



SEMÂNTICA ACERCA DO CONCEITO DE CALOR EM LIVROS DE GRADUAÇÕES: REFLEXÕES ÀS ADVERSIDADES INSTRUACIONAIS

Semantics about the concept of heat in undergraduate textbooks: reflections on instructional adversities

Osmar Henrique Moura da Silva [osmarh@uel.br]
Departamento de Física
Universidade Estadual de Londrina
Rod. Celso Garcia Cid, km 30, Londrina, Paraná, Brasil

Resumo

Alguns estudos na literatura sobre educação científica destacaram ambiguidades relacionadas ao conceito de calor em livros didáticos universitários. Essa questão contribui para a dificuldade de ensinar esse conceito físico e, por vezes, faz com que ele seja subestimado. Para resolver esse problema, este estudo apresenta um conjunto de ambiguidades conceituais específicas por meio da análise de 20 livros didáticos de física usados em cursos de graduação. O objetivo é examinar construtos divergentes fornecidos pelos autores acerca de questões linguísticas relacionadas à definição, simbolização e aplicação do conceito de calor. A análise de conteúdo dos livros didáticos selecionados revela que as dificuldades são em parte conceituais, em parte linguísticas e, muitas vezes, ambas, constituindo uma barreira educacional persistente. Os livros didáticos analisados são edições recentes de obras em português, a maioria das quais são traduções de outros idiomas. Em alguns casos foram feitas comparações com edições mais antigas dos mesmos autores para destacar as mudanças relacionadas ao conceito científico em questão. Este estudo amplia significativamente as pesquisas anteriores sobre a semântica do conteúdo dos livros didáticos ao discutir as particularidades do conceito de calor em uma extensa coleção de livros. As reflexões decorrentes deste estudo podem contribuir para subsidiar as atuações de ensino de professores da disciplina de Física II da grade curricular de diversos cursos de graduação.

Palavras-Chave: ambiguidade lexical; livros didáticos universitários; subsídios educacionais; formação de professores.

Abstract

Some studies in the literature on science education have pointed to ambiguities related to the concept of heat in university textbooks. This situation is one of the reasons why this physical concept is one of the most difficult to teach and is sometimes underestimated. In view of this problem, a particular set of conceptual ambiguities is presented here by analyzing 20 physics textbooks used by teachers of undergraduate courses, with the aim of examining the different constructs provided by the authors in terms of the linguistic issues they deal with when situating the concept of heat, both in terms of definition and symbolism, and in terms of conceptual application. The content analysis of the sample of books studied allows us to conclude that the difficulties are partly conceptual, partly linguistic, and often both, which constitutes a persistent educational barrier. The books selected are recent editions of many works in Portuguese – most of them translated from other languages – in which certain comparisons have been made, including with some older editions by the same authors, in order to highlight exemplary changes related to the scientific concept under consideration. Finally, there is a relevant contribution to previous studies in this line of investigation of textbooks, related to the semantics of the contents present in them, through a significant extension of the particularities discussed about the concept of heat in view of the expressive collection of books studied, whose reflections should subsidize the teaching actions on the subject Physics II in the curriculum of various undergraduate courses.

Keywords: lexical ambiguity; university textbooks; educational subsidies; teacher training.

INTRODUÇÃO

De modo surpreendente, um estudo conduzido por Lewis e Linn (1994) indicou até mesmo PhDs em Física e Química com dificuldades em explicar a diferença entre calor como energia e temperatura mediante discussão de fenômenos cotidianos relacionados ao calor. Alguns trabalhos mais recentes (Diniz Jr., Silva & Amaral, 2015; Silva & Errobidart, 2019; Rasul, Shahzad, & Iqbal, 2019) ainda observam semelhante e indesejável cenário quanto à compreensão dessa concepção científica. A princípio, o que se pode inferir é que, quando alguns tópicos não são apropriadamente conceituados desde a formação mais básica, tais dificuldades serão passadas adiante ao longo da formação e exercício profissional de graduandos e professores. De acordo com Silva, Laburú e Nardi (2008, p. 385): *“É verdade que não se pode garantir êxito instrucional somente admitindo a condição de dominar o conhecimento que se pretende ensinar, no entanto, é verdade que não se pode ensinar aquilo que não se sabe”*. Em verdade, como apontam algumas pesquisas, essa problemática que envolve ambiguidades conceituais acerca do calor origina-se fortemente em livros didáticos dos anos iniciais de graduações, reais responsáveis para que um quadro assim descrito persista na formação de professores (Gürel & Eryilmaz, 2013, p. 241), mesmo que despercebido ou desprezado, inclusive nos dias de hoje. Acredita-se que tal fato esteja presente por uma tendência observada entre professores e alunos em ter o livro didático como principal fonte de instrução e informação, tido como apoio fundamental e inseparável do currículo de quaisquer disciplinas, desempenhando um papel importante na formação de aprendizagens. E nessa consideração, ressalta Suprpto (2020, p. 53): *“Livros didáticos que expressam um conceito errado confundirão e desenvolverão equívocos dos alunos. Portanto, é importante que livros didáticos sejam devidamente pesquisados”*.

No tocante às ambiguidades em física encontradas nos livros de cursos de graduação, Silva, Laburú e Nardi (2008) caracterizam reflexões qualitativas para auxiliar o professor em sala de aula, sinalizando definições divergentes pelas quais o calor ora é declarado como *“a energia transferida...”*, ora é declarado o calor como *“a transferência de energia”*, e ora explicitado por alguns autores com ambas as definições. Além dessas duas definições, Beretta e Gyftopoulos (2015, p. 021006-1) ainda incluem uma terceira observada em alguns livros universitários, na qual o calor é descrito como uma entre as formas diferentes de energia, relacionada ao movimento desordenado das partículas. Logo, em termodinâmica, esses autores ressaltam que *“o aluno começa a se preocupar porque a noção de calor é menos definida e não tão operacional quanto a de trabalho...”* (e que ele) *sente a ambiguidade e a falta de consistência lógica* (Beretta & Gyftopoulos, 2015, p. 021006-1). Aliás, vários autores já alertaram para essas conceituações distintas que existem sobre calor nos livros didáticos (Castro & Castro, 2015, p. 2; Alomá & Malaver, 2007, p. 392; Brookes, 2006, ps. 39-40). Também avaliando livros nesse contexto, mas particularmente no que diz respeito ao uso da expressão da quantidade de calor¹, Silva e Fernandes (2023) estabelecem discussões quanto às ambiguidades para ambos os lados dessa expressão, cujos apontamentos físicos e matemáticos redirecionam uma atenção pedagógica para: *“1) Não atrelar o símbolo Δ à grandeza Q^2 ; 2) Não se referir ao resultado do produto $mc\Delta T$ como podendo ser representativo único e exclusivamente de uma quantidade de calor Q ”* (Silva & Fernandes, 2023, p. 221013-7). Já Dickerson e Mottmann (2019, p. 6) alertam para o tradicional diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica que há nos livros de graduação, em que o fluxograma torna-se óbvio com validade apenas para ciclos com dois reservatórios de calor, viabilizado assim de modo restrito para o ciclo de Carnot, porém, curiosamente mencionam: *“O que é intrigante é que tal diagrama de fluxo de energia também é apresentado quando ciclos reversíveis diferentes de Carnot estão em discussão”*; gerando má compreensão. Um levantamento da ambiguidade relacionada com os reservatórios de calor desse diagrama existente em livros de graduações segue adiante exibido no Quadro 1. Também em complemento do que se distinguiu acima, e de maneira similar nesse Quadro 1, são ainda estabelecidos levantamentos relativos a outras duas ambiguidades, quais sejam a de que energia térmica ora é tratada como sinônimo de calor, ora assim não seja; e a respeito da *“afirmativa comum, porém, imprecisa, a de que em um processo dissipativo, trabalho é convertido em calor”* (Sears & Salinger, 1978, p. 90-91).

Dos livros indicados no Quadro 1, muitos são edições recentes (ou as últimas que foram lançadas pelos autores), mas, propositalmente, algumas edições mais antigas são citadas a fim de caracterizar determinadas mudanças conceituais quanto às particularidades então elencadas. Como um exemplo nesse sentido, identificam-se alterações conceituais significativas em edições posteriores à 4ª edição de Resnick e Halliday (1984), e que se tornam uma base para reflexão comparativa com o eles então mantiveram até esta edição do livro, cujos detalhes serão mais adiante apresentados. Cabe ainda dizer que, pelo Quadro 1, embora se possa verificar alguma particularidade sem correspondência de classificação com um ou outro livro mencionado, o que ocorreu tanto por razões de imprecisão de identificação quanto pela não

¹ $Q = mc\Delta T$.

² Análises Silva e Fernandes (2023) que, enquanto alguns livros de graduação empregam a simbologia Q , outros empregam ΔQ .

observância de uma identificação durante varredura dos textos, a intenção imediata de caracterizar expressiva divergência de significados entre os autores com tais particularidades vê-se garantida.

Quadro 1 – Levantamento de ambiguidades que envolvem o conceito de calor presentes em livros de graduações.

Particularidade	Ambiguidade provida	Livros didáticos
Definição de calor	É a <u>transferência de energia</u> em virtude de uma diferença de temperaturas	Keller, Gettys e Skove (1999, p. 450); Serway e Jewett Jr. (2017, p. 160); Orear (1981, p. 183); Tipler e Mosca (2019, p. 214); Young e Freedman (2016, p. 211); Zemansky (1978, p. 75)
	É a <u>energia transferida</u> em virtude de uma diferença de temperaturas	McKelvey e Groth (1979, p. 622); Nussenzveig, (2014, p. 217); Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 198); Tipler (1984, p. 399); Keller, Gettys e Skove (1999, p. 449), Serway e Jewett Jr. (2017, p. 160); Chaves (2007, p. 120); Knight (2009, p. 514); Cutnell e Johnson (2016, p. 365); Young e Freedman (2016, p. 212); Tipler e Mosca (2019, p. 600); Zemansky (1978, p. 75)
	É uma forma de energia relacionada ao movimento desordenado/ caótico, energia cinética, das partículas (átomos e/ou moléculas)	Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, p. 193); Eisberg e Lerner (1982, ps. 428); Feynman (1963, p. 14-9); Orear (1981, p. 79)
Simbologia empregada à grandeza quantidade de calor	Q	Sears e Salinger (1978, p. 96); Keller, Gettys e Skove (1999, p. 470); Serway e Jewett Jr. (2017, p. 162); Tipler e Mosca (2019, p. 600); Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 198); Chaves (2007, p. 128); Knight (2009, p. 510); Cutnell e Johnson (2016, p. 365); Young e Fredman (2016, p. 212); Sears e Zemansky (1959, p. 334); Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, p. 199); Zemansky (1978, p. 78)
	ΔQ	Nussenzveig (2014, p. 208); McKelvey e Groth (1979, p. 630); Frish e Timovera (1967, p. 284); Eisberg e Lerner (1982, p. 396); Orear (1981, p. 196); Chaves (2007, p. 126); Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, p. 201); Feynman (1963, p. 44-4)
Ênfase da correspondência do produto $mc\Delta T$	Apenas à Q (ou ΔQ)	Keller, Gettys e Skove (1999); Orear (1981); Chaves (2007); Cutnell e Johnson (2016); Nussensveig (2014); Zemansky (1978, p. 75)
	Igualmente para uma ou mais grandezas como ΔU , ΔE_p , W_e , etc	McKelvey e Groth (1979, p. 628); Serway e Jewett Jr. (2017, p. 163), Tipler e Mosca (2019, p. 600); Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 238); Eisberg e Lerner (1982, p. 406); Young e Freedman (2016, p. 295); Knight (2009, p. 527); Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, ps. 201 e 205)
Diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica (com dois reservatórios de calor)	Contextualizado apenas às máquinas térmicas com ciclo de Carnot	Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 265); Chaves (2007, p. 163); Orear (1981, p. 201); Frish e Timovera (1967, p. 313); Cutnell e Johnson (2016, p. 449); Feynman (1963, p. 44-6)
	Generalizado para máquinas térmicas de quaisquer ciclos termodinâmicos	Sears e Salinger (1978, p. 133); McKelvey e Grotch (1979, p. 742); Tipler e Mosca (2019, p. 638); Serway e Jewett Jr. (2017, p. 201); Nussenzveig (2014, p. 253); Knight (2009, p. 570); Young e Freedman (2016, 314); Keller, Gettys e Skove (1999, p. 258); Resnick e Halliday (1984, p. 258); Sears e Zemansky (1959, p. 417); Eisberg e Lerner (1982, p. 535); Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, p. 210); Zemansky (1978, p. 163)
Energia térmica ou variação da energia térmica	Abordada como sinônimo de calor	Mckervervey e Grotch (1979, p. 623-630); Orear (1981, p. 187); Tipler (1984, p. 485); Sears e Zemansky (1959, p. 332); Knight (2009, ps. 519 e 568); Resnick e Halliday (1984, p. 193) Nussensveig (2014, p. 208); Sears e Zemansky (1959, p. 332); Eisberg e Lerner (1982, ps. 499 e 550); Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, ps. 193 e 225); Feynman (1963, p. 4-9)
	É uma variável de estado, sendo uma parte da energia interna: $E_{int} = E_{tém} + E_{quim} + E_{nuc} + \dots$	Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 197); Knight (2009, ps. 507 e 515); Orear (1981, p. 79); Tipler e Mosca (2019, p. 214); Nussensveig (2014, p. 303)
	Abordada como sinônimo de energia interna	Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 188)
	Não mencionam o termo energia térmica (ou vagamente mencionam sem definição precisa)	Chaves (2007); Serway e Jewett Jr. (2017); Cutnell e Johnson (2016); Young e Freedman (2016); Zemansky (1978)
Em processo dissipativo / força não conservativa (como o atrito)	Trabalho converte-se em calor	Orear (1981, ps. 79 e 183); Eisberg e Lerner (1982, ps. 403-407); Sears e Zemansky (1959, p. 164); Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, p. 202); Feynman (1963, p. 14-9)
	Trabalho converte-se em energia interna	McKelvey e Grotch (1979, p. 627); Sears e Salinger (1978, p. 90-91); Serway e Jewett Jr. (2017, p. 159); Zemansky (1978, p. 152)
	Trabalho converte-se em energia térmica (uma parte da energia interna ou energia do sistema)	Tipler e Mosca (2019, p. 213); Knight (2009, p. 515); Nussensveig (2014, p. 248)

Ademais, o Quadro 1 apresenta um leque amplo e distinto de ambiguidades sobre o conceito de calor encontrados em livros, que serão mais à frente examinados mediante específica análise semântica. Tal levantamento possibilita aprofundar reflexões acerca das dificuldades que rodeiam o processo educacional no que diz respeito a esse conceito fundamental em termodinâmica. Por esse objetivo aqui traçado, a próxima seção encarrega-se de referenciar trabalhos inseridos na linha de pesquisa que se concentra em análises da semântica³ de livros universitários de física. O objetivo dessa fundamentação é nortear as reflexões analíticas, a fim de contribuir para a melhoria da conscientização dos professores de Física acerca das adversidades envolvidas no presente contexto. Desse modo, espera-se contribuir com subsídios às direções de suas atuações de ensino.

REFERENCIAIS QUE EXAMINAM DIFICULDADES LINGÜÍSTICAS DE CONCEITOS FÍSICOS EM LIVROS DE GRADUAÇÕES E METODOLOGIA DO ESTUDO

No âmbito instrucional, são quatro as causas de equívocos conceituais, conforme detalha Suprpto (2020, p. 50): alunos; professores; materiais didáticos ou literatura; e contexto e métodos de ensino. Todavia, enquanto os últimos se destinam a estudar a multimodalidade representacional de transmitir as discussões estabelecidas pelos penúltimos, equívocos e ambiguidades conceituais presentes em materiais didáticos, principalmente livros, desencadeiam prejuízos em qualquer método educacional, independente de quão bom seja o professor ou aluno envolvido. Coincidentemente, o físico e ganhador de prêmio Nobel Richard Feynman – ele próprio um autor de livros didáticos – chegou a fazer uma observação interessante de que muitos livros disponíveis e aceitos no mundo acadêmico por vezes dizem algo inútil, confuso, vago, errôneo ou apenas parcialmente correto (Suprpto, 2020, p. 52).

A análise de livros didáticos é um campo de pesquisa estabelecido. No entanto, dentro da linha de investigação concentrada àqueles universitários de física e limitada à semântica dos conteúdos neles presentes, destacam-se os seguintes estudos:

- Williams (1999) argumentou que uma razão pela qual a introdução à física universitária permanece dificultosa é a maneira como a linguagem é empregada em tais cursos. A fim de observar esse fato, fez uma análise do tratamento dado às leis do movimento de Newton, entre outros termos, presentes em cinco livros introdutórios bem conhecidos, o que acabou por revelar questões problemáticas de linguagem. O autor apontou ambiguidades semânticas em declarações relacionadas às leis de Newton, além do fato de que alguns termos usados nos livros didáticos careciam de precisão (Williams, 1999). Na medida em que termos com significados técnicos eram apresentados de forma inconsistente, como peso, força, tensão e massa, foram feitas as seguintes sugestões de melhoria da linguagem para a instrução: chegar ao acordo sobre uma declaração adequada de princípios importantes; chegar a um acordo sobre as definições de palavras comuns com as quais os especialistas atribuem significados precisos; concordar entre as disciplinas sobre os significados das palavras compartilhadas; adotar livros didáticos cuidadosos com a semântica; aplicar precisão no uso da linguagem em sala de aula; enfatizar a precisão da definição. Já com restrição ao conceito de peso, Taipu, Rudge e Schuster (2015, p. 010117-1) reforçam o entendimento dessa dificuldade de sua discussão com alunos por intermédio das ambiguidades relativas à definição vinculante em uma amostra de 20 livros de física dos anos iniciais de cursos de graduação, publicados entre 1995 e 2013. Os resultados indicam que questões relacionadas à linguagem, como usos diferentes, inconsistentes ou ambíguos dos termos “*peso*, ‘*peso aparente*’ e ‘*ausência de peso*’”, prevalecem fortemente nos livros didáticos (Taipu, Rudge & Schuster, 2015, p. 010117-1). Em continuidade, e na consideração de que “*o uso do mesmo nome para conceitos diferentes leva a muita confusão, especialmente em situações de aceleração, e a noções conflitantes de ‘ausência de peso’ em casos de queda livre*”, Taipu, Schuster e Rudge (2017, p. 010130-1) compartilham uma abordagem que auxilia a evitar totalmente o termo peso ao ensinar a física de cada situação e, em seguida, ensinam explicitamente as ambiguidades da respectiva linguagem;

- Para o conceito de energia, Givry e Pantidos (2015) examinaram as limitações e ambiguidades que ocorrem em distintos modos de representação que há em livros didáticos de cursos de graduação. Ibáñez e Ramos (2004) investigaram como o princípio de conservação de energia encontrava-se contextualizado em capítulos de hidrodinâmica. Para tal, selecionaram dez livros de física usados em cursos de engenharias que continham ambiguidades relacionadas à pressão e descreveram uma série de deficiências no uso de conceitos de energia em dinâmica dos fluidos;

- Em óptica geométrica, Gürel e Erylmaz (2013) estabeleceram um método de análise documental quanto ao “olhar do observador”, direcionado a dez livros didáticos de física (nove deles de

³ Ao longo do presente artigo, assim como fazem Taipu, Rudge e Schuster (2015, p. 0100117-1), “*questões linguísticas*’ e o termo ‘*semântica*’ serão usados indistintamente para se referir às questões que envolvem o significado dos termos”.

graduações), cujas reflexões abordaram a constatação de que “o papel do olho do observador mostrou-se ignorado ou não enfatizado especificamente na formação de imagens e no processo de observação” (ibid., p. 241);

- Em termodinâmica, Beretta e Gyftopoulos (2015) partiram de algumas definições divergentes sobre o calor em livros universitários e promoveram uma discussão da interação térmica por ilustração de efeitos em sistemas com análises de gráficos de energia versus entropia, compreendendo que “uma interação de trabalho é definida pela condição de que seu resultado seja uma troca líquida de energia entre os sistemas em interação, sem qualquer variação de entropia” e que, distintamente, “uma interação térmica é uma interação especial sem trabalho (com variação de entropia)” (Beretta & Gyftopoulos, 2015, p. 021006-7). Estes autores defenderam que calor e trabalho são mais bem distinguidos pela compreensão conjunta das primeira e segunda leis da termodinâmica, e que “uma definição satisfatória de calor depende da declaração dessas leis” (Beretta & Gyftopoulos, 2015, p. 021006-6). Como mencionado na introdução, algumas ambiguidades e equívocos relacionados com o conceito de calor em livros universitários são abordados nos estudos de Silva e Fernandes (2023), Dickerson e Mottmann (2019), Silva, Laburú e Nardi (2008), e Brookes (2006).

Com base nos cinco últimos trabalhos citados e, como já dito, ampliando mais particularidades que envolvem a noção de calor bem como a quantia de livros examinados, a próxima subseção se encarrega de discutir a elaboração de um instrumento analítico para ser empregado aos dados distinguidos no Quadro 1. É pertinente frisar, quanto a um fator determinante para análise semântica, que considerável parte da seleção então estabelecida dos livros didáticos constitui-se de traduções de obras originalmente escritas em língua estrangeira, preponderantemente a inglesa, não havendo aqui comprometimento algum com tais traduções. Entretanto, a literatura proveniente de artigos de língua inglesa, acima mencionada, ampara a interpretação semântica que prospera na análise de conteúdo mais adiante discutida, mediante relevantes críticas envolvendo o conceito de calor descritas na língua original dos livros estrangeiros de graduações, logo, convergindo com as do presente estudo.

Metodologia e instrumento analítico

Uma técnica aceita de análise de conteúdo é aquela em que o pesquisador aplica um questionário ao material analisado, caso aqui dos livros didáticos, em relação ao conteúdo de interesse (Ibáñez & Ramos, 2004, p. 273), que consiste nas particularidades elencadas no Quadro 1. Portanto, para iniciar a investigação das dificuldades linguísticas que circundam o conceito de calor, os 20 livros mencionados foram avaliados por intermédio de um questionário específico envolvendo algumas preocupações quanto à definição, simbologia e aplicação, assim delimitado àquelas particularidades ora descritas, sendo: 1) Qual é a definição de calor?; 2) Qual a simbologia usual à grandeza quantidade de calor? 3) A que corresponde o produto $mc\Delta T$?; 4) O fato de dois únicos reservatórios de calor indicados no clássico diagrama de fluxo de uma máquina térmica permitem que ele seja genérico ou não? 5) Energia térmica refere-se ao calor ou não? 6) Mediante um atrito de dois materiais e que implica no aquecimento de ambos, trabalho converte-se em calor?

Ao passo que o Quadro 1 configura uma lista de verificação, similar a um *checklist*, como forma de resposta superficial e limitada a esse questionário, parte-se desse enquadramento a fim de estabelecer determinados esclarecimentos em termos semânticos e com objetivada qualificação por intermédio de um instrumento analítico, fundamentado em Brookes (2006).

A princípio, tem-se uma fonte original de preocupações, inspirada em Halliday e Martin⁴ (apud Brookes, 2006, p. 35), com características gramaticais da escrita científica e como a gramática especializada aumenta a carga de processamento da linguagem quando usada de forma descuidada. Segundo Brookes (2006, p. 32): “Os cientistas não empregam esses padrões gramaticais conscientemente e, portanto, é fácil usá-los indevidamente. Esse uso indevido pode gerar debate científico pela escrita extremamente difícil de compreender”. No caso, um argumento científico pode ser facilitado por um dispositivo gramatical chamado de metáfora gramatical⁵, em que uma classe gramatical é substituída por outra, como a substituição de um verbo por um substantivo ou vice-versa. Esse processo é definido como nominalização (Brookes, 2006, p. 33), reconhecido como a classe gramatical mais comum na ciência, e uma vez usada com cuidado, deriva uma estrutura que constitui a espinha dorsal da escrita e do discurso científico. Discutindo analiticamente uma adequada e uma inadequada nominalização, este autor apresenta dois trechos da 6ª edição de um popular livro universitário de física, abaixo indicado:

⁴ Obra intitulada “Writing Science: Literacy and Discourse Power”, de M. A. K. Halliday e J. R. Martin.

⁵ “A metáfora gramatical é diferente da metáfora conceitual. A metáfora conceitual envolve uma comparação entre dois domínios conceituais diferentes, a metáfora gramatical envolve a substituição de uma classe gramatical por outra” (BROOKES, 2006, p. 32).

- Uso cuidadoso de nominalização. Exemplo: “Quando a patinadora no gelo empurra a si mesma para longe de uma grade, há uma força (F) que a grade exerce sobre ela...”. Isto foi seguido depois por frases como: “Aqui a energia é transferida internamente... por meio da força F ” e “Queremos relacionar a força externa F com esta transferência de energia interna” (Halliday et al. apud Brookes, 2006, p. 33). Segundo Brookes (2006, p. 33), os autores Halliday et al. iniciam por descrever um processo (já familiar) no qual uma patinadora empurra um corrimão, o que significa que o corrimão exerce uma equivalente força contrária sobre ela. Pela segunda frase, nesse processo em que há *energia transferida internamente* tem-se o emprego substitutivo da “força F ” (força externa), grupo nominal que se refere ao processo pelo qual a grade exerce uma força sobre a patinadora. Com a terceira frase, fica acentuada a intenção de Halliday et al. em relacionar os dois processos entre si com substituição de ambos os processos pelos grupos nominais: “força externa” e “transferência interna de energia”.
- Uso inadequado de nominalização, pela possibilidade de resultar em uma gramática confusa. Exemplo: “As amplitudes de vibração dos átomos e elétrons do metal na extremidade do atizador no fogo tornam-se relativamente grandes devido à alta temperatura do seu ambiente” (Halliday et al. apud Brookes, 2006, p. 34). Essa frase é analisada por Brookes mediante os três problemas possíveis mais importantes devido ao uso de grupos nominais extremamente grandes, que são a densidade lexical, a ambiguidade lexical e a descontinuidade lexical. Quanto aos detalhes e análises nesse sentido, tem-se:

“1. A densidade lexical refere-se ao número de termos técnicos (com definições potencialmente especializadas) por frase. Ao usar um grupo de substantivos, essa densidade invariavelmente aumenta. Por exemplo, ‘... amplitudes de vibração dos átomos e elétrons do metal na ponta do fogo do atizador...’ contém sete palavras que podem ter significados e implicações especializados dos quais o leitor pode ou não estar ciente. Halliday e Martin estimam uma densidade lexical média de cerca de quatro por frase normal, falada ou escrita; 2. Ambiguidade lexical refere-se a um termo mal nomeado gerando ambiguidade na estrutura causal do argumento resultante da gramática da frase. A separação da frase em ‘[um grande grupo nominal] torna-se relativamente um grande [grupo verbal] por causa de ‘outro grande grupo nominal]’, e contém uma série de ambiguidades para um leitor ingênuo. Por exemplo, qual é o ambiente de quê? O ambiente é composto pelos átomos circundantes do atizador ou pelo próprio fogo? ‘A temperatura’ é a causa ou ‘seu ambiente’?; 3. Uma extensão da ambiguidade lexical é a descontinuidade lexical. Frequentemente, quando um grupo nominal é substituído por um processo complicado, o leitor tem que preencher os detalhes faltantes que são omitidos pela substituição. São detalhes que somente alguém que seja especialista em domínio poderia preencher. Por exemplo, ao se referir à ‘...alta temperatura do seu ambiente’ como causa, os autores omitem o processo complexo pelo qual as moléculas do ar e os íons em movimento mais rápido no fogo colidem com os átomos do metal, aumentando assim as amplitudes de vibração dos átomos e elétrons no metal...” (Brookes, 2006, p. 34).

Considerando isso, o primeiro ponto preocupante dos físicos é a precisão lexical, sendo maior quanto mais claro um termo encontra-se definido, de modo a evitar confusão pelo esforço de remover estruturas figurativas desnecessárias (por exemplo, metáforas) da linguagem. Brookes (2006, p. 36), ao analisar alguns trechos de livros de física, propõe “*ir além da precisão lexical para investigar quais imagens estão presentes na linguagem que os físicos usam e também como o significado lexical interage com a função gramatical para criar significado, tanto literal quanto figurativo*”, abordando três aspectos do significado: 1) precisão lexical, 2) imagens, e 3) função gramatical.

Quando um termo técnico possui um significado distinto daquele mesmo termo utilizado no cotidiano, há o problema da confusão entre o significado coloquial e o uso especializado em física (Williams, 1999). Exemplificam McDermott et al. (apud Brookes, 2006, p. 36) o fato de alunos terem dificuldades linguísticas com o conceito de “*tensão em uma corda*”, ao reconhecer que “*autores de livros não estão muito focados na imagem de uma mente sugerida pelo uso da preposição ‘em’, transmitindo algum desconforto com esse modo de expressar quando falam da ‘sensação vaga e indiferenciada de tensão interna quanto externa à corda’*”. Igualmente para a noção dos alunos sobre força, como sendo uma propriedade do objeto em vez de uma interação entre dois objetos, que pode ser encorajada por certas imagens invocadas na linguagem dos físicos sobre força. Frases presentes nos livros como “*a força atua...*”, ou “*a força puxa...*”, sugerem que uma força é a executora da ação (Touger apud Brookes, 2006, p. 38), uma situação clara de identificação com conexão entre a função gramatical (usando a força como

substantivo concreto, uma coisa ou pessoa) e a imagem (a força poderia ser interpretada como “a executora da ação e não a ação em si”).

Configurando as descrições acima em um instrumento analítico para lidar com questões linguísticas, vale ressaltar que, neste estudo, não se intenciona abordar imagens (quanto ao aspecto comparativo do significado dos termos ou frases), no sentido de que isto envolve significados metafóricos difusos previamente absorvidos ou encontrados em alunos, e que caracterizaria análises das dificuldades com palavras usadas em definições específicas que diferem daquelas usadas no cotidiano. A razão para isso está em reconhecer que uma abordagem de imagens seria de preocupação prioritária caso não existissem problemas semânticos na linguagem de natureza científica entre os próprios (autores de) livros didáticos, pois estes problemas não deveriam existir a princípio em termos de precisão da linguagem, mas que assim não ocorre.

Todavia, enquanto o instrumento descrito pode ser melhor adaptado em análises de comunicações verbais (orais ou escritas), o que é o caso dos enunciados em livros didáticos, tem-se de certo modo limitada uma avaliação por nominalização direcionada à distinta comunicação via representação figurativa ou diagramática, peculiaridade presente na quarta questão elencada desta análise de conteúdo com demanda de um acréscimo interpretativo em termos semióticos. Particularmente aí, caracterizar-se-ão interpretações das representações simbólicas que contemplam o visual como plano de expressão. Segundo Bardin (1977, p. 31), “a análise de conteúdo é um conjunto de técnicas de análises das comunicações”, constituindo-se um instrumento marcado “por um leque de apetrechos” ou “por uma grande disparidade de formas e adaptável a um campo de aplicação muito vasto: as comunicações”. E nessa perspectiva bardiniana, ressaltam Guimarães e Paula (2020, p. 683), coexistem vários tipos de técnicas que podem ser escolhidas pelos pesquisadores de acordo com o propósito de suas pesquisas.

Seguem, na próxima seção, em consonância com o propósito deste trabalho, análises restritas às questões da linguagem utilizada pelos autores de livros didáticos quando tratam do conceito de calor, tanto em termos de definição e simbologia, quanto de aplicação conceitual.

ANÁLISES DOS DADOS

Estabelecem-se aqui análises de esclarecimentos conflitantes relacionados ao conjunto das seis particularidades então vinculadas com a concepção científica de calor que há na seleção de livros didáticos de graduações, exibida no Quadro 1. Para isso, cada particularidade segue elencada de modo individual pelo questionamento situado nesta análise de conteúdo, por meio da qual se faz um recorte de comentários conflitantes de alguns autores para representar determinada classificação dos demais autores no Quadro 1, objetivando indicar problemas de ordem linguística ou conceitual naquela particularidade. Os grifos que adiante seguirão em falas de autores de livros são aqui propositadamente postos na intenção de subsidiar a análise. Compete ressaltar que esta análise de conteúdo, por assim ser, consiste de menção significativa de citações diretas dos autores de livros a fim de intercalar contrastes de entendimentos.

Qual é a definição de calor?

Pela amostra de livros, puderam-se agrupar pelo menos três definições coexistindo entre os autores⁶: 1) É a transferência de energia em virtude de uma diferença de temperaturas; 2) É a energia transferida em virtude de uma diferença de temperatura; 3) É uma forma de energia relacionada ao movimento desordenado/caótico, do tipo energia cinética, das partículas (átomos /ou moléculas). No intuito de situar a barreira educacional perante tal ambiguidade linguística, pode-se avaliar o grau da dificuldade de reflexão, em termos de linguagem conceitual consistente, a partir de uma questão aparentemente trivial levantada por Young e Freedman (2016, p. 405)⁷: “Não é correto se afirmar que um corpo tem certa quantidade de calor, embora o seja dizer que este corpo transferiu calor para outro. Como é possível um corpo fornecer algo que não tem?”.

Alguns autores são enfáticos em explicitar a definição de calor como um método de transferência de energia, ao mesmo tempo em que se contentam em aceitar outro significado, também como substantivo, de o calor como uma energia (em trânsito) que entra ou sai de um sistema: ou seja, usam as duas primeiras definições acima concomitantemente, acentuando que o calor nunca se encontra em um sistema (Keller, Gettys & Skove, 1999; Serway & Jewett Jr, 2017; Tipler & Mosca, 2019; Young & Freedman, 2016). O

⁶ Não se abordarão aqui reflexões que procedem da definição quantitativa de calor em função do trabalho, qual seja, $Q \equiv W - W_{ad}$. (Sears & Salinger, 1978, p. 87), comumente introduzida nos livros mais avançados de Termodinâmica.

⁷ Similar questão é vista em edição mais antiga de Sears, Zemansky e Young (1984, p. 405).

problema instrucional se vale da situação na qual a transferência (que é o método definido de calor) de uma entidade (definida de calor)⁸ implica a movimentação dessa entidade de uma região de armazenamento para outra, e que tal entidade (calor), enfim, não pode ali ser armazenada, o que faz da expressão “transferência de calor” um oxímoro. Diante disso, o subsídio pedagógico de enfatizar que o calor não é uma energia armazenada, em contraste com a sua antiga utilização no âmbito da extinta teoria calórica, vê-se na seguinte precisão lexical sugerida por Sears, Zemansky e Young (1984, p. 347): “*Seria muito melhor usar a palavra ‘calor’ apenas em referência a um método de transferência de energia e, quando essa transferência se completasse, referir-se à quantidade total de energia assim transmitida*”. Contudo, na última edição do mesmo livro, ainda é lamentável deparar-se, lendo nas entrelinhas, com um exemplar comentário inconsistente, e com potencial de induzir outro entendimento de calor como substantivo, agora no sentido indesejado e erradicado de “substância presente no corpo”: “*Caso esses mecanismos falhem e o calor não possa ser removido do corpo do estudante, durante quanto tempo ele poderia correr antes que ocorresse um dano irreversível a seu corpo?*” (Young & Freedman, 2016, p. 233).

Portanto, a questão levantada no penúltimo parágrafo vê-se mais bem respondida, em termos de precisão lexical, quando calor é categorizado como verbo, pois calor é um método de transferência e, assim, calor transfere energia, o que difere de uma resposta relativamente não trivial por limitar-se na definição de calor como substantivo, do tipo energia em trânsito da segunda definição. Aliás, a solução da questão, pedagogicamente falando, torna-se ainda mais confusa ao se orientar por uma linguagem escrita, cuja leitura favoreça a outra concepção de calor como substantivo, assemelhando-se a uma função de estado e que integra a energia interna. Caso este da terceira definição mencionada, em que Richard Feynman⁹ define o calor a uma das várias formas diferentes de energia, relacionadas ao movimento oscilante de partículas presas umas com as outras, uma forma de energia que na verdade é apenas energia cinética. Em suas palavras: “O movimento oscilante é o que representamos como calor: quando aumentamos a temperatura, aumentamos o movimento” (Feynman, 1963, p. 1-4); “... embora o gelo tenha uma forma cristalina ‘rígida’, a sua temperatura pode mudar – o gelo tem calor” (ibid., p. 1-6); “Isso acelera a molécula que chega e resulta na geração de calor. Então, quando elas (as moléculas) vão embora, elas tiram o calor; quando voltam, geram calor” (ibid., p. 1-8); “Não notamos o movimento dos átomos, que produz calor, e por isso não o chamamos de energia cinética, mas o calor é principalmente energia cinética” (ibid., p. 14-9). Conforme Feynman (1963, p. 14-9), “... dizemos que a energia cinética e potencial total dentro de um objeto é parcialmente calor, energia química partidária e assim por diante”. Já de um modo ligeiramente distinto ao de Feynman, a partir de uma subseção intitulada “O que é o calor?”, respondem Gerthsen, Kneser e Vogel (1998, p. 193) que “A Termodinâmica inteira resume-se numa frase: o calor é o movimento desordenado das moléculas”. Por tal definição, esclarecem Eisberg e Lerner (1982, p. 428) que o movimento organizado das moléculas de um gás é que deve ser definido como energia cinética, e que se diferencia do movimento caótico (desorganizado), cuja energia é concebida de energia térmica (calor).

Enfim, essa terceira definição então discutida pode implicar em um significado confuso, com transmissão de imagens intuitivas de valor instrucional e heurístico, ainda mais se interligadas com a advertência de Sears e Zemansky (1959, p. 332) de que “devem ser evitadas afirmações tais como o ‘calor em um corpo é a energia de movimento de suas moléculas’”, e que difere inclusive de uma definição de Orear (1981, p. 79): “*calor é a energia cinética e potencial das partículas individuais*”. Isto, porque, defende Sears e Zemansky (ibid., p. 332), é somente a energia interna que deve ser “*identificada com a energia cinética do conjunto de suas moléculas*” e que: “*Na Física, o termo calor sempre se refere a uma transferência de energia de um corpo ou sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura existente entre eles, nunca indica a quantidade de energia contida em um sistema particular*” (Young & Freedman, 2016, p. 211). Aliás, cabe considerar, pelo Quadro 1, uma quantia significativa de autores de livros que não explicitam ou deixam a desejar determinado direcionamento mais acentuado à primeira definição apontada.

Qual a simbologia usual à grandeza quantidade de calor?

A grandeza quantidade de calor é encontrada, por exemplo, nas expressões usuais de calorimetria e na primeira lei da termodinâmica, e o que chama a atenção refere-se à simbologia desigual entre os autores de livros em tais expressões físicas, ora aderindo ΔQ e ora aderindo Q ; Afinal, essa aparente ambiguidade do emprego do símbolo Δ (delta) é algo opcional? À medida que este símbolo caracteriza uma diferença finita entre dois valores de uma grandeza, cujo significado é uma variação (ou um acréscimo,

⁸ Conforme Serway e Jewett Jr. (2017, p. 160): “*Calor é um mecanismo pelo qual energia é transferida entre um sistema e seu ambiente em função de uma diferença de temperatura entre eles. É também a quantidade de energia Q transferida por este mecanismo*”.

⁹ Principalmente no capítulo “A matéria é feita de átomos”. A interpretação que aqui se faz da leitura de Feynman segue de acordo com Beretta e Gyftopoulos (2015, p. 021006-1).

incremento), vale notar para diversas grandezas que o seu emprego é inquestionável e procede de modo invariável por autores de livros, assim notável na variação de temperatura ($\Delta T = T_2 - T_1$), bem como na variação de volume ocorre (ΔV), variação de pressão (ΔP), variação da energia interna (ΔU), variação da entalpia (ΔH), variação da entropia (ΔS) etc. Entretanto, todas essas grandezas físicas permitem a descrição dos estados de equilíbrio, cada uma delas denominada como variável ou função de estado, diferentemente da grandeza quantidade de calor Q^{10} , que permite a descrição do processo ou da transformação, denominada de variável ou função de processo.

Com reflexão nesse contexto e em direção à resposta da questão do parágrafo anterior, Silva e Fernandes (2023) resgatam a advertência de Lee e Sears (apud Silva & Fernandes, 2023, p. 221013-4) de que “o calor que flui para um sistema não pode ser expresso como a diferença entre os valores de certa propriedade do sistema entre os estados final e inicial ... não sendo possível interpretá-los com valores de Q nestes estados”, logo impossibilitando a escrita

$$\int_{Q_1}^{Q_2} d'Q = Q_2 - Q_1 = \Delta Q. \text{ }^{11}$$

Procedendo dessa forma, porém, é admirável que a ambiguidade simbólica seja encontrada em obras, inclusive, de mesmos autores. Tal situação é vista em Chaves (2007, p. 126), que apresenta a expressão $\Delta Q = C\Delta T$, mas em duas páginas depois resolve um exercício-exemplo aplicando a expressão $Q = C\Delta T$. Semelhante imprecisão lexical é cometida numa mesma página da 4ª edição do livro de Resnick e Halliday (1984, p. 187), quando especifica “O calor que deve ser transferido a um corpo de massa $m...$ ” pela expressão

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c dT,$$

e sendo mais adiante identificado como “... o calor ΔQ transferido para o sistema”. Estes são típicos casos de uma linguagem confusa acerca do emprego simbólico à grandeza quantidade de calor, realizada por um mesmo autor. Felizmente, e a partir da 5ª edição de Halliday e colaboradores, tal equívoco foi excluído do livro e o símbolo Δ não se acha outra vez atrelado ao calor. Todavia, essa imprecisão simbólica persiste problemática entre muitos autores de livros: porquanto Keller, Gettys e Skove (1999, p. 470) justificam não “... usar o símbolo Δ com o calor Q porque o calor é uma transferência de energia e não uma mudança em uma variável de estado”, Nussenzveig (2014) insistiu na manutenção deste símbolo até a última edição de seu livro sem qualquer reflexão adicional.

Para além do problema da imprecisão simbólica entre os autores, uma dificuldade conceitual emerge em termos educacionais quando se imagina a variação da grandeza quantidade de calor ΔQ , que resulta em $Q_f - Q_i$ ($\Delta Q = Q_f - Q_i$), durante uma instrução enfatizando a impossibilidade de qualquer variação de calor em algo (como substantivo). Isto, obviamente, se deve à simbologia didaticamente confusa que induz, de modo implícito, uma viabilidade de significação de “variação de calor ΔQ ”, por uma questão de consistência de linguagem às demais denominações inconfundíveis de “variação de temperatura ΔT ”, “variação de volume ΔV ”, etc.

A que corresponde o produto $mc\Delta T$?

A princípio, é indiscutível que o resultado do cálculo abrangendo as grandezas $mc\Delta T$ represente uma quantidade de energia. Pela notável tradição sequencial de abordagem de conteúdos físicos nos livros, esse produto $mc\Delta T$ é inicialmente apresentado no contexto de calorimetria, em correspondência com a grandeza quantidade de calor Q . Como caracterização não incomum, Eisberg e Lerner (1982, p. 397) “inauguram” esse produto ao leitor, ressaltando que ele “... passa a ser a definição da quantidade de calor ΔH ”¹². Decorre disso, portanto, a exigência de considerável esforço para se compreender que o produto

¹⁰ Assim também para o trabalho W (seja trabalho mecânico de expansão, trabalho elétrico, etc).

¹¹ O correto é $Q = \int_1^2 d'Q$ (Sears & Salinger, 1978, p. 89), em que os limites 1 e 2 são apenas convenções para especificar os estados inicial e final de um sistema. Enfatizam Sears e Salinger (1978, p. 89) que a quantidade “ $d'Q$, do mesmo modo que $d'W$, é uma diferencial inexata, e Q não é propriedade de sistema algum. O calor, como o trabalho, é uma função de trajetória e não uma função de ponto, e só tem significado em conexão com um processo”.

¹² Eisberg e Lerner (1982) empregam ΔH no lugar de ΔQ .

$mc\Delta T$ está somente ali associado ao conceito físico de calor em razão do estabelecimento de um processo de troca de energia por diferença de temperaturas, no sentido de um caso particular de transferência de uma energia assim calculada.

Há falta de esclarecimento objetivo dos referidos autores no qual esse produto também possa vir a corresponder, quantitativamente, a outra coisa que não seja o calor, o que, obviamente, comprometeria de certo modo a definição por eles apresentada. Em outras palavras, a definição acima induz a uma má compreensão, na qual o produto $mc\Delta T$ sempre representa única e exclusivamente uma troca de energia por calor, uma definição incompatível até mesmo com o que de fato se mede usando um calorímetro.

De acordo com Serway e Jewett Jr. (2017, p. 163), o produto $mc\Delta T$, em verdade, corresponde primeiramente a uma transferência de energia, indicando a relação entre energia Q transferida, uma vez que o “lado esquerdo da equação ($Q = mc\Delta T$) pode ser feita por qualquer método, não apenas calor”. É interessante observar a associação estabelecida a um método, que transfere energia (verbo), em termos qualitativos, embora o resultado final do produto calculado, em termos quantitativos, seja uma quantia de energia (substantivo) realizada por aquele método. O entendimento aí difere da definição acima de Eisberg e Lerner (1982), mas é conciliável com a precisão lexical, já mencionada anteriormente e há tempos sugerida por Sears, Zemansky e Young. (1984, p. 347): “Seria muito melhor usar a palavra “calor” apenas em referência a um método de transferência de energia e, quando essa transferência se completasse, referir-se à quantidade total de energia assim transmitida”. Assegurada essa compreensão, “além de não fazer referência ao calor em um corpo, satisfaz o uso da expressão quantidade de calor que tem desempenhado um papel tão importante em tantos livros didáticos e tabelas, sendo quase impossível de ser evitada” (Sears, Zemansky & Young, 1984, p. 347). Isto é um bom exemplo de uso cuidadoso da nominalização, em que o dispositivo gramatical, chamado de metáfora gramatical, segue substituindo a classe de verbo (calor transfere, como método) por substantivo (energia).

Nesse sentido, Serway e Jewett Jr. (2017, p. 163) exemplificam distintas situações (que não por calor¹³) pelas quais o produto $mc\Delta T$ permanece igualmente correspondido na equação utilizada para calcular a variação da temperatura de um corpo, segundo eles:

“Em cada um desses casos, bem como em muitas outras possibilidades, o Q a esquerda da equação de interesse não é uma medida de calor, mas é substituído pela energia transferida ou transformada por outros meios. Apesar de o calor não estar envolvido, a equação ainda pode ser usada para calcular a variação da temperatura.”

Ademais, frases que admitem $mc\Delta T$ em definição à quantidade de calor favorecem uma compreensão limitada e imprópria acerca do que é e o que mede um calorímetro, muitas vezes reforçada por discussões de atividades experimentais corriqueiras que empregam apenas calorímetros de mistura, cuja lição de sua função instrumental seria a de medir quantidades de calor trocadas entre dois corpos/substâncias com temperaturas diferentes. Educacionalmente, é razoável pelo menos discutir um similar aquecimento de determinada substância por um calorímetro de pás, quer dizer, enquanto no calorímetro de mistura a energia fornecida para uma substância é a quantidade de calor $Q = mc\Delta T$, no de pás tem-se a quantidade de energia mecânica total¹⁴, podendo-se escrever $\Delta E_p = mc\Delta T$ (McKelvey & Grotch, 1979, p. 628). Isto implica no lado direito dessas expressões resultados numericamente idênticos, valendo-se destacar no lado esquerdo não sendo idênticos qualitativamente, de modo a apreciar equivalentes elevações de temperatura de mesmas quantias de uma substância (em $T_i + \Delta T$) corresponder, na realidade, em similares elevações das energias internas dessas quantias em ΔU , porém, sabidos os processos, ora por calor, ora por trabalho. A partir da circunstância de calibração de um calorímetro, defende Chagas (1992) a correspondência de $mc\Delta T$ à ΔU , entendimento que se generaliza para quaisquer tipos de calorímetros, inclusive no de mistura, concluindo-se $Q = \Delta U_{\text{int}} = mc\Delta T$ (Tipler & Mosca, 2019, p. 600). Deve-se ter em mente, portanto, que o produto $mc\Delta T$ significa, essencialmente, uma energia relativa à variação da energia interna ΔU do sistema, devida a um processo que transfere (verbo) energia (calor, trabalho mecânico, trabalho elétrico etc).

¹³ Exs.: Transmissão elétrica por resistência, radiação eletromagnética por micro-ondas, trabalho realizado por uma broca em atrito etc. Todos esses casos elevam a temperatura de um corpo sem que haja uma diferença de temperaturas, condição indispensável para que o termo calor faça sentido.

¹⁴ Como no de Joule, pela variação da energia potencial de um peso em queda que movimenta as pás.

Coerentemente com as reflexões acima, o artigo intitulado “O que se mede num calorímetro?” engloba uma análise com diversos tipos de calorímetros, respondendo o autor: “mede-se ΔU ou ΔH ¹⁵ de um processo, a V ou P constantes, respectivamente” (Chagas, 1992, p. 93). E quanto à outra questão relacionada, “O que é um calorímetro”, conclui Chagas (1992, p. 94) que “semanticamente seria ‘medidor de calor’, mas vimos que não é isto”. E decididamente como definição de calorímetro, talvez para figurar num dicionário, ele recomenda a de um “instrumento para medir variações de energia em sistemas onde a temperatura tem um papel relevante” (Chagas, 1992, p. 4). Definição esta que melhor abrange a ampla função de tal aparelho, igualmente enfatizada por Simoni e Jorge (1990, p. 108).

O fato de dois únicos reservatórios de calor indicados no clássico diagrama de fluxo de uma máquina térmica permitem que ele seja genérico ou não?

Uma reflexão acerca do fluxo de energia, representado no diagrama da Figura 1A, foi apresentada por Dickerson e Mottmann (2019, p. 6), no sentido de uma crítica da apresentação desse diagrama quando ciclos reversíveis diferentes de Carnot estão em discussão. Esses autores defendem que uma representação típica “realista” para um ciclo reversível quase-estático deve conter um número infinito de reservatórios quentes (Q) em distintas temperaturas, cada um fornecendo uma quantidade infinitesimal dQ para a substância de trabalho, necessários para fornecer a totalidade de energia Q_{entrada} . Isto conforme a Figura 1B, sendo ainda composta de similar disposição de reservatórios frios (F), igualmente necessários à absorção da totalidade de energia Q_{saida} .

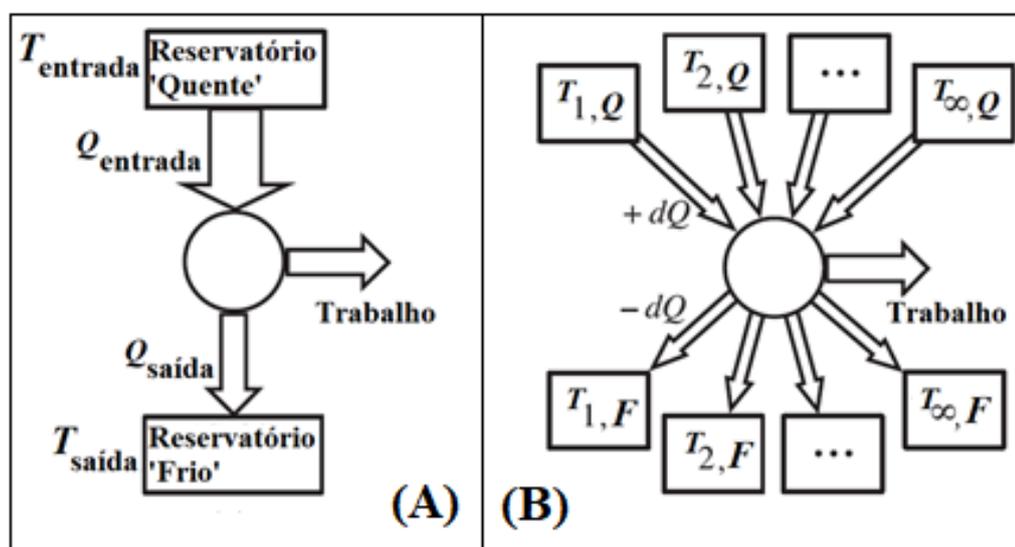


Figura 1 – A) Representação típica para um ciclo de Carnot reversível operando entre dois únicos reservatórios de calor; B) Uma representação típica “realista” para um ciclo reversível quase-estático. Fonte: Dickerson e Mottmann (2019, p. 6).

Dickerson e Mottman (2019) fazem um comparativo da incompatibilidade do diagrama da Figura 1A, por exemplo, com uma máquina térmica de ciclo Stirling (raciocínio estendido para demais máquinas que não sejam de Carnot), admitindo-se que em estado quase-estático: “a substância de trabalho ‘deve estar arbitrariamente próxima do equilíbrio em todos os momentos, mas não exatamente no equilíbrio, pois senão ela ficaria numa situação que não viria a experimentar um processo” (Bailin apud Dickerson & Mottmann, 2019, p. 4). Esta situação envolve as isotérmicas do ciclo Stirling, em que há trocas de calor, mas assim não ocorre nas adiabáticas do ciclo de Carnot, lembrando que essa é a diferença entre tais ciclos termodinâmicos, uma vez que as isotérmicas de ambos se equivalem graficamente, o que restringe a Figura 1A unicamente ao ciclo de Carnot no qual todas as trocas de calor se fazem por isotérmicas. Conforme esses autores, por mais fisicamente irreal que se questione a configuração da Figura 1B, tem-se um infinito de reservatórios de calor como requisito inescapável para quaisquer ciclos reversíveis que não sejam o de Carnot¹⁶. Mas a Figura 1B nunca é referenciada para outros ciclos não Carnot, e “isso pode ser enganoso ou pelo menos tornar-se confuso” (Dickerson & Mottman, 2019, p. 6). Todos os outros ciclos devem ser

¹⁵ ΔH aí se refere à variação da entalpia, não se referindo à quantidade de calor assim empregada por Eisberg e Lerner (1982).

¹⁶ E reservatórios perfeitamente organizados, do contrário, isto é, se algum reservatório estivesse fora da ordem de temperatura, a absorção ou ejeção de energia por calor ocorreria numa faixa finita de temperatura, e o ciclo tornar-se-ia irreversível (Dickerson & Mottmann, 2019, p. 5).

inerentemente irreversíveis, mas ainda quase-estáticos, visto serem necessárias trocas de energia por calor sobre diferenças finitas de temperaturas, já que a única combinação de isotérmicas e adiabáticas é a do ciclo de Carnot.

A corroborar esta discussão, Dickerson e Mottman (2019) comunicaram a alguns autores de livros didáticos, como Halliday, Resnick e Walker, a fraqueza existente em seu livro nesse sentido¹⁷, em que esses últimos autores investigaram a questão mais a fundo e reconheceram seu erro. Por tal influência é possível verificar, a partir da 5ª edição do mesmo livro didático de Halliday e colaboradores, a Figura 1A agora explicitamente contextualizada apenas a uma máquina de Carnot. Pedagogicamente, a Figura 1B, portanto, representa uma sugestão de linguagem imagética por inserção de grupos simbólicos, ($T_{1,Q}$, $T_{2,Q}$, ... $T_{\infty,Q}$) e ($T_{1,F}$, $T_{2,F}$, ... $T_{\infty,F}$) com as infinitesimais ($+dQ$ e $-dQ$), em melhoria da mensagem científica para ciclos termodinâmicos que não sejam de Carnot, embora o Quadro 1 indique prevalecer uma discórdância, ou desconhecimento, entre muitos autores quanto a essa questão de generalização da Figura 1A.

Energia térmica refere-se ao calor ou não?

Conquanto Nussenzveig (2014, p. 303) afirma que o termo “*energia térmica estaria associada a pequenas vibrações dessas partículas (átomos ou moléculas) em torno de suas posições de equilíbrio*”, vê-se uma identificação direta desse termo como sinônimo de calor na frase: “... *uma unidade independente de quantidade de energia térmica (calor)*¹⁸, a caloria, cujo uso persiste até hoje” (ibid., p. 208). Por tal associação, tem-se uma ambiguidade lexical¹⁹ à medida que “... *não existe uma função de estado Q, que representaria o ‘calor contido num sistema’*” (ibid., p. 221), embora especifique que “*a energia térmica (calor)*²⁰ dos oceanos ou da atmosfera constituiria um reservatório praticamente inesgotável de energia...” (ibid., p. 250).

Por sua vez, Resnick e Halliday (1984, p. 193) definem calor como a “*energia em trânsito de um corpo a outro, devido à diferença de temperatura entre eles*”, e pouco depois especificam: “... *ao transmitir-se de um corpo a outro, exclusivamente, devido à diferença de temperaturas entre eles, é que a energia recebe a denominação de energia térmica*”. A colocação “... *ao transmitir-se...*” compreende aí um duplo sentido: 1) o de “enquanto se transmite ou durante a transmissão (no sentido de energia em trânsito)”, o que gera um entendimento de calor como sinônimo de energia térmica; 2) o de “depois de transmitida tal energia (em trânsito)”, que assim seria definida no sistema de energia térmica. Ademais, ainda na mesma página, mencionam esses autores que “*o calor é energia transferida como consequência da diferença de temperaturas...*”, gerando provável indagação de um leitor: calor é *energia em trânsito* ou *energia transferida* (energia térmica)? Cabe avaliar que escrever “energia transferida”, no sentido de finalizada e ali presente no sistema, teria, portanto, melhor correspondência à energia térmica²¹, diversa da escrita “energia em trânsito” (calor) mediante um processo²². Essa linguagem direcionada para os termos calor e energia térmica é um típico caso de ambiguidade lexical, por conseguinte, desfavorável à instrução.

Outro caso de ambiguidade lexical pode ser visto em Knight (2009, p. 507), que especifica a energia térmica como a soma das energias cinética e potencial de átomos e moléculas e, na página 568, por similares modos ilustrativos, menciona que “*o calor é transferido do quente para o frio*” juntamente descrevendo que “*a energia térmica é transferida de um reservatório quente para outro reservatório frio*” (ibid., p. 568), indicando um entendimento distinto do inicial, agora induzindo a uma equivalência entre calor e energia térmica.

De modo geral entre autores de livros, cabe sintetizar a seguinte imprecisão lexical. Para alguns, a energia térmica é caracterizada como parte da energia interna ($E_{int.} = E_{tér.} + E_{quím.} + E_{nuc.} + \dots$)²³, e não com o calor, ou até como dizem Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 187): “*o estudo da energia térmica (também conhecida como energia interna) dos sistemas*”. Para outros autores, o termo energia térmica tem sido abolido em edições de seus livros, caso este de Serway e Jewett Jr. (2017), Chaves (2007), Cutnell e Johnson (2016) e Young e Freedman (2016), coerentemente à advertência de Sears e Zemansky (1959, p. 332): “*A expressão ‘energia térmica de um corpo’ não possui sentido*”. Isto, pois, contradiz inclusive aqueles

¹⁷ Inclusive acerca da equivocada equivalência de rendimentos teóricos entre os ciclos de Stirling e de Carnot.

¹⁸ Apesar de o termo calor mostrar-se definido de modo distinto no decorrer do livro, essa colocação entre parênteses desfavorece a compreensão.

¹⁹ O termo calor entre parênteses segue mal nomeado, com ambiguidade lexical na estrutura causal do argumento resultante da gramática dessas frases no texto.

²⁰ Se mantida a identificação direta com o calor entre parênteses, feita pelo autor e mencionada pouco antes.

²¹ Em verdade, a um incremento da energia térmica do sistema.

²² Considerando que Halliday, Resnick e Walker (2018, p. 197) persistem na identificação da energia térmica como “*uma energia interna que consiste na energia cinética e na energia potencial associada aos movimentos aleatórios dos átomos, moléculas e outros corpos microscópicos que existem no interior de um objeto*”.

²³ Knight (2009, p. 507), Tipler e Mosca (2019, p. 214).

que tratam os termos calor e energia térmica como sinônimos²⁴: “Quando dois corpos ou sistemas em diferentes temperaturas são postos em contato, energia térmica ΔQ flui do mais quente para o mais frio” (OREAR, 1981, p. 187). Eisberg e Lerner (1982, p. 499) chegam a empregar a primeira lei da termodinâmica mencionando que “... ΔH é definido como a quantidade de calor que flui para o sistema...” e, na página 550, denominam, com a mesma lei, “... energia térmica que entra ΔH ”.

Mediante um atrito de dois materiais e que implica no aquecimento de ambos, trabalho converte-se em calor?

A temperatura de um objeto (ou substância) e, portanto, sua energia interna, pode ser elevada quando nele atuam processos dissipativos ou de atrito: “como todo escoteiro sabe, quando dois pedaços de madeira são vigorosamente friccionados, podem se tornar muito quentes” (McKelvey & Grotch, 1979, p. 626). E cabe aí dizer que trabalho converte-se em calor? Segundo Sears e Zemansky (1959, p. 164), à situação de um agente que realiza trabalho para fazer um corpo escorregar vencendo o atrito sobre uma superfície horizontal, “o trabalho feito é convertido em calor”. De modo semelhante, por uma tradicional experiência de laboratório para estudantes de Física, que “consiste na aplicação de uma força de atrito conhecida à superfície de um vaso de cobre”, responde Orear (1981, p. 183): “trabalho é convertido em 1 cal de calor”. Já Nussensveig (2014, p. 280) afirma que, “No caso do atrito, a dissipação de energia mecânica pela conversão em calor é óbvia”. Para o conhecido caso de um calorímetro de pás, Eisberg e Lerner (1982, p. 407) comentam que a “energia cinética das pás” “é convertida em calor por atrito das pás com a água, igual à perda de energia potencial gravitacional na queda dos corpos”. Pegando este último caso para refletir, é interessante avaliar qual é o sistema e qual é o meio exterior, à via de regra com as pás e a água como o sistema em contradistinação ao que há fora do calorímetro (meio exterior). Logo, Eisberg e Lerner (ibid.) mencionam *trabalho convertendo-se em calor*, porém, de acordo com McKelvey e Groth (1979), não é bem assim.

Em todas as situações acima²⁵, agora caminhando para um uso cuidadoso de nominalização, caberia perguntar se, no sistema, algum calor fluiu de um material (ou substância) para outro, pois ambos aumentam suas temperaturas simultaneamente, e o calor deve ter sido gerado na interface de fricção e aí fluído para os materiais do sistema, afinal, questionam McKelvey e Grotch (1979, p. 627), “de que outra maneira a elevação de temperatura ocorreria?”. Analisando um sistema composto de dois blocos A e B em atrito, esses autores discutem:

“O caso não é assim tão simples, e falando rigorosamente, a resposta é que não houve nenhum fluxo de energia térmica para nenhum dos objetos! A resolução deste aparente paradoxo está no fato de que um fluxo de energia térmica é sempre causado por uma diferença de temperatura entre um objeto e seu meio. Vamos focalizar nossa atenção no corpo A por um momento. A temperatura na superfície do bloco A na interface de atrito aumentou, mas a menos que a temperatura da superfície correspondente do bloco B fosse ainda maior, não poderia se estabelecer a existência de um fluxo de calor no bloco A. Mas se este fosse o caso, como a superfície do corpo B conseguiria ser mais quente que a superfície de A? Isto só poderia ter acontecido se, de algum modo, anteriormente, o calor tivesse fluído para B a partir da interface de atrito, o que teria significado que neste instante, A estava mais quente que B! Esta argumentação obviamente leva ao puro contrassenso; nós somos impelidos a concluir que não pode haver nenhuma diferença de temperatura entre as superfícies dos dois blocos. O que aconteceu, de fato, é que a energia interna de ambos os objetos aumentou e, como resultado, suas temperaturas subiram. Mas o aumento da energia interna surgiu não como consequência da introdução de energia térmica na interface de atrito, mas sim como resultado da conversão de trabalho mecânico, realizado no friccionamento dos blocos, em energia interna molecular pelos processos de atrito na interface! Os mesmos aumentos de temperatura poderiam, é claro, terem sido produzidos pela introdução de energia térmica em ambos os corpos de uma fonte externa a uma temperatura mais alta e, em vista disto, nós poderíamos dizer que este total de energia térmica é equivalente ao trabalho mecânico gasto na interface, no processo de fricção original. Mas no exemplo em questão não houve

²⁴ Exs.: McKelvey e Grotch (1979, ps. 623, 627 e-630), Orear (1981, p. 187).

²⁵ E pela consideração de que um sistema seja constituído ora por ‘dois pedaços de madeira friccionados’, ora ‘uma superfície e um corpo que nela escorrega atritando’, ora ‘as pás e a água’ no interior de um calorímetro.

qualquer introdução de energia térmica em nenhum dos objetos” (McKelvey & Ghotch, 1979, p. 627).

Outro exemplo claro nesse sentido é também esclarecido por Zemansky (1978, p. 152) nos seguintes termos: *“Quando duas pedras são friccionadas entre si debaixo d’água, o trabalho realizado em função do atrito é transformado em energia interna que tende a produzir uma elevação de temperaturas das pedras”*. Assim, para outro caso típico de elevação de temperatura, como o de atritar as duas mãos (sistema), o fato de elas aquecerem está na conversão de trabalho em energia interna, e nada de calor pode ser computado. E isto procede com a advertência de Sears e Salinger (1978, ps. 90-91):

“Afirmativa comum, porém, imprecisa, a de que em um processo dissipativo trabalho é convertido em calor. Tudo que se pode realmente dizer é que a variação na energia interna de um sistema, em um processo dissipativo, é a mesma, como se houvesse um fluxo de calor Q para o sistema, igual em magnitude ao trabalho dissipativo.”

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo qualificou construtos explicativos quanto à noção científica de calor, e quão bem eles seguem discorridos em determinadas situações a partir de uma amostra de 20 livros de física universitária, fundamentando-se nas terminologias utilizadas e suas relativas ambiguidades linguísticas em que alguns artigos direcionam essa controversa. Nessa linha de investigação de livros didáticos relacionada com a semântica dos conteúdos neles presentes, um campo de pesquisa firmado há tempos na área de ensino de ciências, estabeleceu-se uma análise de conteúdo envolvendo edições recentes de muitas obras escritas (ou traduzidas) em português, inclusive por acréscimo de determinadas comparações com edições mais antigas de mesmos autores a fim de indicar exemplares mudanças do conceito científico então abordado. Uma contribuição relevante para com os trabalhos anteriormente citados mediante ampliação significativa de particularidades discutidas acerca do conceito de calor, e que também se vale da expressiva reunião de livros examinados, cujas reflexões devem subsidiar as atuações de ensino do professor da disciplina de Física II da grade curricular de várias graduações.

Quanto às particularidades, intituladas em subseções na forma de perguntas, não se objetivou responde-las, mas configurar contextos de adversidades mediante as divergências entre autores de livros, pelas quais é razoável ponderar que muita confusão seria aliviada se existisse um conjunto preciso de definições para os termos.

Conforme demonstrado aqui por um viés semântico, o conceito calor mostra-se desafiador de ensinar e, por conseguinte, de difícil compreensão para estudantes, cuja problematização abordada nas análises assim se revela a partir dos indícios de linguagem conceitual de certo modo inconsistente e/ou equívoca que há nas fontes do conhecimento, ou seja, os livros didáticos de cursos de graduação nos quais um professor tradicionalmente se baseia. Tais apontamentos implicam, à conscientização do professor, não subestimar a possibilidade de indesejáveis raciocínios conflitantes subsistirem mediante “ilusória confiança” em achar-se preparado conceitualmente para atuar com estudantes nesse assunto de aparente compreensão trivial, haja vista as adversidades que permanecem brotar nos livros referenciados.

Portanto, às particularidades elencadas no Quadro 1, não se teve a pretensão de ajustar aprimoramentos em equívocos e/ou ambiguidades ora caracterizados, mas de justificar um alerta de acentuada carência nesse sentido. Portanto, independentemente de a física dos construtos subjacentes relacionados ao calor encontrar-se precisa, a linguagem de algumas definições e aplicações ainda não se encontram ideais educacionalmente nos livros. Se bem que, na presente delimitação contextual sobre calor, sejam constatáveis alguns esforços de próprios autores na realização, vez ou outra mediante crítica sugestiva, da eliminação de conceitos ou descrições imprecisas em edições posteriores de seus livros de graduações. Aliás, de acordo com Taibu, Rudge e Schuster (2015, p. 010117-13), *“...livros didáticos têm a responsabilidade de conscientizar os alunos sobre as questões e os professores poderiam fazer o mesmo em salas de aula”*, questões estas relacionadas a uma inviolável recomendação pedagógica: *“os alunos devem ser explicitamente informados sobre qualquer linguagem nos livros didáticos que impeça uma conceituação clara”* (TOUGER, 1991).

Espera-se, enfim, que tal conscientização contribua para auxiliar encaminhamentos que favoreçam a inibição das dificuldades de esclarecimento que se destacaram atreladas à noção científica de calor, ponderando que as reflexões permitem: i) beneficiar até mesmo autores de livros didáticos do Ensino Médio

que abordem o assunto, diminuindo obstáculos do processo educacional; ii) ser proveitosas em cursos de formação continuada de professores; iii) enriquecer estratégias didáticas específicas e alternativas de futuras pesquisas educacionais.

REFERÊNCIAS

- Alomá, E., & Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot. *Enseñanza de las ciencias*, 25(3), 387-400.
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo*. Lisboa, Portugal: Edições 70.
- Beretta, G. P., & Gyftopoulos, E. P. (2015). What is Heat? *Journal of Energy Resources Technology*, 137, 021006 (1-8). Recuperado de [extension://ibjllhemkfgfbkgohldepcdgiigpdkb/pdfs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fgianpaolo-beretta.unibs.it%2FBeretta-papers-online%2Fm49-BerettaGyftopoulos-JERT-137-021006-2015.pdf](https://ibjllhemkfgfbkgohldepcdgiigpdkb/pdfs/web/viewer.html?file=https%3A%2F%2Fgianpaolo-beretta.unibs.it%2FBeretta-papers-online%2Fm49-BerettaGyftopoulos-JERT-137-021006-2015.pdf)
- Brookes, D. T. (2006). *The Role of Language in Learning Physics*. (PHD dissertation). Graduate Program in Physics and Astronomy, The State University of New Jersey, New Brunswick Rutgers, United States of America. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/238748423>
- Castro, P. M. A., & Castro, L. N. A. (2015). Representações Sociais de Calor por Estudantes de Graduação em Química. *Química Nova na Escola*, 37(n, esp 1), 26-34. <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150016>
- Chaves, A. (2007). *Física básica: Gravitação, Fluidos, Ondas, Termodinâmica*. Rio de Janeiro: RJ: LTC Livros Técnicos e Científicos.
- Chagas, A. P. (1992). O que se mede num calorímetro? (um exercício de aplicação da primeira lei da termodinâmica). *Química Nova*, 15(1), 90-94. Recuperado de http://static.sites.sbg.org.br/quimicanova.sbg.org.br/pdf/Vol15No1_90_v15_n1_%2814%29.pdf
- Cutnell, J. D., & Johnson, K. W. (2016). *Física – Volume 1*. (9a ed.). Rio de Janeiro: RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos.
- Dickerson, R. H., & Mottmann, J. (2019). The Stirling cycle and Carnot's theorem. *European Journal Physics*, 40, 1-14. <https://doi.org/10.1088/1361-6404/ab3532>
- Diniz Jr, A. I., Silva, J. R. R. T., & Amaral, E. M. R. (2015). Zonas do Perfil Conceitual de Calor que Emergem na Fala de Professores de Química. *Química Nova na escola*. 37(n. esp.1), 55-67. <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150019>
- Eisberg, R. M., & Lerner, L. S. (1982) *Física - Fundamentos e Aplicações, Volume II*. São Paulo, SP: McGraw-Hill do Brasil.
- Feynman, R. P. (1963). *The Feynman Lectures on Physics. Volume 1: Mecânica, radiação y calor*. (Edición Bilingua). Califórnia, United States of America: Addison-Welsey.
- Frish, S., & Timovera, A. (1967). *Curso de Física General - Tomo 1*. Moscu, Rusia: Mir.
- Gerthsen, C., Kneser, & Vogel, H. (1998). *Física*. (2a ed.) Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Givry, D., & Pantidos, P. (2015). Ambiguities in representing the concept of energy: a semiotic approach. *Review of Science, Mathematics and ICT Education*. 9(2), 41-64. <https://doi.org/10.26220/rev.3563>
- Guimarães, G. T. D., & Paula, M. C. (2020). Análise textual discursiva: entre a análise de conteúdo e a análise de discurso. *Revista Pesquisa Qualitativa*, 8(19), 677-705. <https://doi.org/10.33361/RPQ.2020.v.8.n.19.380>
- Gürel, K. D., & Erylmaz, A. A. (2013). Content Analysis of Physics Textbooks as a Probable Source of Misconceptions in Geometric Optics. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi (H. U. Journal of Education)*. 28(2), 234-245. Recuperado de <https://www.researchgate.net/profile/Derya-Kaltakci->

Gurel/publication/282817469_A_Content_Analysis_of_Physics_Textbooks_as_a_Probable_Source_of_Misconceptions_in_Geometric_Optics/links/568f7bd908aeaa1481b14edd/A-Content-Analysis-of-Physics-Textbooks-as-a-Probable-Source-of-Misconceptions-in-Geometric-Optics.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxxpY2F0aW9uIn19

- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). *Fundamentos da Física. Volume 2: Gravitação, ondas e termodinâmica*. (10a ed.) Rio de Janeiro: RJ: LTC– Livros Técnicos e Científicos.
- Ibáñez, M., & Ramos, M.C. (2004). Physics Textbooks Presentation of the Energy-Conservation Principle in Hydrodynamics. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), 267–276. <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000031265.34525.92>
- Keller, F. J., Gettys, W. E., & Skove, M. J. (1999). *Física, V. 1*. São Paulo, SP: Makron books do Brasil.
- Knight, R. (2009). *Física 2: uma Abordagem Estratégica*. (2a ed.). Porto Alegre: RS: Bookman.
- Lewis, E. L., & Linn, M. C. (1994). Heat energy and temperature concepts of adolescents, adults, and experts: Implications for curricular improvements. *Journal of Research in Science Teaching*. 31,657–677. <https://doi.org/10.1002/tea.3660310607>
- McKelvey, J. P., & Grotch, H. (1979). *Física 2*. São Paulo, SP: Harper & Row do Brasil.
- Nussenzveig, H. M. (2014). *Curso de Física Básica 2 - Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor*. (5a ed.. São Paulo, SP: Edgard Blücher.
- Orear, J. (1981). *Fundamentos da Física 1*. Rio de Janeiro:,RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos.
- Rasul, S., Shahzad, A., & Iqbal, Z. (2019). Teacher's Misconceptions in Science: Implications for Developing a Remedial Teacher Training Program. *Global Social Sciences Review (GSSR)*. 4(3), 221-228. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/344654730_Teachers'_Misconceptions_in_Science_Implications_for_Developing_a_Remedial_Teacher_Training_Program/fulltext/5fe3c5a492851c13feb4867d/Teacher-s-Misconceptions-in-Science-Implications-for-Developing-a-Remedial-Teacher-Training-Program.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxxpY2F0aW9uIn19
- Resnick, R., & Halliday, D. (1984). *Física 2*. (4a ed.). Rio de Janeiro, RJ: LTC– Livros Técnicos e Científicos.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (1984). *Física 2 - Mecânica dos Fluidos, Calor e Movimento Ondulatório*. (2a ed.). Rio de Janeiro, RJ: LTC – Livros Técnicos e Científicos.
- Sears, F. W., & Salinger, G. L. (1978). *Termodinâmica, teoria cinética y Termodinâmica estatística*. (2a ed.). Barcelona, Espanha: Reverte S. A.
- Sears, F. W., & Zemansky, M. W. (1959). *Física*. Rio de Janeiro, RJ: Ao Livro Técnico e Segreda Sociedade Editora e Gráfica.
- Serway, R. A., & Jewett Jr. J. W. (2017). *Princípios da Física - Oscilações, Ondas e Termodinâmica*, V. 2. São Paulo, SP: Cengage Learning.
- Simoni, J. A., & Jorge, R. A. (1990). Um calorímetro versátil e de fácil construção. *Química Nova*. 13(2), 108–111. Recuperado de http://static.sites.sbg.org.br/quimicanova.sbg.org.br/pdf/Vol13No2_108_v13_n2_%287%29.pdf
- Silva, G. R., & Errodibart, N. C. G. (2019). A produção científica nacional em periódicos sobre o Ensino da Termodinâmica. *Revista Prática Docente (RPD)*. 4(2), 559-577. <http://dx.doi.org/10.23926/RPD.2526-2149.2019.v4.n2.p559-577.id432>

- Silva, O. H. M., Laburú, C. E. , & Nardi, R. (2008). Reflexões para subsidiar discussões sobre o conceito de calor na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25(3), 383-396.
<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2008v25n3p383>
- Silva, O. H. M., & Fernandes, R. V. (2023). Reflexões acerca de ambiguidades envolvendo o conceito de calor para subsidiar discussões em sala de aula. *A Física na Escola*, 21(221013), 1-9. Recuperado de <https://www.fisicanaescola.org.br/index.php/revista/article/view/55/15>
- Suprpto, N. (2020). Do We Experience Misconceptions? An Ontological Review of Misconceptions in Science. *Studies in Philosophy of Science and Education*. 1(2), 50-55.
<https://doi.org/10.46627/sipose.v1i2.24>
- Taibu, R., Rudge, D., & Schuster, D. (2015). Textbook presentations of weight: Conceptual difficulties and language ambiguities. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. 11, 010117
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.11.010117>
- Taibu, R., Schuster, D., & Rudge, D. (2017). Teaching weight to explicitly address language ambiguities and conceptual difficulties. *Physical Review Physics Education Research*. 13(1), 01013(1-20).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010130>
- Tipler, P. A. (1984). *Física*. (2a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Dois.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2019). *Física para Cientistas e Engenheiros 1: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica*. Volume 1. Rio de Janeiro, RJ: LTC– Livros Técnicos e Científicos.
- Touger, J. S. (1991). When words fail us. *The Physics Teacher*. 29, 90-95. <https://doi.org/10.1119/1.2343227>
- [Young, H. D.](#), & Freedman, F. A. (2016). *Física II Termodinâmica e Ondas*. (14a ed.). São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil.
- Williams, H. T. (1999). Semantics in teaching introductory physics, *American Journal Physics*. 67, 670-780.
<https://doi.org/10.1119/1.19351>
- [Zemansky, M. W.](#) (1978). *Calor e Termodinâmica*. (5a ed.). Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Dois.

Recebido em: 06.03.2024

Aceito em: 27.08.2024