

Concepções de estudantes de ensino superior sobre os conceitos de Termodinâmica

José D. Souza¹ (PG)*, Camila G. Passos¹ (PQ), Paulo A. Netz¹ (PQ)

* josedaniel.souza@gmail.com

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus do Vale, Instituto de Química – Av. Bento Gonçalves nº 9500, Agronomia, Porto Alegre.

Palavras-Chave: Conceitos de Termodinâmica, Obstáculos epistemológicos, Filosofia de Bachelard.

Área Temática: História, Filosofia, Sociologia e Epistemologia das Ciências

RESUMO: Neste trabalho, as concepções dos estudantes de Ensino Superior sobre os conceitos de Termodinâmica no início do semestre e no final do semestre de uma disciplina de físico-química foram investigadas. Selecionou-se os conceitos temperatura, calor, energia e entropia que constam entre os conceitos que os estudantes mais apresentam dificuldades. Um questionário foi utilizado no início e no final de cada semestre para coletar as respostas dos estudantes. A metodologia de Análise de Conteúdo foi empregada, categorizando as respostas em termos de obstáculos epistemológicos segundo a filosofia de Gaston Bachelard. Observou-se uma predominância dos obstáculos realistas e substancialistas nas concepções iniciais, enquanto nas concepções finais, notou-se uma diminuição das noções com obstáculos e um crescimento do uso do conceito científico, especialmente para o conceito de entropia.

INTRODUÇÃO

A Termodinâmica está presente em diversos cursos de graduação, como engenharia, física, química, entre outros. Conceitos fundamentais são apresentados nesses cursos, tais como temperatura, energia, entropia, etc. A literatura aponta, no entanto, que a aprendizagem desses conceitos ainda é cercada de dificuldades e enganos (FINKENSTAEDT-QUINN *et al.*, 2020; HAGLUND, ANDERSSON E ELMGREN, 2016; BATTINO; WILLIAMSON; WOOD, 2001). Em um artigo de revisão, Bain *et al.* (2014) indicaram que as principais pesquisas em ensino de Termodinâmica tratam da aprendizagem conceitual. Os autores apontam que é possível perceber uma convergência da literatura em relação ao nível de abstração dos conceitos termodinâmicos (geralmente, calor, trabalho e energia) como uma dificuldade à sua compreensão científica. Para o conceito de entropia, nota-se a mesma dificuldade, com o diferencial de que os estudantes demonstram, em diferentes pesquisas, uma adesão a um entendimento espacial da entropia (desordem).

Neste sentido, Atarés *et al.* (2021) afirmam que a entropia é um dos conceitos com os quais os estudantes enfrentam mais dificuldades e classificam essas dificuldades dos estudantes em três tipos: dificuldade inerente ao conceito, falta de conhecimentos prévios dos estudantes e falta de conhecimento conceitual.

Os autores apontaram que o ensino de Termodinâmica ainda ocorre de forma matematizada, o que induz à memorização de equações e à resolução de exercícios, em detrimento do entendimento das leis da Termodinâmica. Essas dificuldades não se restringem somente aos estudantes, visto que Ültay, Durukan e Ültay (2021) identificaram dificuldades de aplicação dos conceitos de Termodinâmica em questões ambientais por professores de ciências de faculdades de educação na Turquia, principalmente com o conceito de entropia. Os autores concluíram que esses professores não demonstravam domínio sobre as leis da Termodinâmica e que a aplicação delas em questões ambientais apresentava diversas deficiências.

Ao se trabalhar com os conceitos científicos, um referencial que recebe destaque é o de Gaston Bachelard, devido ao seu trabalho epistemológico sobre o desenvolvimento dos conceitos e os obstáculos que surgem ao entendimento dos conceitos científicos. Para Bachelard (1996) não há uma continuidade entre o senso comum e o conhecimento científico e o estudante não é uma tabula rasa, trazendo consigo uma cultura experimental oriunda do senso comum, cultura essa que deve ser adquirida através da superação de obstáculos gerados pelo próprio senso comum. Estes obstáculos, na perspectiva bachelardiana, recebem a denominação de obstáculos epistemológicos, visto que

[...] não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem de incriminar a fragilidade dos sentidos e do espírito humano: é no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem, por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos. É aí que mostraremos causas de estagnação e até de regressão, detectaremos causas de inércia às quais daremos o nome de obstáculos epistemológicos. (BACHELARD, 1996, p. 17)

De acordo com Bachelard (1996), ideias vagas, metáforas grosseiras e intuições ligeiras são o que constituem essas lentidões e conflitos, pois aí uma ideia de facilidade e de familiaridade prevalece, promovendo a cultura do senso comum em detrimento da cultura científica. Bachelard propôs os seguintes obstáculos epistemológicos que obstaculizam o pensamento científico: experiência primeira, conhecimento geral, obstáculo verbal, obstáculo animista, conhecimento pragmático, obstáculo substancialista, obstáculo realista, libido e obstáculo do conhecimento quantitativo.

Os obstáculos que estudantes e professores podem enfrentar em relação aos conceitos científicos assemelham-se aos equívocos cometidos por pesquisadores no passado (Bachelard, 1996). É com o afastamento desses primeiros equívocos que o indivíduo pode progredir no conhecimento científico. Do contrário, os problemas e questionamentos serão minimizados, e todo o conhecimento terá que ser mantido apenas na memória, levando à mera memorização. Desta forma,

[...] estes obstáculos são nocivos ao desenvolvimento do saber, impedindo a trajetória de progresso da razão e a instauração do novo saber. Pode-se

dizer, então, que toda objetivação procede da eliminação dos obstáculos que são, em última instância, erros subjetivos. [...] a objetividade será mais clara quando conquistada através da superação de erros subjetivos, o que significa que o sujeito só evolui quando, num trabalho ativo, afasta as ilusões primeiras [...]. (BULCÃO; BARBOSA, 2011, p. 53-54)

Portanto, a identificação de obstáculos nas concepções dos estudantes revela-se uma temática de interesse, uma vez que pode contribuir para a compreensão das dificuldades enfrentadas por eles e direcionar o desenvolvimento de novas metodologias de ensino, visando a aumentar sua eficácia. Além disso, em um estudo realizado sobre a presença de obstáculos epistemológicos em livros didáticos do ensino superior de Físico-Química, identificaram-se obstáculos de conhecimento geral, verbais, substancialistas e realistas nos livros didáticos selecionados, sendo os conceitos mais associados a esses obstáculos calor, energia e entropia (SOUZA; PASSOS; NETZ, 2023). Isso sugere que essa identificação pode contribuir para entender a persistência de equívocos e erros científicos históricos relacionados aos conceitos da termodinâmica.

Neste trabalho, investigou-se as concepções iniciais e finais dos estudantes dos cursos de Química, Engenharias e áreas afins na disciplina de Físico-Química I do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul em relação aos conceitos de temperatura, calor, energia e entropia, com o objetivo de verificar a existência ou não de concepções que possam ser classificadas como obstáculos epistemológicos e avaliar as possíveis alterações nas concepções dos estudantes após cursarem a referida disciplina.

METODOLOGIA

Esta pesquisa teve uma natureza qualitativa e investigou as concepções de estudantes do Ensino Superior matriculados na disciplina de Físico-Química I-B do Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul durante três semestres (2020/1, 2020/2 e 2021/1), em que as aulas ocorreram de forma virtual, por causa da pandemia de Sars-Cov-2. No decorrer dos três semestres, um total de 43 estudantes responderam ao questionário inicial, enquanto 35 responderam ao questionário final. Essa diferença se deve à diminuição da participação dos estudantes na disciplina ao longo do período pandêmico. O primeiro questionário foi aplicado no primeiro dia de aula; o segundo questionário, antes da última avaliação.

A coleta dos dados foi realizada utilizando a ferramenta Google Formulários, na qual o público-alvo foi solicitado a expressar suas concepções sobre os conceitos de temperatura, calor, energia e entropia. A escolha desses conceitos se justifica pelo fato de serem fundamentais para a disciplina na qual os questionários foram aplicados e por estarem entre as principais dificuldades enfrentadas pelos estudantes em Termodinâmica (BAIN *et al.*, 2014).

Os dados coletados foram tratados por meio da Análise de Conteúdo (AC), seguindo a metodologia proposta por Bardin (2016), que divide a AC em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento, inferência e interpretação dos resultados. Inicialmente, as respostas foram agrupadas com base em semelhanças, por exemplo, todas as respostas que mencionaram “desordem de um sistema” em relação à entropia foram agrupadas. Posteriormente, classificou-se em termos de obstáculos epistemológicos, conforme definidos por Bachelard (1996), ou seja, foi atribuído um obstáculo para cada categoria de respostas agrupadas. As respostas que estavam em conformidade com a literatura foram categorizadas como “noção correta”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentaremos as concepções iniciais e finais dos estudantes, categorizadas em termos de obstáculos epistemológicos. Devido à pandemia do coronavírus, houve uma diminuição progressiva na participação dos estudantes ao longo dos semestres, o que resultou em um número total de respostas abaixo do esperado e na necessidade de criar a categoria “Não respondeu” devido a respostas como “-”, “não sei” e falta de resposta.

É importante notar que algumas das diferenças encontradas entre as concepções iniciais e finais podem ser atribuídas à discrepância no número de estudantes que responderam ao questionário inicial em comparação ao questionário final, bem como ao aumento do número de respostas categorizadas como “Não respondeu” no questionário final.

A Figura 1 traz as concepções iniciais e finais para o conceito de temperatura. Neste conceito, foram identificados os obstáculos substancialista e realista.

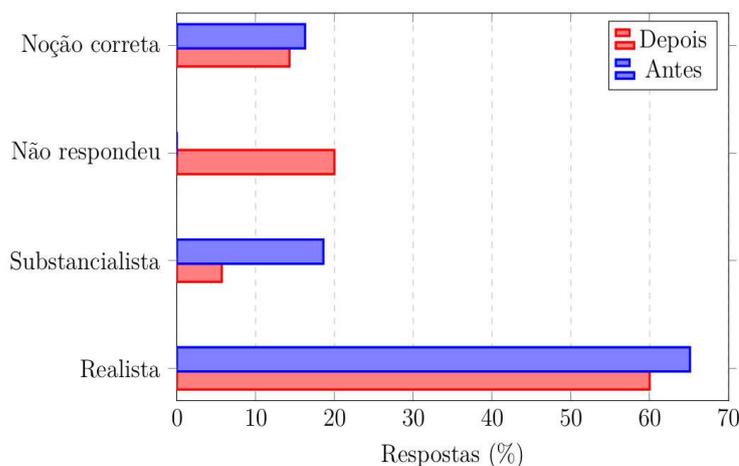


Figura 1: Concepções dos estudantes sobre temperatura.

O conceito de temperatura é majoritariamente associado ao obstáculo realista, onde os estudantes entendem que a temperatura é o “Meio de medir a agitação das moléculas”. O termo “agitação”, neste caso, revela-se impreciso, pois não permite diferenciar entre a agitação resultante do aumento da energia cinética média das moléculas daquela causada por um misturador magnético, por exemplo. Essa concepção pode ser explicada pela imagem comum dos diferentes estados físicos da água, em que o estado gasoso é associado a uma “grande agitação” e o estado sólido a uma agitação mínima. Isso demonstra uma generalização apressada, na qual as definições de energia cinética e translacional não são consideradas, sendo substituídas por uma imagem mais intuitiva.

O obstáculo substancialista foi identificado nas respostas dos estudantes que se basearam na ideia de calor e frio como substâncias, como exemplificado por: “Uma grandeza que mede a quantidade de calor ou frio”. Nesse contexto, a temperatura é vista apenas como a medida de uma quantidade de substância responsável pelo calor ou frio. Por outro lado, o conceito científico foi refletido nas respostas dos estudantes que mencionaram a “Energia cinética média das moléculas” ou fizeram referência à lei zero da termodinâmica, como: “Temperatura é a propriedade que dois corpos em equilíbrio térmico têm em comum.” É possível notar que ao longo do semestre, os estudantes passaram a abandonar concepções mais substancialistas em favor das concepções realistas e, em alguns casos, progrediram das concepções realistas para uma noção correta cientificamente fundamentada.

As respostas dos estudantes em relação ao conceito de calor estão apresentadas na Figura 2, onde se observa a presença dos obstáculos substancialista e realista tanto nas concepções iniciais quanto nas finais.

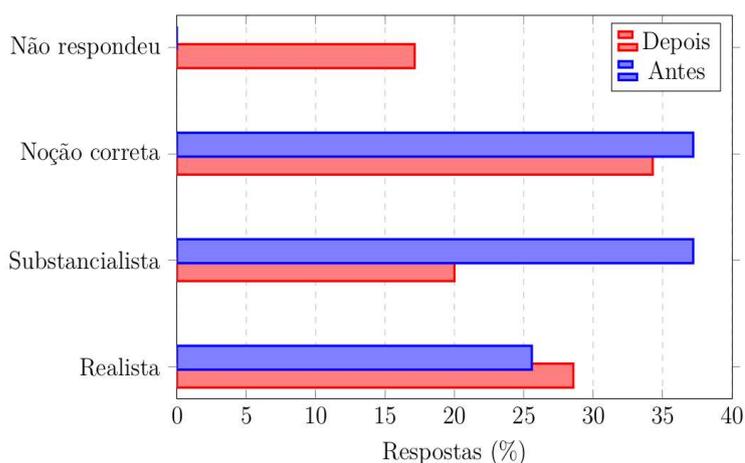


Figura 2: Concepções dos estudantes sobre calor.

O conceito de calor foi mencionado pelos estudantes com a presença dos obstáculos substancialista e realista. No obstáculo substancialista, as concepções dos estudantes indicam uma compreensão do calor como uma substância, como

exemplificado por esta resposta: “calor é uma forma de energia”. Nesse tipo de resposta, percebe-se que o calor é interpretado como uma forma de energia em si, em vez de ser visto como a transferência de energia. Essas concepções podem refletir vestígios da antiga teoria do fluido calórico, uma substância proposta no século XVIII para explicar a existência do calor e do fogo. Doige e Day (2012) sugerem que o uso do termo “calor” como substantivo pode reforçar ideias substancialistas em relação ao calor. Portanto, esses autores recomendam evitar expressões como “perda de calor”, “adição de calor”, “fluxo de calor” e outras, sugerindo, em seu lugar, a utilização do termo “calor” como verbo, advérbio ou adjetivo.

As concepções categorizadas como obstáculo realista indicam uma ideia de troca (como um escambo), como pode ser observado nesta resposta: “Calor é a quantidade de temperatura trocada entre um sistema e outro.” No entanto, o que realmente ocorre não é uma troca entre sistemas, mas sim uma transferência de energia do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura. A palavra “troca” é frequentemente usada em muitos livros didáticos, e aqui surge uma questão de tradução que pode ser enganosa. As palavras “exchange” e “replacement” são ambas traduzidas como “troca” em nossa língua, mas enquanto a primeira expressa realmente uma transferência, a segunda significa um escambo. Ao traduzir, essas nuances se perdem, pois a palavra “troca” possui um forte significado comercial em nossa cultura, o que pode levar muitos estudantes a interpretar essa troca não como uma transferência, mas como um verdadeiro escambo.

Ao final da disciplina, foi observada uma diminuição nas respostas substancialistas, um aumento nas concepções realistas e uma ligeira diminuição no uso do conceito apropriado. Esse comportamento pode ser explicado pela transição daqueles que tinham concepções substancialistas para as realistas, o que indica uma maior persistência de obstáculos para este conceito. Bachelard (2006) propõe o conceito de perfil epistemológico, no qual um conceito é permeado por diferentes filosofias, variando desde as mais ingênuas e do senso comum até as mais racionalistas e abstratas. Todos possuem partes dessas diferentes filosofias em seu entendimento de um conceito, com algumas tendo mais relevância do que outras (dependendo de cada indivíduo). À medida que os indivíduos aprendem noções mais racionalistas, eles migram de uma filosofia para outra, que passa a predominar, embora as outras ainda estejam presentes. Pazinato *et al.* (2021) observaram essa progressão nos conceitos entre estudantes do Ensino Médio por meio de uma sequência didática sobre ligações químicas.

As concepções iniciais e finais relacionadas ao conceito de energia estão representadas na Figura 3, em que se destacaram os obstáculos do conhecimento geral, além dos obstáculos realista e substancialista.

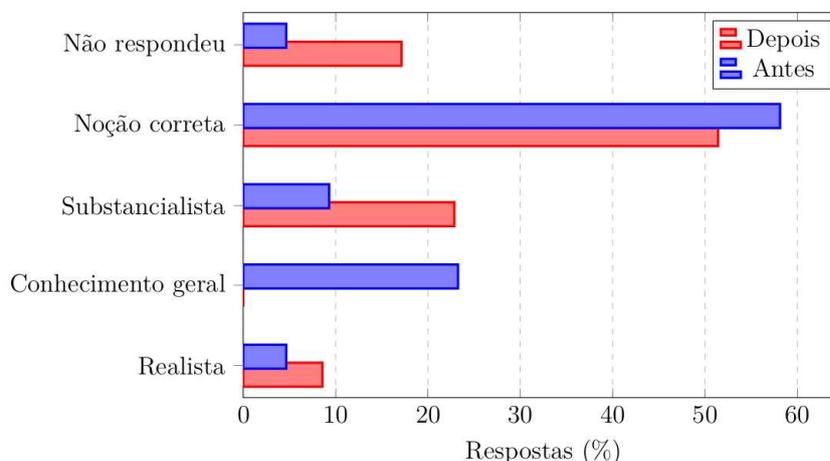


Figura 3: Concepções dos estudantes sobre energia.

No conceito de energia, além dos obstáculos substancialista e realista, foi identificado um terceiro obstáculo, o do conhecimento geral. Esse obstáculo está relacionado a descrições vagas e imprecisas que oferecem praticamente nenhuma informação específica, tornando-o aplicável a quase qualquer coisa. Por exemplo, duas respostas de estudantes exemplificam esse obstáculo: “Capacidade de fazer algo.” e “Algo que está em trabalho.” Essas noções vagas e genéricas não fornecem uma compreensão adequada do conceito de energia. No caso das concepções substancialistas, a energia é associada a uma substância, como se fosse um combustível disponível para a matéria gastar, e essa concepção foi encontrada de forma literal em uma resposta que afirmava: “O ‘combustível’ que a matéria recebe ou perde na realização de uma atividade”. Macrie-Shuck e Talanquer (2020) também observaram essa concepção entre os estudantes, indicando que o termo “energia” é frequentemente utilizado por eles em seu sentido do senso comum, muitas vezes baseado em metáforas ligadas à experiência cotidiana.

As concepções realistas, por outro lado, resultam em confusões com outros fenômenos que possuem imagens concretas ou simplificadas, como exemplificado por esta resposta: “salto ou trânsito de elétrons pelos átomos”, onde ocorre uma confusão entre a definição de energia e a descrição de transições eletrônicas realizadas pelos elétrons. Observou-se também uma grande incidência do uso do conceito correto, ou seja, a capacidade de um sistema de realizar trabalho. Isso pode ser explicado pelo fato de que essa definição é frequentemente ensinada em outras disciplinas, como Física, e pode ter sido apenas memorizada pelos estudantes. Uma indicação de que outras disciplinas interferem nessa compreensão é o fato de que, segundo Alomá e Malaver (2007), a maioria dos livros de Termodinâmica não fornece uma definição clara de energia. Ao final da disciplina, as concepções do conhecimento geral não foram observadas, mas houve um aumento nas concepções substancialistas e realistas, sugerindo uma migração desse obstáculo para essas outras categorias.

A Figura 4 ilustra as concepções iniciais e finais dos estudantes em relação ao conceito de entropia, nas quais foram observados os obstáculos do conhecimento geral, substancialista e realista em suas respostas.

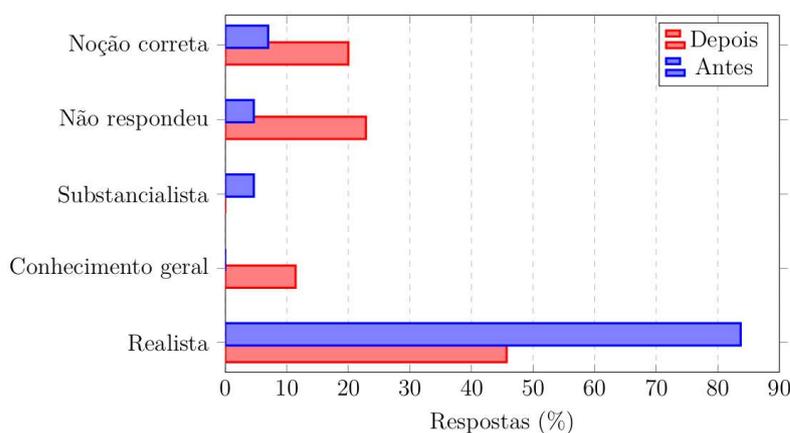


Figura 4: concepções dos estudantes sobre entropia

No que diz respeito ao conceito de entropia, observa-se uma predominância do obstáculo realista nas concepções iniciais dos estudantes, nos quais a entropia é compreendida como “desordem de um sistema”. Como destacado por Lambert (1999), essa concepção de entropia como desordem é equivocada, pois implica uma atribuição de ordem ou desordem com base na perspectiva humana. Coisas como cartas embaralhadas, roupas desorganizadas em um quarto ou uma mistura gasosa em dois recipientes conectados representam desordem apenas do ponto de vista da visão humana. Essa interpretação é uma metáfora simplificada e uma generalização apressada. A verdadeira entropia está relacionada à dissipação de adenosina trifosfato (ATP) nos músculos, que ocorre ao embaralhar cartas ou desorganizar um quarto, e na remoção da barreira que conecta os dois recipientes, permitindo que as moléculas gasosas ocupem espaços previamente inacessíveis. Portanto, essa concepção inicial dos estudantes não reflete a compreensão científica adequada do conceito de entropia.

O obstáculo do conhecimento geral emergiu nas concepções finais dos estudantes, quando alguns responderam apontando equações ensinadas na disciplina, como exemplificado por esta resposta: “calor infinitesimal dividido por temperatura”. Nesse contexto, os estudantes demonstraram uma compreensão baseada em fórmulas específicas, em vez de uma compreensão mais ampla do conceito de entropia. No entanto, para este conceito, houve uma superação significativa do obstáculo, e pode-se notar que alguns estudantes migraram para o conhecimento geral ou diretamente para o uso do conceito científico aceito.

Em resumo, a concepção inicial de entropia como “desordem de um sistema” foi identificada como um obstáculo realista. Ao final da disciplina, algumas respostas dos estudantes refletiram o obstáculo do conhecimento geral, indicando

uma compreensão baseada em fórmulas específicas, mas também houve uma superação significativa desse obstáculo em direção ao uso do conceito científico adequado.

CONCLUSÃO

As concepções iniciais e finais dos estudantes em um curso de Físico-Química I foram examinadas por meio da aplicação de questionários no início e no final da disciplina, em três semestres diferentes durante a pandemia de coronavírus. As respostas dos estudantes foram categorizadas por meio da Análise de Conteúdo, com base na filosofia de Gaston Bachelard. Os conceitos investigados neste estudo foram temperatura, calor, energia e entropia, e foram identificados os seguintes obstáculos: substancialista, realista e conhecimento geral. O obstáculo do conhecimento geral foi observado apenas em dois conceitos: energia (nas concepções iniciais) e entropia (nas concepções finais). Todos os conceitos estudados apresentaram obstáculos substancialistas e realistas tanto nas concepções iniciais quanto nas finais.

Para os conceitos de temperatura, calor e entropia, foi observada uma diminuição nas respostas substancialistas nas concepções finais, o que pode indicar que os estudantes abandonaram essas concepções em favor de outras, embora não necessariamente da noção correta, como nos conceitos de calor e energia, em que houve aumento de concepções realistas ao final. Foi notada uma presença frequente do obstáculo realista, que experimentou uma redução nas concepções finais, mas apenas no conceito de entropia.

Essas mudanças nas concepções dos estudantes foram explicadas com base na filosofia de Gaston Bachelard, na qual os obstáculos epistemológicos são considerados barreiras ao conhecimento científico, causando lentidões e conflitos que impedem ou retardam a adoção das ideias científicas corretas. Além disso, as mudanças de diferentes zonas filosóficas ao longo do tempo estão de acordo com a noção de perfil epistemológico, na qual o indivíduo gradualmente adere a filosofias cada vez mais racionais e abstratas, sem eliminar totalmente as influências das ideias do senso comum.

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.

ATARÉS, L. *et al.* Helping Pregraduate Students Reach Deep Understanding of the Second Law of Thermodynamics. **Education Sciences**, v. 11, n. 9, p. 539, set. 2021.



BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico**. Tradução: Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BACHELARD, G. **A Epistemologia**. Tradução: Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa: Edições 70, 2006.

BAIN, K. *et al.* A review of research on the teaching and learning of thermodynamics at the university level. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 15, n. 3, p. 320–335, 2014.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Edições 70, 2016.

BATTINO, R.; WILLIAMSON, A. G.; WOOD, S. E. On the importance of ideality. **Journal of Chemical Education**, v. 78, n. 10, p. 1364, 2001.

BULCÃO, M.; BARBOSA, E. **Bachelard: Pedagogia da razão, pedagogia da imaginação**. 2.ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

DOIGE, C. A.; DAY, T. A Typology of Undergraduate Textbook Definitions of ‘Heat’ across Science Disciplines. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 5, p. 677–700, 2012.

FINKENSTAEDT-QUINN, S. *et al.* Capturing student conceptions of thermodynamics and kinetics using writing. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 21, n. 3, p. 922–939, 2020.

HAGLUND, J.; ANDERSSON, S.; ELMGREN, M. Language aspects of engineering students’ view of entropy. **Chemistry Education Research and Practice**, 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**, v. 76, n. 10, p. 1385, 1999.

MACRIE-SHUCK, M.; TALANQUER, V. Exploring Students’ Explanations of Energy Transfer and Transformation. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 12, p. 4225–4234, 2020.

PAZINATO, M. S. *et al.* Epistemological Profile of Chemical Bonding: Evaluation of Knowledge Construction in High School. **Journal of Chemical Education**, v. 98, n. 2, p. 307–318, 2021.

SOUZA, J. D.; PASSOS, C. G.; NETZ, P. A. Exploring Bachelard’s epistemological obstacles in physical chemistry textbooks: the case of thermodynamics concepts. **Acta Scientiae**, v. 25, n. 5, p. 30-58, 2023.

ÜLTAY, E.; DURUKAN, Ü. G.; ÜLTAY, N. Determination of Prospective Science Teachers’ Level of Knowledge about Thermodynamics and Their Reasoning with Daily Life Examples. **Journal of Science Learning**, v. 4, n. 3, p. 298–308, 2021.