didáticos
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Lista de ilustrações

Figura 1 – Esquema de máquina térmica utilizado no livro	19
Figura 2 – Esquema de máquina frigorífica utilizado no livro	20
Figura 3 – Representação de um sistema heterogêneo	25
Figura 4 – Conversão de trabalho em energia potencial e cinética	26

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVO	3
3	REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1	A epistemologia de Gaston Bachelard	4
3.2	Ensino de Termodinâmica	8
3.3	Metodologia	9
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1	Características gerais	11
4.2	Obstáculo animista	12
4.3	Obstáculo verbal	13
4.4	Obstáculo substancialista	15
4.5	Obstáculo realista	20
4.6	Outros obstáculos	24
5	CONCLUSÃO	27
	REFERÊNCIAS	28

1 Introdução

Os Livros Didáticos (LDs) são uma ferramenta presente nos diversos níveis de ensino, muito utilizado quer por estudantes, quer por professores. No Brasil, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) foi criado para proporcionar este recurso didático a todos os alunos da Educação Básica, tendo entregue um total de 172.571.931 exemplares somente no ano de 2020, o que dá um valor de aquisição total de R\$ 1.390.201.035,55, conforme informação disponível no próprio Ministério¹.

Os LDs têm sido motivo de atenção por parte dos pesquisadores, como aponta Schnorr e Pietrocola (2021) em um estudo que englobou artigos de Educação em Ciências de 1994 até 2018, no qual se destacam cinco tipos de críticas: fragmentação do conhecimento, memorização de conteúdos científicos, abordagem empirista/indutivista, descontextualização e subutilização pelos professores.

Observa-se que pesquisas, nacionais e internacionais, relacionadas aos LDs, como as de Chen et al. (2019), Becker e Nilsson (2021), Rusek e Vojří (2019), Meloni e Lopes (2020), apontam ainda diversas lacunas, englobando aspectos linguísticos, visuais e epistemológicos, e também que a maioria destes estão focados nos LDs voltados para a Educação Básica. Neste sentido, tem-se dado uma atenção menor aos LDs voltados para o Ensino Superior.

Ao se tratar dos LDs da Educação Básica, há investigações como as de Pazinato et al. (2016), em que LDs pertencentes ao PNLD de 2015 foram analisados nas suas representações visuais para o tópico das ligações químicas. Os autores concluíram que embora as representações visuais sejam amplamente empregadas, estas apresentam um baixo grau de iconicidade, requerendo elevado grau de abstração, além de possuírem recursos visuais desconectados do texto ou que se limitavam a fotografias tentando fazer alguma relação com o cotidiano. Destacou-se também os poucos recursos voltados para mais de um nível de representação da matéria (em grande parte, restrição apenas ao macroscópico) e maior quantidade de imagens para a ligação covalente.

Quando se trata dos LDs de Ensino Superior, há estudos como o de Rozentalski e Porto (2018) para os diagramas de energia presentes nos livros universitários de Química Geral, em que apontam que os livros analisados trazem uma base mínima sobre como interpretar os diagramas, e demais aspectos (limitações de modelo representacional, relação entre representação e teoria, relação entre objeto e representação) são poucos discutidos ou mesmo negligenciados, o que acaba interferindo no processo de aprendizagem dos estudantes. Trabalhos como este mostram a importância de novos estudos a cerca da

¹ Programas do Livro: dados estatísticos. Disponível em: <https://www.fnde.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/pnld/dados-estatisticos>. Acesso: 21 abr 2022

produção literária didática voltada para universitários.

E ao se evocar as dificuldades de aprendizagem dos estudantes universitários, uma das preocupações envolve o ensino de Termodinâmica, devido a inúmeras dificuldades apresentadas (tais como, confundir conceitos, explicações falhas/inadequadas, uso do senso comum e limitações em explicar relações matemáticas), dificuldades estas existentes quer entre quem frequenta as disciplinas de Físico-Química, quer entre aqueles que já frequentaram as disciplinas, como foi estudado por Finkenstaedt-Quinn et al. (2020).

Portanto, uma pergunta interessante para o Ensino de Química em nível superior que envolve a temática LDs é acerca da apresentação de conceitos de termodinâmica em livros-textos de Físico-Química. E ao tratar-se de aspectos conceituais, torna-se bastante apropriado a utilização do referencial teórico da epistemologia de Gaston Bachelard, particularmente através do conceito de obstáculo epistemológico, porque envolve questões de linguagem, avaliação de metáforas e outros fatores que acabam por se constituir em lentidões e estagnações na aprendizagem (LOGUERCIO; SAMRSLA; PINO, 2001; PAZINATO et al., 2020).

Neste Trabalho de Conclusão, foi escolhido um livro didático de Físico-Química, presente no Plano de Ensino da disciplina de Físico-Química I-B da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), escolhendo-se o referencial teórico bachelardiano para identificar se a apresentação dos conceitos e seu consequente desenvolvimento ao longo dos capítulos, contém obstáculos epistemológicos, ou seja, fatores que podem dificultar a aprendizagem da Termodinâmica Clássica.

2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo analisar o livro “Físico-Química I: termodinâmica química e equilíbrio químico” de Luiz Pilla, através da epistemologia de Gaston Bachelard, utilizando o conceito de obstáculo epistemológico, em que se buscará identificar a existência de obstáculos no livro, qual tipo de obstáculo aparece e as ocorrências ao longo do texto.

3 Referencial teórico

3.1 A epistemologia de Gaston Bachelard

Entre os filósofos da ciência, destaca-se o trabalho de Gaston Bachelard, principalmente pelo desenvolvimento de uma epistemologia inovadora que buscou a separação entre conhecimento científico e comum, e também o entendimento de como a ciência progredia. O próprio autor tinha preocupações pedagógicas, devido a sua larga experiência como docente de Física e Química. Ao dissertar sobre a construção do saber científico, pontua a necessidade da pergunta.

[...] na vida científica os problemas não se formulam de modo espontâneo. É justamente esse sentido do problema que caracteriza o verdadeiro espírito científico. Para o espírito científico, todo conhecimento é resposta a uma pergunta. Se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico. Nada é evidente. Nada é gratuito. Tudo é construído. (BACHELARD, 1996, p. 18)

A forma desta construção, no entanto, não é contínua, como se poderia supor inicialmente. Aqui, há a elaboração de um conceito bastante importante para a filosofia de Gaston Bachelard, o de ruptura. Pode-se colocar que esta ruptura ocorre, primeiramente, com o conhecimento comum: “As ciências físicas e químicas, no seu desenvolvimento contemporâneo, podem ser caracterizadas epistemologicamente como domínios do pensamento que rompem nitidamente com o conhecimento vulgar.” (BACHELARD, 1996, p. 18)

Bachelard exemplifica este conceito através do caráter indireto de obtenção de resultados: no século XIX, a balança era suficiente para determinar as massas (pesa-se o cloreto de sódio da mesma forma que se pesa sal de cozinha), mas quando se necessita determinar o peso de isótopos, torna-se necessário uma teoria bastante elaborada.

O conceito de ruptura não fica restrito a um rompimento com o conhecimento comum. Para que a ciência possa evoluir é necessário também romper com conhecimentos científicos estabelecidos anteriormente. A elaboração da lâmpada elétrica demonstra este conceito bachelardiano.

[...] a técnica que constituiu a lâmpada elétrica de fio incandescente rompe verdadeiramente com todas as técnicas de iluminação usadas por toda a humanidade até ao séc. XIX. Em todas as antigas técnicas, para iluminar é necessário queimar uma matéria. Na lâmpada de Edison, a arte técnica é impedir que uma matéria queime. A antiga técnica é uma técnica de combustão. A nova técnica é uma técnica de não-combustão. (BACHELARD, 2010, p. 53)

O conceito de ruptura epistemológica está inserido tanto na forma como a ciência evolui como no aprendizado do conhecimento científico. O aluno também deve passar por processos que levem o seu pensamento a sofrer uma ruptura com o conhecimento anteriormente adquirido. É assim que Bachelard coloca que

Ao retomar um passado cheio de erros, encontra-se a verdade num autêntico arrependimento intelectual. No fundo, o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização.(BACHELARD, 1996, p. 17)

Isto posto, é evidente que tais rupturas não se dão facilmente, havendo impedimentos a sua realização. Nota-se, portanto, que também há um outro conceito importante na filosofia de Gaston Bachelard: a de obstáculo epistemológico. O obstáculo epistemológico não engloba aspectos externos, ele vai ocorrer no cerne do ato de conhecer, constituindo-se de lentidões e conflitos no aprendizado de um conceito novo ou de uma nova abordagem para um conceito conhecido anteriormente. Bachelard explica que

Um obstáculo epistemológico se incrusta no conhecimento não questionado. Hábitos intelectuais que foram úteis e sadios podem, com o tempo, entravar a pesquisa. [...] A idéia ganha assim uma clareza intrínseca abusiva. Com o uso, as idéias se valorizam indevidamente. Um valor em si opõe-se à circulação dos valores. É fator de inércia para o espírito. Às vezes, uma idéia dominante polariza todo o espírito. [...] A noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação.(BACHELARD, 1996, p. 19)

O autor estabeleceu quais seriam os obstáculos epistemológicos em sua obra e que podem ser resumidos da seguinte forma (BACHELARD, 1996; ANDRADE; ZYLBERSZ-TAJN; FERRARI, 2000):

- a. Conhecimento geral: conhecimento vago que imobiliza o pensamento. Fornece a mesma resposta para todas as questões, desqualifica o detalhe, respostas vagas e gerais a qualquer questionamento. Satisfaz imediatamente a curiosidade e multiplica as ocasiões dela, substituindo conhecimento por admiração e ideias por imagens.
- b. Experiência primeira: experiência que está antes e acima da crítica, não conseguindo abandonar o pitoresco da observação. Marca de um empirismo evidente.
- c. Obstáculo verbal: falsa explicação através de uma palavra que se usa para explicar qualquer fenômeno. É o uso de palavras aprendidas em contextos não científicos e com conotações divergentes.
- d. Conhecimento pragmático: explicação baseada no caráter utilitário de um fenômeno, resultando em generalizações exageradas. Todas as dificuldades se resolvem por

uma visão geral de mundo, o que leva a não enxergar contradições. É a extensão generalizada de um conhecimento dito útil, usado sem critério.

- e. Obstáculo substancialista: atribuição à substância de qualidades diversas, seja superficial, profunda ou até mesmo oculta. É a ideia de ser preciso que a substância contenha algo, que a sua qualidade profunda esteja contida (protegida, em invólucro, no cerne). Os adjetivos dados a uma substância são considerados como explicações.
- f. Obstáculo realista: obstáculo do sentimento de ter, ou seja, a substância de um objeto é aceita como um bem pessoal, ao qual se pode agregar valor (avareza) e que impede a abstração adequada.
- g. Obstáculo animista: animação e atribuição de vida e propriedades antropomórficas a objetos inanimados. Inclui uma valorização do fenômeno da vida em relação a outros fenômenos, bem como de uma universalização.
- h. Libido: tentativa de sexualizar objetos inanimados; por exemplo, numa reação química, quando se fala em corpos ativos e passivos.
- i. Conhecimento quantitativo: presença de um matematismo demasiadamente vago e/ou preciso. Uso de números sem significado ou com objetivo de criar uma observação curiosa.

O conceito de obstáculo epistemológico tem um papel bastante importante na educação. Como o aluno já traz consigo conhecimentos adquiridos em sua vida, o professor deve estar ciente de que, para o aprendizado ocorrer, faz-se necessário a superação dos obstáculos que impedem o seu avanço no conhecimento científico. Bachelard chama a atenção que esta realização não é algo trivial

Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância e da irreflexão. [...] Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto por ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana. [...] Logo, toda cultura científica deve começar [...] por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir. (BACHELARD, 1996, p. 23)

A utilização do referencial bachelardiano já se encontra presente na literatura, majoritariamente voltado para a Educação Básica. Pode-se destacar trabalhos como o

de Lôbo (2008), no qual temos uma leitura bachelardiana através do conceito de perfil epistemológico, principalmente, para estudar a produção da ciência e a formação do professor de química. Aponta, assim, que a existência de várias representações da realidade é fundamental não só para o ensino de Química, mas também para a formação de professores. A autora afirma que Bachelard não chegou a utilizar este termo (formação de professores), mas que é possível utilizar suas obras fazendo esta leitura, pois sua preocupação com a educação científica é constante, tendo mesmo defendido o professor como um eterno estudante, o que está conectado a ideia atual de formação continuada de professores. Com relação à formação de professores, há o trabalho interessante de Finzi (2008) trazendo a discussão de obstáculos epistemológicos com professores de Química da rede pública de São Paulo. Através da metodologia de grupo focal e gravação dos diálogos, foi facilmente constatado que, embora não tão presentes em livros didáticos, o obstáculo animista surgiu com frequência na fala dos professores. A autora relatou que os participantes ficaram muito supresos com as colocações de Bachelard, pois acreditam que a forma de ensino que tem feito visava a facilitar o entendimento e não dificultar. O obstáculo verbal também surgiu. Houve falas, inclusive, em que os professores declararam que agem dessa maneira para simplificar o ensino, pois os alunos não teriam como abstrair (falas ditas, principalmente, com relação à Educação de Jovens e Adultos).

A utilização da perspectiva bachelardiana na análise de LDs já foi investigada anteriormente por Loguercio, Samrsl e Pino (2001), que realizou a análise de LDs junto a professores de química da Educação Básica, em que estes deviam identificar a existência ou não de obstáculos animistas, substancialistas, realistas e verbais em alguns LDs selecionados, tendo-se observado a dificuldade destes professores em identificarem eficientemente obstáculos, tendo os autores concluído que os professores podem não ter entendido a lógica bachelardiana, pelo pouco contato com o autor, bem como pelo entendimento de que os obstáculos seriam elementos facilitadores para o aprendizado, além da possibilidade de estes professores terem se apropriados do conhecimento de química através de obstáculos, o que os impede de questionarem.

A epistemologia de Gaston Bachelard também foi utilizada durante a aplicação de sequência didática como apresentado por Pazinato et al. (2020), para o tópico de ligações químicas, em que se estudou o perfil epistemológico dos estudantes de primeiro ano de Ensino Médio antes, durante e após a aplicação da sequência didática. Percebeu-se que, inicialmente, os estudantes tinham perfis predominantemente realistas (em que existem muitos obstáculos epistemológicos) e ao decorrer foram modificando suas concepções e aderindo a um perfil predominantemente racionalista para os três modelos de ligação química abordados (em que há utilização de teorias e modelos para a representação microscópica e dados termodinâmicos). Observou-se que não há uma mudança definitiva para o racionalismo, atitudes e conceitos empiristas e realistas permanecem por fazerem parte da experiência de cada estudante, embora não com toda a incidência inicial.

3.2 Ensino de Termodinâmica

A Termodinâmica está amplamente presente nos cursos universitários de ciências e engenharias no Brasil e ao redor do mundo. De importância indiscutível, o seu ensino exige por parte do estudante uma determinada destreza para com modelos e representações matemáticas de conceitos. Entretanto, mesmo com outras disciplinas introdutórias à Físico-Química, os estudantes ainda enfrentam diversas dificuldades e confusões conceituais, quer durante a realização da disciplina, quer após ela, como mostra estudo realizado por Finkenstaedt-Quinn et al. (2020). E ao se anunciar dificuldades e confusões, não se restringe a meros deslizos ou ao engano momentâneo, mas sim, confusões sobre a própria definição conceitual, enunciados de leis e sobre explicações de como um sistema simples funciona. Assim, é apontado que estudantes confundem os conceitos de entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, negligenciam o fator trabalho no enunciado das leis, não conseguem explicar a entropia, entre outras dificuldades apresentadas por Finkenstaedt-Quinn et al. (2020). Assim, há investigações para o ensino de Físico-Química que buscam trazer propostas que contornem as dificuldades encontradas. Uma proposta para a entropia é contemplada no trabalho de Haglund, Andersson e Elmgren (2016) em que os autores investigaram o aspecto da linguagem, a fim de saber se estudantes de química tratam a entropia como entidade, o quão científicos são os conceitos e explicações sobre a entropia e como os estudantes abordam questões qualitativas sobre entropia. A metodologia utilizada foi a solução de problemas em pares, sendo que cada problema estava relacionado a uma das perguntas que os pesquisadores queriam responder (foi feita uma gravação dos pares de alunos respondendo aos problemas com a mediação de uma terceira pessoa e os vídeos foram analisados posteriormente). Foram selecionados seis estudantes do curso de Engenharia Química na Universidade de Upsala (Suécia). As conclusões dos pesquisadores foram de que, primeiramente, os estudantes têm uma concepção substancialista da entropia. Os estudantes souberam mostrar quão próximos alguns conceitos estão da entropia, quanto quais são úteis para explicar a entropia, mas não souberam correlacionar corretamente o quão científicos tais noções eram. Para a resolução de problemas qualitativos, os estudantes conseguiram propor soluções por aproximações microscópicas, mas não para as macroscópicas e houve muita relutância em utilizar a Segunda Lei da Termodinâmica.

Outra proposta que envolve os aspectos conceituais da Termodinâmica Clássica é realizada por Zanotello (2011) com a leitura de textos originais dos pesquisadores que formularam os princípios da Termodinâmica. Esta proposta foi aplicada na Universidade Federal do ABC (Santo André-SP). As perguntas a serem respondidas com esta pesquisa abordavam quais sentidos os alunos dariam aos textos originais selecionados, se tais textos possibilitariam uma melhor compreensão dos conceitos em relação aos livros didáticos e se seria uma estratégia adequada para abordar temas relacionados à história da ciência nas aulas. Os textos selecionados foram: “A Expansão dos Gases pelo Calor” de Gay-Lussac, “O

Poder Motriz do Calor” de Carnot, “Entropia e Probabilidade” de Boltzmann, “A Escala Fahrenheit” de Fahrenheit, “Calor Latente” de Black e “A Distribuição das Velocidades Moleculares” de Maxwell. Cada aluno recebeu um conjunto de três destes textos e, após a leitura dos mesmos, deviam responder a algumas perguntas que envolviam o que havia sido compreendido sobre o texto, se era uma leitura fácil ou difícil, dúvidas que surgiram, se havia interesse em ler outros textos originais. Os resultados obtidos mostraram que a maioria dos estudantes, primeiramente, aprovou a atividade e até gostariam de ter outras semelhantes, as respostas das perguntas mostraram um universo bem diversificado: houve os que se detiveram somente nos dizeres do texto, mas outros manifestaram opinião sobre, sabendo realizar julgamento de valor, crítica fundamentada, além de exporem suas dúvidas, interpretações e sugestões. A compreensão dos conceitos da Termodinâmica pode ser feita sob uma perspectiva diferente. Uma dificuldade apresentada por certos alunos estava na leitura de dois textos em específico (Boltzmann e Maxwell), por serem considerados muito abstratos. Também houve alguns equívocos com o contato com os originais, onde alguns alunos concluíram que as dificuldades apresentadas por alguns cientistas não foram superadas, quando na verdade já foram (por exemplo, conhecimento sobre a expansão dos gases).

Com relação aos livros didáticos, pode-se destacar os resultados obtidos por Alomá e Malaver (2007) que realizou análise de diferentes livros-textos utilizados na Venezuela, focando nos conceitos de calor, trabalho, energia e teorema de Carnot. Nos resultados, destaca-se a quase universalidade, nos textos estudados, da negligência da definição de energia, restringindo-se a colocar que ela se conserva, transmite ou transforma, além de expressarem os termos da energia cinética, potencial, interna, rotacional e outras; isso tudo levando a contribuir para ideias substancialistas da noção de energia. Para o conceito de calor, foram encontradas muitas expressões de que o calor é uma forma de energia e em outras ocasiões, os termos são usados como se fossem sinônimos, o mesmo acontecendo com o conceito de trabalho. O teorema de Carnot é apresentado corretamente, entretanto, ao se comentar outros ciclos há afirmações confusas, além de faltar a dedução formal do teorema em alguns textos. A implicação disto está em levar os estudantes a generalizações inadequadas, como também observado por Battino, Williamson e Wood (2001) ao estudar a importância da idealidade no ensino de Físico-Química. Deste modo, propostas de ensino em Termodinâmica que visem a superação das dificuldades enfrentadas pelos estudantes se revelam atuais e de grande relevância no Ensino de Ciências.

3.3 Metodologia

A pesquisa descrita neste projeto tem natureza qualitativa. A pesquisa qualitativa, de acordo com Suassuna (2008), é marcada pela amplitude e pertinência de explicações e teorias, enfoca uma realidade que não pode ser quantificada e em que a teoria tanto deve

sugerir perguntas quanto possibilidades de interpretação.

Ao se abordar a pesquisa qualitativa em educação, destaca-se o trabalho de Lüdke e André (1986) que escreveram obra de referência. Na abordagem qualitativa, o processo ocorre

[...] paralelamente à observação, na medida em que o pesquisador seleciona aspectos que devem ser explorados e decide quais os que devem ser abandonados. Assim, as categorias analíticas podem derivar diretamente da teoria que respalda a pesquisa ou surgir do próprio conteúdo dos dados sob análise. (SUASSUNA, 2008)

A metodologia qualitativa, no Ensino de Ciências contém um amplo conjunto de métodos, como a entrevista, o grupo focal, o estudo de caso, entre outros, empregados conforme os objetivos da proposta investigativa, além de diferentes metodologias de análise dos dados (Análise de Conteúdo, Análise de Discurso e Análise Textual Discursiva). Nesta pesquisa, será utilizado a metodologia de análise documental e de Análise de conteúdo.

De acordo com Lüdke e André (1986, p. 41-43), a Análise de Conteúdo aponta que se deve escolher a unidade de análise: de registro ou de contexto. A primeira consiste em selecionar trechos específicos e a segunda explora o contexto de uma determinada unidade de interesse. Definindo-se a forma de registro é que as categorias serão elaboradas, após muitas leituras e releituras, amparadas em um arcabouço teórico escolhido. As categorias encontradas/formuladas necessitam serem revisadas diversas vezes, bem como todo o material analisado novamente até não existirem novas categorias, novas inclusões e revisões do material.

A análise documental efetuada foi com categorias definidas *a priori*, que são os obstáculos epistemológicos apresentados por Bachelard. A identificação se dá pela leitura do conteúdo textual e ilustrativo dos livros, observando-se a ocorrência de metáforas, imagens grosseiras (pitorescas, naturais, fáceis, etc.), ideias valorizadas, bem como toda e qualquer expressão textual e/ou pictográfica que possa ser enquadrada nos obstáculos bachelardianos. Portanto, este Trabalho de Conclusão irá se apoiar na leitura de Bachelard (1996) e de artigos que estudam os obstáculos epistemológicos, como em Loguercio, Samrsla e Pino (2001), Trindade, Nagashima e Andrade (2019).

Do livro “Físico-Química I: termodinâmica química e equilíbrio químico” de Luiz Pilla foram selecionados apenas os capítulos referentes à Termodinâmica Clássica, englobando texto, ilustrações e exercícios, em que se buscou a ocorrência de metáforas, comparações, analogias adequadas ou inadequadas, aspectos da linguagem que se constituem em dificultadores do conhecimento e conceitos colocados de forma equivocada.

4 Resultados e Discussão

Foram analisados os capítulos 1 a 9 do livro Físico-Química I, de Luiz Pilla, desde a parte textual, os recursos visuais até os exercícios. Foram identificados os seguintes obstáculos epistemológicos: animista, libido, verbal, substancialista e realista. Não foram identificados obstáculos nos exercícios propostos ao final de cada capítulo, nem nos exemplos de resolução que surgem ao longo do texto.

4.1 Características gerais

O livro de Luiz Pilla possui uma estrutura de capítulos que iniciam nos conceitos de sistema, vizinhança, lei zero, grandezas de misturas, gases ideais e avançando na apresentação das leis da Termodinâmica e ao equilíbrio químico. Interessantemente, na Introdução, o autor traz uma organização da Físico-Química, além de relacionar o "Método Termodinâmico" e o "Método Atomístico" com o pensamento dedutivo e indutivo, respectivamente, o que caracteriza uma contribuição a uma abordagem filosófica/epistemológica.

Em seus capítulos, há um grande enfoque em dedução de equações e suas implicações trazendo, por vezes, algumas contribuições históricas. Os recursos visuais são desenhos esquemáticos, apenas em preto-e-branco, não possuindo fotografias ou outras imagens ilustrativas. A qualidade do papel é comum e o livro possui uma encadernação bastante precária, em que a lombada se descola muito facilmente com pouco tempo de uso.

A primeira edição do livro é de 1979, organizada pelo próprio autor. Após um período esgotada, foi elaborada uma segunda edição, revista e atualizada por José Schiffino (o autor já havia falecido) em 2005. O autor escreveu na primeira edição o porquê de trazer a obra à lume, mesmo existindo já no Brasil obras traduzidas:

No caso concreto, dispõem os nossos estudantes de dois textos importantes de Físico-Química, em língua nacional[...]. Todavia, este fato não desmerece nossa tentativa de oferecer uma opção que nos parece mais adequada ao nosso meio e às nossas peculiares exigências. Professores e alunos estão bem conscientes das dificuldades inerentes ao estudo da Físico-Química.

[...] Como se vê, não aderimos ao método seguido por alguns autores de integrar, num mesmo texto, os dois aspectos da realidade físico-química porque entendemos que esta prática agrava as dificuldades de aprendizagem.

[...] Nossa maior preocupação foi com conceitos e com os princípios, procurando estruturar o pensamento físico-químico com a máxima clareza e precisão. (PILLA, 2006, p. 7)

Nota-se, deste modo, a preocupação do autor, já na sua época, em oferecer um livro-texto que estivesse mais adequado à realidade brasileira. Destaca-se a preocupação com a

apresentação e desenvolvimento dos conceitos, objeto de estudo deste presente Trabalho, e também a decisão de não trazer a abordagem da Mecânica Quântica. Esta informação será um dado relevante ao decorrer da investigação dos obstáculos epistemológicos, pois, embora nenhuma equação da Mecânica Quântica seja realmente desenvolvida, a influência desta sobre as explicações e teorias ficará bastante evidente.

4.2 Obstáculo animista

O obstáculo animista tem poucas ocorrências ao longo do livro-texto. O obstáculo animista ocorre na atribuição de vida e propriedades antropomórficas, bem como na valorização da vida em relação a outros fenômenos. Os casos que ocorrem no livro são os seguintes:

[...] ou de um equilíbrio interno do sistema que o obriga a evoluir em busca de estados de equilíbrio compatíveis com as condições sob as quais o sistema se encontra (PILLA, 2006, p. 294)

Por isso, para “obter” trabalho de um processo espontâneo é necessário discipliná-lo mediante um dispositivo que obrigue o sistema a evoluir de maneira tão próxima do equilíbrio quanto for compatível com uma velocidade apreciável. (PILLA, 2006, p. 295)

Esta ocorrência deixa evidente uma valorização do fenômeno da vida, visto que foi colocado que o sistema *evolui* para a *busca* de estados de equilíbrio compatíveis. A evolução é um conceito da biologia, relacionada ao desenvolvimento das espécies e não da matéria inanimada. Outro ponto a considerar, é que um sistema não pode *buscar* um estado de equilíbrio, visto não ter este livre-arbítrio para empreender uma jornada.

Bachelard descreveu que o obstáculo animista persistiu na História das Ciências, por uma valorização dos três reinos, em que a

[...] ciência chama — apoio lamentável — a biologia nascente em socorro de uma química e de uma física que já obtiveram resultados positivos. Constitui-se, então, um verdadeiro fetichismo da vida, com cara de ciência, que persiste em épocas e em domínios nos quais, espantosamente, não causou escândalo. (BACHELARD, 1996, p.185-186).

É desta forma que podemos entender por que o obstáculo animista aparece aqui em um livro-texto escrito no século XX. Anteriormente, mesmo quando a química e a física já haviam produzidos seus próprios resultados e se libertavam do espírito pré-científico, existia ainda uma veneração à biologia e, no texto de Pilla, percebe-se ainda os resíduos que ainda persistem. Isto fica bastante claro quando o autor diz que o sistema precisa ser *disciplinado* a fim do sistema *ser obrigado a evoluir*.

Aliás, o próprio título da seção em que aparecem estes últimos obstáculos oferece evidências de uma valorização dos fenômenos biológicos: “A direção dos fenômenos naturais”.

Esta seção aborda por que alguns processos são espontâneos e outros não. Mas, o natural sempre acaba sendo valorizado pelo inconsciente pela ideia de que “está na Natureza”. Esta preferência pelo natural chamou também a atenção de Bachelard, ao estudar o obstáculo da experiência primeira: “É dada grande atenção ao que é natural.[...] O espírito pré-científico sempre acha que o produto natural é mais rico do que o artificial.” (BACHELARD, 1996, p. 39)

4.3 Obstáculo verbal

Este obstáculo constitui na utilização de uma palavra que explica todo o fenômeno por si mesma ou é empregada no contexto como senso comum, podendo possuir conotações divergentes. Bachelard (1996, p. 91) irá colocar que “Pretendemos assim caracterizar, como obstáculos ao pensamento científico, hábitos de natureza verbal.”, ou seja, toma-se certos hábitos verbais (vocábulos e expressões muito usadas) sem reflexão se o emprego deste é adequado ao contexto científico. Aqui, a ausência de explicações e definições é uma das características principais deste obstáculo, visto que uma vez evocada determinada palavra, nada mais precisa ser dito.

Desta forma, encontramos primeiramente

[...] é a capacidade térmica média do sistema no intervalo de temperatura T_2-T_1 , e o seu valor depende não só deste intervalo como também da temperatura T em torno da qual se situa o intervalo.

A verdadeira capacidade térmica numa temperatura T é o quociente diferencial [...] (PILLA, 2006, p. 184)

Aqui, o obstáculo verbal se caracteriza primeiramente pelo uso do termo *verdadeira* capacidade térmica. Ora, dado que há uma verdadeira capacidade térmica, implica que exista uma falsa capacidade térmica. Com certeza, não foi esta a intenção do autor e sim dar destaque a expressão diferencial que define matematicamente a capacidade térmica.

O outro obstáculo está na própria capacidade térmica que acaba por não ser definida no livro-texto, exceto matematicamente. Logo, isto gera uma dificuldade de compreensão nos estudantes, visto que apenas aceitarão a existência da capacidade térmica pelo número de vezes que o termo aparece no livro.

O outro obstáculo verbal que ocorre no livro de Luiz Pilla pode ser difícil de identificar logo em uma primeira leitura, visto que o seu uso no senso comum se tornou muito frequente que acaba por se esquecer da definição científica. É o conceito de energia. Em nenhum momento o autor trouxe uma definição no contexto científico para este termo que repetidas vezes aparece no decorrer do texto e que tem importância fundamental. Em um momento, houve uma tentativa de definição

A relação (5.11) mostra que trabalho e calor são formas distintas da mesma entidade, a qual se denomina energia, e que esta se conserva em todas as transformações. (PILLA, 2006, p. 158)

Mas, note-se que este destaque está relacionado mais à energia interna, além de colocar trabalho e calor como formas de energia, o que constitui outro obstáculo epistemológico, que será examinado adiante.

A falta de definição do conceito de energia já foi observada anteriormente por Alomá e Malaver (2007), que estudou diferentes livros de termodinâmica na Venezuela, tendo encontrado apenas um autor que trouxe uma definição explícita para a energia. Todos os demais, começam a fazer referência a energia cinética, potencial, térmica, interna, translacional, etc., além de colocarem que a energia se transforma, transmite-se ou se conserva sem dar uma definição do que seja energia. É exatamente esta a situação do livro de Luiz Pilla, o que leva a pensar ser uma constante em livros de termodinâmica. Colocam os autores que por não haver uma definição nos livros, os estudantes acabam adotando aquela do senso comum e isto constitui a origem dos obstáculos na aprendizagem da transformação e conservação da energia.

Importante ressaltar que a definição de energia não é algo simples como pode parecer, o que auxilia a entender o porquê da omissão delas no livro de Pilla e em outros (conforme a literatura). A dificuldade de dar uma definição é apontada inclusive por Richard Feynman (2011), em que afirma que a energia é uma quantidade que se conserva, sem contudo saber o que precisamente ela é.

[...] há uma certa quantidade, a qual chamamos de energia, que não se altera nas múltiplas mudanças pelas quais sofre a natureza. Esta é a ideia mais abstrata, porque é um princípio matemático, que diz que há uma quantidade numérica que não muda quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou de alguma coisa concreta [...]. (FEYNMAN, 2011, p. 41, tradução livre)

Considerando-se o contexto do livro de Pilla, e que é também o contexto de outros LDs de Físico-Química, que é a Termodinâmica Clássica, a definição adotada neste período é a que se esperaria aparecer, ou seja, que a energia é a “capacidade [de um sistema] de efetuar trabalho” (ATKINS; PAULA, 2012, p. 37). Interessante seria também colocar os estudantes a par de que o conceito de energia não é algo tão óbvio, evitando assim as associações com ideias do senso comum.

As observações do estudo de Alomá e Malaver (2007) vão ao encontro do estudo de Bachelard (1996), com a diferença de que os primeiros não fizeram seu estudo fundamentados em obstáculos epistemológicos. Apesar desta ressalva, a contribuição deles está congruente com a definição de obstáculo verbal proposta pelo filósofo francês. Bachelard alertou sobre o perigo que oferece à razão estas palavras que acabam por serem metáforas:

O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre

são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem.(BACHELARD, 1996, p. 101)

Nessa ordem de idéias, os obstáculos mais poderosos correspondem às intuições da filosofia realista. Esses obstáculos, fortemente materializados, não acionam propriedades gerais, mas qualidades substantivas. É aí, numa experiência mais abafada, mais subjetiva, mais íntima, que reside a verdadeira inércia espiritual. É aí que encontraremos as verdadeiras palavras-obstáculo.(BACHELARD, 1996, p. 102)

Finalmente, nota-se a importância de definições claras e explícitas dentro do contexto científico, a fim de se evitar uma mistura com o senso comum que podem chegar ao ponto de gerarem “palavras-obstáculo”, como propõe Bachelard. Sobre estas, voltaremos a abordar quando for exposto o conceito de entropia.

4.4 Obstáculo substancialista

Este obstáculo ocupa várias páginas da obra de Bachelard, devido a sua marcante presença na História da Ciência. Neste obstáculo, a substância possui qualidades diversas e profundas e os adjetivos são tomados por explicações. No livro de Pilla, aparecem várias ocorrências de obstáculo substancialista e, desta maneira, deixou-se destacado em cada citação abaixo os trechos que apontam a ocorrência do obstáculo.

[...] as moléculas de um gás, ou de um líquido, possuem energia cinética de rotação, enquanto no **interior** da molécula os átomos são **dotados** de energia vibratória (PILLA, 2006, p. 23)

Ao transferir-se do sistema ao meio externo, ou inversamente, a energia **manifesta-se sob forma** de trabalho, quando uma força atua entre ambos e **manifesta-se sob a forma** de calor, quando há uma diferença de temperatura entre ambos. Todavia, estas quantidades só podem ser medidas no meio externo. (PILLA, 2006, p. 29)

O **reservatório** de trabalho é um dispositivo por meio do qual pode-se **acumular** trabalho sob a forma de energia potencial de um peso. (PILLA, 2006, p. 30)

Uma transformação chama-se adiabática quando as paredes do invólucro são adiabáticas, isto é, **impermeáveis** ao calor (PILLA, 2006, p. 30)

Se o invólucro em que se encontra o sistema for rígido e adiabático, de modo a não permitir **troca** de calor e trabalho com o exterior, diz-se que esse sistema é isolado e seu estado de equilíbrio não está sujeito às condições de temperatura e pressão do meio externo. (PILLA, 2006, p. 45)

[...] e o calor for incluído, ao lado do trabalho, como **forma de energia**, dando origem à Termodinâmica. (PILLA, 2006, p. 151)

o acréscimo de energia cinética representa **trabalho armazenado** no sistema por efeito de um acréscimo de sua velocidade e pode ser devolvido por uma redução correspondente de velocidade; (PILLA, 2006, p. 153)

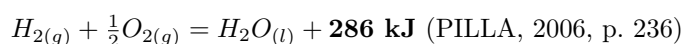
o acréscimo de energia potencial representa **trabalho armazenado** no sistema por efeito de uma variação de sua posição no campo da gravidade e pode ser devolvido pelo retorno do sistema à posição inicial; (PILLA, 2006, p. 153)

Viu-se que o **trabalho** é uma grandeza capaz de **conservar-se** sob forma de energia cinética e/ou potencial de um sistema. (PILLA, 2006, p. 154)

A relação (5.11) mostra que trabalho e calor são **formas distintas da mesma entidade**, a qual se denomina energia [...] (PILLA, 2006, p. 158)

Podemos agora substituir a definição provisória dada inicialmente ao calor por um conceito definitivo: *calor é energia **trocada** entre sistema e meio externo, por efeito exclusivo de uma diferença de temperatura.*(PILLA, 2006, p. 158)

Viu-se, na seção 5.4, que calor e trabalho são **formas diversas** de energia. (PILLA, 2006, p. 159)



[...] só em 1842 o calor foi reconhecido como uma **forma de energia**” (PILLA, 2006, p. 279)

[...] trabalho e calor são **formas de energia** qualitativamente distintas, pois, devido às restrições apontadas, calor é uma **forma menos útil** de energia ou forma “degradada” de energia em relação ao trabalho. (PILLA, 2006, p. 282)

As citações trazidas a este trabalho podem parecer repetitivas, mas deixam evidente que calor, trabalho e energia são tratados ao longo do texto como substâncias, lembrando-se que o autor não trouxe uma definição de energia e que, pelas citações, traz que calor e trabalho são formas de energia.

Em um interessante trabalho, Macrie-Shuck e Talanquer (2020) trazem as diferentes maneiras que a energia é compreendida no senso comum, incluindo aquela que pertence ao obstáculo substancialista, embora os autores não utilizam o referencial de Bachelard, através da ideia de que a energia é uma espécie de combustível capaz de sustentar movimento/atividade ou dar força/movimento e também como uma espécie de *fluido* que pode ser armazenado, transportado e colocando dentro objetos e substâncias. Esta noção de que energia é um fluido é importante para se entender os obstáculos presentes no conceito de calor.

Bachelard se aprofundou no obstáculo substancialista, que propôs a existência de um mito do interior, que se torna importante para o entendimento da ocorrência do obstáculo substancialista do livro-texto de Luiz Pilla. No mito do interior, a substância é valorizada pelo o que ela contém em seu núcleo (interior), protegido por alguma camada externa. O autor sintetiza esta busca pelo interior da seguinte maneira:

Uma substância preciosa deve ser procurada, digamos assim, em profundidade. Está escondida sob invólucros. Mergulhada em matérias grosseiras e na ganga. É obtida através de destilações repetidas, de macerações demoradas, de longas “digestões”. Assim extraída, reduzida e depurada, é uma quintessência; é um *sumo*. (BACHELARD, 1996, p. 150)

É o resquício desse mito que tanto perdurou na História da Ciência que vemos nos trechos destacados no início desta seção. É assim que um gás ou um líquido possui energia cinética, enquanto que no *interior* os átomos são *dotados* de energia vibratória. A energia

vai se manifestar sob a forma de calor ou de trabalho que só podem ser medidos no meio externo, nunca no interior inacessível. De igual modo, é utilizado o termo reservatório para trabalho e calor, onde estes podem ser guardados/armazenados em um *interior* a fim de serem utilizados/liberados quando for mais conveniente.

A influência do mito do interior ainda é persistente que, em dado ponto, o autor dirá, como já citado, que o trabalho se conserva sob forma de energia cinética/potencial, enquanto sabe-se que o trabalho não é uma diferencial exata, logo, não se conserva. O mito do interior explica que o trabalho é colocado em algum invólucro para justificar que ele apareça posteriormente, quando for necessário.

Ao se abordar o trabalho, percebe-se que inicialmente ele é tratado do mesmo modo que o calor, como uma forma de energia. Porém, em dado momento, há uma valorização do trabalho, ao se colocar que o calor é menos útil em relação ao trabalho. Há, portanto, uma valorização deste conceito pela utilidade. Neste momento, não será abordada esta “utilidade” (será vista em seção apropriada), o que se destaca aqui é a contradição: em dado momento, o calor foi colocado *ao lado* do trabalho como “forma de energia” e depois é informado que há uma forma mais útil do que a outra. A contradição faz parte do mito do interior, em que a substância pode ter qualidades as mais diversas e opostas. Bachelard esclarece que o obstáculo substancialista

É constituído por intuições muito dispersas e até opostas. Por uma tendência quase natural, o espírito pré-científico condensa num objeto todos os conhecimentos em que esse objeto desempenha um papel, sem se preocupar com a hierarquia dos papéis empíricos. (BACHELARD, 1996, p. 121)

A ideia de que calor e trabalho são formas de energia é facilmente encontrada quer em textos, quer em concepções de estudantes como aborda Nilsson e Niedderer (2014), ao estudarem as dificuldades para o conceito de entalpia e conceitos relacionados. Os estudantes acabam entendendo tudo como forma de energia (que, lembrando, dificilmente é definida nos livros didáticos) e acabam não conseguindo aprender a noção de transferência de energia, o que acaba afetando outros conceitos como entalpia, energia interna, energia livre, etc.

Podemos abordar a origem dessas ideias substancialistas na antiga teoria do calórico, na qual o calor era realmente entendido como uma substância. Pode-se resumir esta teoria da seguinte maneira:

Na teoria do calórico, o calor era considerado como um fluido sutil que preenchia o interior dos corpos. Espalhado por toda a natureza, esse fluido era propagado ou conservado pelos corpos, de acordo com suas propriedades e temperatura. Assim sendo, a temperatura media a pressão ou a densidade do calórico, contido em um corpo, e uma transferência de calor entre dois corpos era interpretada como um escoamento de calórico, no sentido decrescente da pressão.

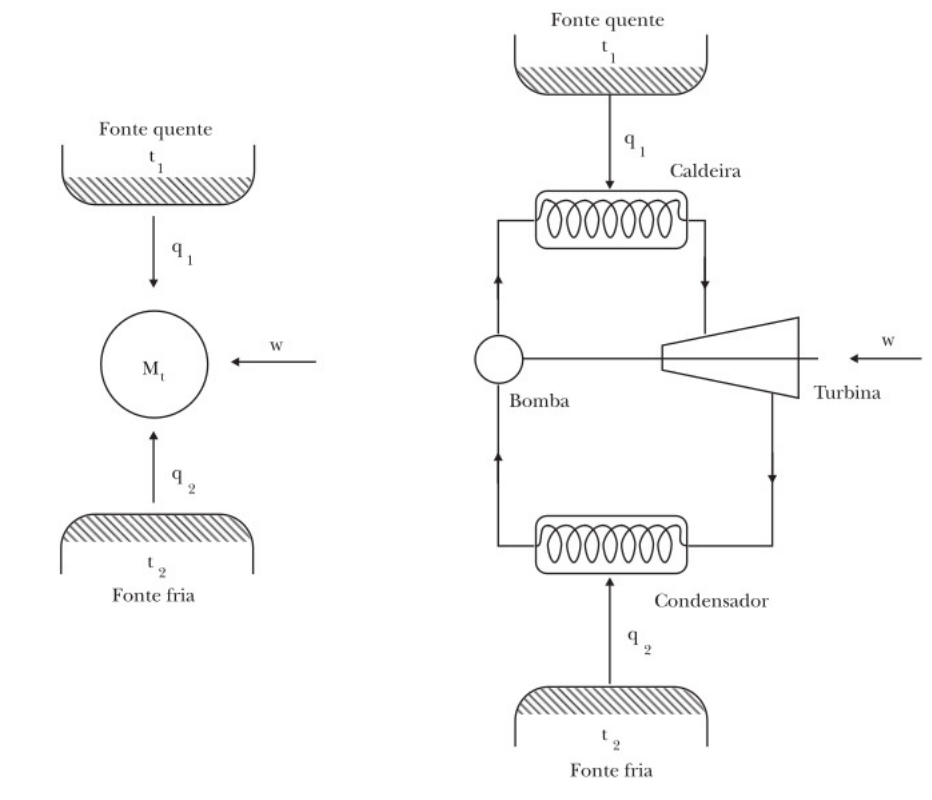
Pensava-se que [o] calórico era atraído pelos átomos das substâncias, mas era auto-repelente. Formava-se uma nuvem de calórico em torno de cada átomo e essas repeliam-se entre si [...]. A temperatura dependia da densidade do calórico na superfície do corpo. Para aumentara temperatura, fornecia-se calórico ao corpo. (PÁDUA; PÁDUA; SILVA, 2009, p. 80)

Há muitas semelhanças entre este resumo da teoria do calórico e as características do obstáculo substancialista de Bachelard: estão presentes o mito do interior, as qualidades diversas e opostas, imagens simples e agradáveis que surgem sempre antes de se estudar algum fenômeno. Da teoria do calórico podemos relacionar também por que, como citado anteriormente, a energia é tratada como um fluido ou um combustível no senso comum: em dado momento, o calor era exatamente este fluido e havia experimentadores que buscavam mostrar que o fluido calórico devia se conservar.

A teoria do calórico mantém sua influência mesmo após seu abandono no século XIX com o equivalente mecânico do calor proposto por Joule. Essa influência está justamente na linguagem e na dificuldade de se definir calor dentro de um conceito científico. Doige e Day (2012) em artigo que estuda apenas o conceito de calor, expõe que há diferentes maneiras de definir o calor adequadamente: energia em trânsito ou mecanismo/processo de transferência de energia. Alertam os autores que o termo calor não deve ser utilizado como um substantivo, pois isto acaba reforçando a teoria do calórico (ou, em Bachelard, reforça o obstáculo substancialista), portanto, toda o texto que traz expressões como “perda de calor”, “adição de calor”, “fluxo de calor” devem ser evitadas, pois estão relacionada a ideias substancialistas. Os autores ainda fazem um estudo em livros didáticos de diferentes disciplina (química, física, biologia e anatomia) e constataam ideias substancialistas e até mesmo contraditórias em um mesmo texto. Ainda no texto de Pilla, esta permanência residual da teoria do calórico aparece na apresentação de uma equação termoquímica, em que a entalpia aparece junto com os produtos, após o símbolo de mais. Esta forma de representar a reação é compatível com a ideia de calor como substância.

Deste modo, fica bastante evidente o porquê o texto de Luiz Pilla está tão carregado deste obstáculo: os resquícios da teoria do calórico ainda estão muito presentes. Não é uma decisão pessoal do autor, a própria literatura produtora de textos didáticos ainda não se libertou totalmente das ideias substancialistas ou, como colocaria Bachelard, da *sedução* substancialista, visto que os termos substancialista dão uma impressão de facilidade (como se fossem um recurso didático) que é muito mais uma *familiaridade*. Esta sedução será aprofundada quando se estudar a ocorrência do obstáculo realista no livro-texto de Pilla.

Ainda é necessário apontar outra ocorrência do obstáculo substancialista: as ilustrações do livro didático. Haverá ilustrações que, provavelmente elaboradas por equívoco, vão acabar reforçando ideias substancialistas. Veja-se a Figura 1, que esquematiza uma máquina térmica.



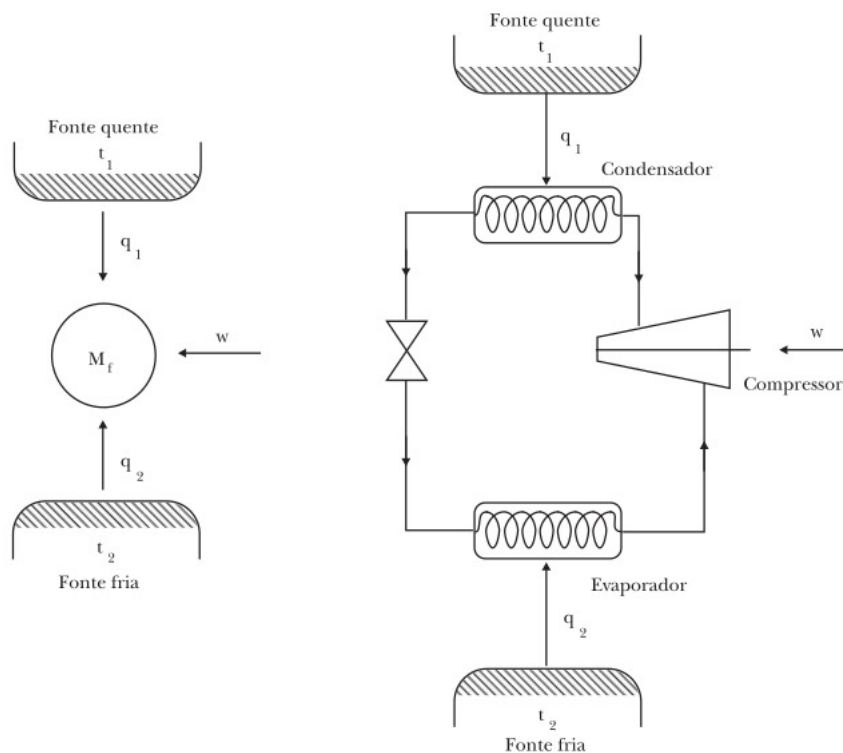
Fonte: Pilla (2006, p. 283)

Figura 1 – Esquema de máquina térmica utilizado no livro

Observa que a seta que indica q_2 em ambas as figuras mostra uma transferência da fonte fria para a máquina, ou seja, a fonte fria cedendo calor em vez de recebê-lo. De acordo com as leis da Termodinâmica, isto não ocorrerá, mas de acordo com a teoria do calórico, sim, visto que nesta teoria o calor era uma substância (um fluido, mais especificamente). Nota-se, em ambas as figuras também, que a seta que indica w também indicaria que o meio externo estaria exercendo trabalho sobre a máquina.¹

O mesmo ocorrerá quando for colocada no livro uma ilustração esquemática para uma máquina frigorífica, como indica a Figura 2. Inclusive, nota-se que este recurso visual foi feito reaproveitando-se o anterior, o que explica a existência dos mesmos enganos. No entanto, após todas as explicações fornecidas sobre a presença do obstáculo substancialista e da permanência da teoria do calórico, uma certa influência sobre a elaboração destas ilustrações não pode ser descartada.

¹ Nesta figura, o sentido das setas poderia ser o sentido da quantidade positiva. Então, q_2 e w são na verdade negativos porque o seu sentido real é oposto ao da seta desenhada. Entretanto, no texto de chamada da figura, no livro, não há esta menção, colocando que a figura é um diagrama simplificado de uma máquina térmica.



Fonte: Pilla (2006, p. 285)

Figura 2 – Esquema de máquina frigorífica utilizado no livro

4.5 Obstáculo realista

Este obstáculo aparece na obra de Bachelard no capítulo sobre a psicanálise do realista e mostra que o sentimento do ter cria obstáculos ao conhecimento científico. O termo obstáculo realista é utilizado por Lopes (1992) e vai se constituir num bloqueio as retificações necessárias das primeiras ideias, em que, se ele não pode tocar os fatos com as mãos, construirá imagens que permitam aos seus olhos enxergar o fato. No texto de Luiz Pilla, este obstáculo abrangerá quase que exclusivamente o conceito de entropia.

O rendimento de uma operação, em termos gerais, é a razão entre o resultado colhido e o investimento feito. O rendimento termodinâmico η de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho produzido ($-w$), ao cabo de um ciclo, e o calor recebido da fonte quente (q_1), [...]. (PILLA, 2006, p. 282)

[...] possibilitando um número maior de configurações para o macroestado, o que implica aumento da “desordem” interna do sistema ao passar do primeiro ao segundo estado. (PILLA, 2006, p. 310)

[...] é acompanhado de aumento da probabilidade termodinâmica ou de desordem interna no sistema. (PILLA, 2006, p. 310)

Esse acréscimo de entropia que acompanha a fusão é a expressão do aumento de probabilidade termodinâmica ou da desordem que acompanha a transferência da substância da fase

em que as moléculas ocupam posições ordenadas (cristal) a um estado de maior energia (líquido) em que as moléculas se movimentam mais livremente e têm a sua disposição maior número de níveis energéticos. (PILLA, 2006, p. 325)

[...] Esse resultado indica que a vaporização produz maior aumento da desordem ou da probabilidade termodinâmica que a fusão, (PILLA, 2006, p. 325)

[...] Isso significa que diminui também o grau de desordem interna do sistema. (PILLA, 2006, p. 333)

Fica bastante evidente que o conteúdo do obstáculo que aparece no conceito de entropia é ordem/desordem. Esta explicação aparece muito facilmente em livros didáticos (como em Santos (2016, p. 270) e Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 297)) e o livro de Pilla não foi exceção.

Inicialmente, Bachelard vai colocar as seguintes características da filosofia realista:

A psicanálise a ser instituída para a terapia do substancialismo deve ser a psicanálise do *sentimento de ter*. O complexo a ser desfeito é o complexo do pequeno lucro, que, para simplificar, pode ser chamado de complexo de Harpagon. É o complexo do pequeno lucro que chama a atenção para as pequenas coisas que não se *devem* perder porque, uma vez perdidas, a pessoa não as encontra mais. (BACHELARD, 1996, p. 164)

É fornecida uma explicação dada para o rendimento de uma operação, em que se constroi uma analogia com resultado colhido e investimento feito. O rendimento é definido pela razão entre valores que não são finais ou iniciais, mas sim quantidades obtidas ou perdidas durante um processo (trabalho e calor), o que faz com que a analogia tenha sentido. Por outro lado, investimento é termo utilizado no senso comum para as finanças, enquanto que o resultado colhido é vinculado a algum produto concreto que pode ser obtido (como a colheita de frutos): o sentido dado é que a perda seja mínima, sendo esta perda financeira. Por este ângulo, é que esta analogia pode ser inclusa no obstáculo realista. Além disso, na continuidade da frase é dada uma explicação muito mais direta: “O rendimento termodinâmico η de uma máquina térmica é a razão entre o trabalho produzido ($-w$), ao cabo de um ciclo, e o calor recebido da fonte quente (q_1), [...]”, o que torna dispensável a analogia com investimento e colheita.

Com relação à definição de que a entropia é a desordem de um sistema, a fim de se perceber o obstáculo realista, importa primeiro observar a leitura feita do realismo ingênuo por Alice Lopes:

Mantendo o pensamento preso ao dado primeiro, bloqueia as retificações que compõem a essência mesma da construção científica. Por outro lado, tende a superpor metáforas quando diante do conhecimento abstrato. [...] E nesse processo o real construído é distorcido em nome do real factual.

Apresentar conceitos racionais como formas a serem descritas é então a grande estratégia pedagógica do realista, que com isso apenas transmite o engano e o equívoco. Isso acontece

porque o realista sofre o mal da generalização apressada, inadequada. Em sua ânsia de formular leis gerais para diferentes fenômenos, se apóia sobre os dados dos sentidos. E a descrição do aspecto geral mascara e obstaculiza a compreensão dos aspectos matemáticos dos fenômenos. (LOPES, 1992)

A partir destes pressupostos, a desordem é uma metáfora apressada e inadequada para a entropia, que ela é uma imagem grosseira e fácil, que se socorre do sentido de ver para explicar um fenômeno científico. Internacionalmente, o primeiro a combater a ideia de desordem como explicação para a entropia foi Lambert (1999). Este pesquisador se preocupou durante toda a vida em elucidar o que era a entropia e mostrar o engano da ideia de desordem.

Lambert (1999) vai começar abordando exatamente o erro: é a identificação do aumento de entropia com a mudança no padrão de objetos macroscópicos. Cabem nessa metáfora exemplos como embaralhar cartas, misturar papéis/livros em uma mesa, as roupas bagunças em quarto, etc. Entretanto, todas estes exemplos são apenas de desordem definidos por seres humanos, que utilizam um senso próprio do que é organizado e do que é desorganizado. O pesquisador irá mostrar onde está o aumento de entropia nestes exemplos: o aumento está nos braços do embaralhador de cartas, nos braços de quem misturou papéis e nos braços de quem deixou espalhadas as roupas no quarto. É a energia concentrada no ATP dos músculos o último responsável por estas movimentações e é parcialmente degradado para difundir energia térmica.

Destas considerações de Lambert (1999) o paralelo com o obstáculo realista já fica bem estabelecido. Como o realista tem uma ânsia por generalizações e por descrever o fenômeno, a entropia é rapidamente tomada pela desordem que os olhos podem ver e a bagunça é sempre visível e objeto de reclamação. O real aumento de entropia acaba sendo desprezado pela generalização apressada, inclusive por que não pode ser vista com olhos. A questão da perda, trazida diretamente por Bachelard, também está presente nesta metáfora da desordem, embora mais indiretamente: a ordem foi “perdida”; o às de copas perdeu-se no embaralhamento das cartas, o documento importante perdeu-se em meio aos papéis misturados e a roupa necessária perdeu-se junto com a roupa espalhada pelo quarto.

O início da distorção do conceito de entropia é apontado por Lambert (1999) como a falta do entendimento do significado da equação de Boltzmann ($S = k_B \ln \Omega$), analogias confusas sobre os microestados e a “teoria da entropia da informação”. A analogia confusa consiste no esquema de ilustrar os níveis energéticos por linhas, caixas ou cartas: o problema é que tais objetos, especialmente o último, são tão *familiares* aos estudantes que estes, se não devidamente alertados, irão tomar a analogia por um exemplo de aumento de entropia. O obstáculo realista explica bem esta transposição feita: é uma generalização apressada, baseada no sentido de ver, que acaba distorcendo o fato. Outro ponto a considerar, segundo

Ben-Naim (2011) é que o próprio Boltzmann utilizou desordem e probabilidade como sinônimos, em seu trabalho, ou seja em relação aos microestados. Com o passar do tempo, acabou sendo excluída da explicação de Boltzmann a advertência sobre os microestados, ficando apenas que a entropia era a medida da desordem.

Quanto a “teoria da entropia da informação”, Lambert (1999), em tradução livre, irá explicar que:

Em 1948, Claude E. Shannon iniciou a era da quantificação da informação e adotou a palavra “entropia” para a quantidade definida em sua equação. Isto ocorreu porque um amigo dele, o brilhante matemático John von Neumann, disse “chame isso de entropia... ninguém realmente sabe o que é entropia, então em um debate você sempre terá vantagem”. (LAMBERT, 1999)

O desejo de ter vantagem em um debate, de nunca perder a discussão, de usar um “trunfo oculto na manga” (um termo desconhecido), de propulsionar uma teoria própria, tudo isto faz parte da avareza, do sentimento de ter, enfim, do obstáculo realista. Após a utilização do termo entropia fora do contexto da ciência, este espalhou-se de forma tão eficiente que acabou chegando ao próprio contexto científico, como definição real de entropia. A razão para tal “sucesso” reside na facilidade que as imagens de desordem têm nas pessoas. Após admirar a explicação, não é preciso pensar mais. Bachelard dirá que

Ora, o melhor meio de fugir às discussões objetivas é entrincheirar-se por trás das substâncias, é atribuir às substâncias os mais variados matizes, é torná-las o espelho de nossas impressões subjetivas. As imagens virtuais que o realista forma desse modo, admirando as mil variações de suas impressões pessoais, são as mais difíceis de afugentar. (BACHELARD, 1996, p. 184)

Finalmente, após estas considerações, pode-se propor que a permanência destas ideias realistas no conceito de entropia podem fazer dela um conceito-obstáculo e que a ideia de desordem é uma palavra-obstáculo. Quando se discutiu a existência do obstáculo verbal no texto de Pilla, abordou-se brevemente a ocorrência destes, tendo Bachelard enunciando que uma palavra-obstáculo ocorre na filosofia realista e que são fortemente materializados. As características adotadas no emprego da desordem como explicação da entropia preenchem todas as características e, portanto, pode ela ser entendida como uma palavra-obstáculo, sendo recomendável a sua remoção como recurso didático para a abordagem do conceito de entropia.

Importante também observar que a utilização da metáfora da desordem não é uma exclusividade do texto de Luiz Pilla, mas sim ocorreu em praticamente todos os livros didáticos, mesmo fora do Brasil (LAMBERT, 1999). Assim, o autor apenas seguiu a tendência e o entendimento de sua época, sendo que na publicação de seu livro, ninguém relevantemente alertou sobre o erro desta analogia.

4.6 Outros obstáculos

Houve algumas pequenas ocorrências que podem ser classificadas em termos de obstáculos. Entretanto, são casos praticamente isolados, que podem ser creditados tão somente a jargões ou hábitos linguísticos.

Desta forma, encontramos um obstáculo da libido:

Espécies de matéria que se podem reproduzir sempre [...]. (PILLA, 2006, p. 19)

No qual o termo reprodução é a evidência da interferência da libido. Neste trecho, o autor está abordando a definição de substância. O uso do termo reproduzir não é mais utilizada no texto. A proximidade que tem esta colocação com o obstáculo da libido, é que também é definido o que é um corpo. A substituição dessa definição por outra eliminaria qualquer possível resquício.

Podemos encontrar também algumas ocorrências de obstáculo utilitarista e pragmático:

Ao trabalho não-elástico w dá-se, em geral, o nome de trabalho útil,[...]. (PILLA, 2006, p. 178)

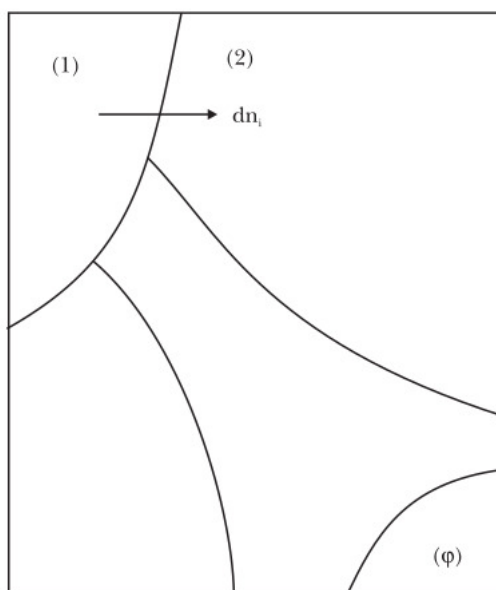
[...] trabalho e calor são formas de energia qualitativamente distintas, pois, devido às restrições apontadas, calor é uma forma menos útil de energia ou forma “degradada” de energia em relação ao trabalho. (PILLA, 2006, p. 282)

Aqui, o obstáculo está inserido na questão da utilidade, utilidade que é humana, marcada historicamente por necessidades da sociedade ou dos indivíduos. Estas colocações utilitárias podem também ser vinculadas ao obstáculo realista, visto que a utilidade dada a um fenômeno é a utilidade do lucro. Bachelard vai caracterizar este obstáculo da seguinte maneira:

Em todos os fenômenos, procura-se a utilidade humana, não só pela vantagem que pode oferecer, mas como princípio de explicação. Encontrar uma utilidade é encontrar uma razão. [...] Procura-se atribuir a todas as minúcias de um fenômeno uma utilidade característica. Se uma utilidade não caracteriza um traço particular, parece que este aspecto não fica explicado. Para o racionalismo pragmático, um aspecto sem utilidade é um irracional. (BACHELARD, 1996, p. 115-116)

Também foram identificadas outras figuras do livro que possuem o mesmo equívoco relatado na seção do obstáculo substancialista e que não foram apresentadas para que o texto não se tornasse repetitivo. Há algumas figuras, porém, que pouco auxiliam na compreensão do texto. Assim, teremos a Figura 3, exibida abaixo.

Neste ponto, o autor está introduzindo, pela primeira vez em sua obra, as grandezas de mudança de fase. Interessantemente, isto é feito logo nas páginas iniciais da obra (no caso, página 68). O que é problemático aqui é a falta de clareza da imagem: não é possível saber se é um diagrama ou uma ilustração de um sistema isolado com diferentes fases. Não



Fonte: Pilla (2006, p. 68)

Figura 3 – Representação de um sistema heterogêneo

é possível distinguir nela quais são as fases e quais são os componentes, embora exista uma representação simbólica (fases em números e componente dado por φ). A chamada no texto para a figura também pouco elucidada o porquê da sua presença ou qual o seu significado. Devido a ser tão vago e tão pouco claro, pode-se incluir esta figura no obstáculo do conhecimento geral.

Outra ilustração, que poderia tanto ser encaixada no obstáculo do conhecimento geral quanto no da experiência primeira, ocorre na seção que aborda a conversão de trabalho em energia mecânica. É utilizado um gráfico em que aparece uma curva ligando dois pontos, como mostra a Figura 4.

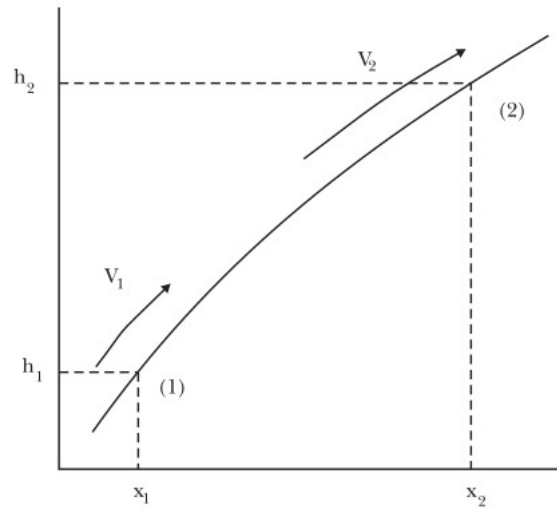


Figura 5.2 – Conversão de trabalho em energia cinética e potencial

Fonte: Pilla (2006, p. 152)

Figura 4 – Conversão de trabalho em energia potencial e cinética

Embora o sentido que se queira atribuir a este gráfico seja mais claro, não se percebe a necessidade de tal gráfico, porque a ilustração mostra que os pontos conectados pela curva possuem variáveis diferentes. Entretanto, o trabalho não aparece na ilustração, não há uma justificativa para que a ligação entre os dois pontos sejam um curva e não uma reta (ou qualquer outro tipo de ligação). Desta forma, parece que esta figura é apenas a ilustração de uma metáfora de um sistema que passa de um ponto 1 para um ponto 2 e na qual se quer relacionar com o trabalho. A ilustração é, na perspectiva bachelardiana, uma imagem grosseira.

5 Conclusão

O livro “Físico-Química I: termodinâmica química e equilíbrio químico” foi analisado numa perspectiva bachelardiana, utilizando o conceito de obstáculo epistemológico. Foram identificados quatro obstáculos principais no texto: animista, verbal, substancialista e realista, que envolvem os conceitos de energia, calor, trabalho e entropia. Estes obstáculos foram identificados no texto do livro e em ilustrações, não tendo sido identificados obstáculos nos exercícios propostos.

Observou-se que a uma grande ocorrência de obstáculo substancialista envolvendo os conceitos de energia, calor e trabalho e que a origem deste reside na teoria do calórico, em que o calor era entendido como uma substância (um fluido) de propriedades peculiares e responsável pela temperatura dos corpos. O conceito de entropia foi discutido abrangentemente, concluindo-se que é um equívoco a metáfora da desordem como analogia para o conceito e que esta metáfora faz da desordem uma palavra-obstáculo, pois está carregada de imagens grosseiras que facilmente fazem ligações com ideias do senso comum.

Também compreendeu-se que estes obstáculos presentes no livro didático não são uma escolha pessoal do autor ou representam que este tenha defendido noções científicas com analogias inadequadas. Todos os obstáculos discutidos nesse estudo aparecem em outros textos didáticos, conforme aponta a literatura. Portanto, são de obstáculos fortemente presentes na época da redação do texto didático, em que a discussão sobre as analogias e explicações inadequadas era ainda inexistente ou de pouca relevância.

Finalmente, este trabalho aponta a necessidade de estudos posteriores que busquem identificar obstáculos epistemológicos, que busquem reflexões sobre estratégias/metodologias mais adequadas ao ensino dos conceitos científicos e também que possam propor estratégias de ensino sem obstáculos. Também se torna interessante a identificação dos obstáculos apontados (ou de outros ausentes em Pilla) neste trabalho em outros livros didáticos de Ensino Superior, sejam de Físico-Química ou não. Ainda pode-se concluir que este trabalho é relevante para a UFRGS em relação a novas edições do livro de Pilla, que poderiam conter notas de rodapé ou um quadro novo trazendo “atualizações”, em relação à apresentação dos conceitos, bem como informações aos docentes que irão utilizar a obra na disciplina de Físico-Química I-B (QUI03309), ou em outras, para que os estudantes não tomem os obstáculos presentes na obra como noções científicas e/ou verdades absolutas.

Referências

- ALOMÁ, E.; MALAVER, M. Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de carnot. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, p. 387–400, 2007.
- ANDRADE, B. L. d.; ZYLBERSZTAJN, A.; FERRARI, N. As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de gaston bachelard. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, SciELO Brasil, v. 2, n. 2, p. 182–192, 2000.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. 830 p.
- ATKINS, P.; PAULA, J. *Físico-Química: volume 1*. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 386 p.
- BACHELARD, G. *A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996. 316 p.
- BACHELARD, G. *A Epistemologia*. Lisboa: Edições 70, 2010. 223 p.
- BATTINO, R.; WILLIAMSON, A. G.; WOOD, S. E. On the importance of ideality. *Journal of Chemical Education*, ACS Publications, v. 78, n. 10, p. 1364, 2001.
- BECKER, M. L.; NILSSON, M. R. College chemistry textbooks fail on gender representation. *Journal of Chemical Education*, ACS Publications, v. 98, n. 4, p. 1146–1151, 2021.
- BEN-NAIM, A. Entropy: Order or information. *Journal of chemical education*, ACS Publications, v. 88, n. 5, p. 594–596, 2011.
- CHEN, X. et al. An analysis of the visual representation of redox reactions in secondary chemistry textbooks from different chinese communities. *Education sciences*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 9, n. 1, p. 42, 2019.
- DOIGE, C. A.; DAY, T. A typology of undergraduate textbook definitions of ‘heat’ across science disciplines. *International Journal of Science Education*, Taylor & Francis, v. 34, n. 5, p. 677–700, 2012.
- FEYNMAN, R. P. *The Feynman lectures on physics*. New York: Basic Books, 2011. 560 p.
- FINKENSTAEDT-QUINN, S. et al. Capturing student conceptions of thermodynamics and kinetics using writing. *Chemistry Education Research and Practice*, Royal Society of Chemistry, v. 21, n. 3, p. 922–939, 2020.
- FINZI, S. N. Discutindo os obstáculos epistemológicos de gaston bachelard com um grupo de professores da rede pública da cidade de são paulo. In: *XIV Encontro Nacional de Ensino de Química – Curitiba: UFPR, 2008*. Curitiba: [s.n.], 2008.
- HAGLUND, J.; ANDERSSON, S.; ELMGREN, M. Language aspects of engineering students’ view of entropy. *Chemistry Education Research and Practice*, Royal Society of Chemistry, v. 17, n. 3, p. 489–508, 2016.

- LAMBERT, F. L. Shuffled cards, messy desks, and disorderly dorm rooms-examples of entropy increase? nonsense! *Journal of Chemical Education*, ACS Publications, v. 76, n. 10, p. 1385, 1999.
- LÔBO, S. F. O ensino de química e a formação do educador químico, sob o olhar bachelardiano. *Ciência & Educação (Bauru)*, SciELO Brasil, v. 14, n. 1, p. 89–100, 2008.
- LOGUERCIO, R. d. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; PINO, J. C. D. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de química. *Química Nova*, SciELO Brasil, v. 24, n. 4, p. 557–562, 2001.
- LOPES, A. R. Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da ciência química i–obstáculos animistas e realistas. *Química Nova*, v. 15, n. 3, p. 254–261, 1992.
- LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986. 128 p.
- MACRIE-SHUCK, M.; TALANQUER, V. Exploring students' explanations of energy transfer and transformation. *Journal of Chemical Education*, ACS Publications, v. 97, n. 12, p. 4225–4234, 2020.
- MELONI, R. A.; LOPES, A. C. Produção de sentidos pelas imagens em livros didáticos de química. *Ciência & Educação (Bauru)*, SciELO Brasil, v. 26, 2020.
- NILSSON, T.; NIEDDERER, H. Undergraduate students' conceptions of enthalpy, enthalpy change and related concepts. *Chemistry Education Research and Practice*, Royal Society of Chemistry, v. 15, n. 3, p. 336–353, 2014.
- PÁDUA, A. B. d.; PÁDUA, C. G. d.; SILVA, J. L. C. *A História da Termodinâmica Clássica: uma ciência fundamental*. Londrina: EDUEL, 2009. 132 p.
- PAZINATO, M. S. et al. Epistemological profile of chemical bonding: Evaluation of knowledge construction in high school. *Journal of Chemical Education*, ACS Publications, v. 98, n. 2, p. 307–318, 2020.
- PAZINATO, M. S. et al. Análise dos recursos visuais utilizados no capítulo de ligações químicas dos livros didáticos do pnld 2015. *Acta Scientiae*, v. 18, n. 1, 2016.
- PILLA, L. *Físico-Química I: termodinâmica química e equilíbrio químico*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006. 516 p.
- ROZENTALSKI, E.; PORTO, P. A. Orbital energy diagrams in general chemistry textbooks: a peircean semiotics analysis. *Ciência & Educação (Bauru)*, SciELO Brasil, v. 24, p. 449–466, 2018.
- RUSEK, M.; VOJÍŘ, K. Analysis of text difficulty in lower-secondary chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, Royal Society of Chemistry, v. 20, n. 1, p. 85–94, 2019.
- SANTOS, W. L. P. d. O. *Química cidadã: volume 2*. 3. ed. São Paulo: AJS, 2016. 368 p.
- SCHNORR, S. M.; PIETROCOLA, M. A emergência das noções de formação, livro didático e ambiental na educação em ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, SciELO Brasil, v. 27, 2021.

SUASSUNA, L. Pesquisa qualitativa em educação e linguagem: histórico e validação do paradigma indiciário. *Perspectiva*, v. 26, n. 1, p. 341–377, 2008.

TRINDADE, D. J.; NAGASHIMA, L. A.; ANDRADE, C. C. de. Obstáculos epistemológicos sob a perspectiva de bachelard. In: *XIII Educere*. Curitiba: [s.n.], 2019. p. 17829–17843.

ZANOTELLO, M. Leitura de textos originais de cientistas por estudantes do ensino superior. *Ciência & Educação (Bauru)*, SciELO Brasil, v. 17, n. 4, p. 987–1013, 2011.