



Análise dos conceitos de Entropia presentes nos livros didáticos do PNLD 2015

Mateus Carneiro Guimarães dos Santos (PG)*, Matheus Júnior Baldaquim (PG), Maiara Fantinelli (PG), Pamela Franco Marani (PG), Neide Maria Michellan Kiouranis (PQ)
carneiraum2@gmail.com

Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Maringá-PR

Palavras-chave: Termodinâmica, Ensino de Química, Livros didáticos.

Área temática: Materiais Didáticos

Resumo: O trabalho tem por objetivo a análise dos conceitos de entropia presentes nos quatro livros didáticos de Química, aprovados no Plano Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2015. Inicialmente apresentamos o conceito de entropia que pode ser entendido somente como grau de desordem, distorcendo sua definição e ofuscando a compreensão deste conceito. A metodologia abordada é de caráter qualitativo, que buscou uma compreensão na interpretação dos livros didáticos. Os dados foram analisados segundo os pressupostos da Análise de Conteúdo e, com base nos estudos da literatura, realizamos a interpretação desses dados. Do processo de análise dos livros emergiram três categorias: a) a entropia definida como medida da desordem, b) entropia definida como dispersão de energia, c) não abordagem da segunda lei da termodinâmica. Identificamos que dos quatro livros referenciados, dois abordam entropia trazendo uma definição limitada de seu conceito.

Introdução

A importância do livro didático (LD) no ensino é amplamente discutida na literatura e autores ressaltam que deve ser considerado como instrumento de apoio para o planejamento docente (FRISON *et al.*, 2009; SIGANSKI; FRISON e BOFF, 2008). No entanto, a ênfase ao LD não deve substituir a atuação do professor, ainda que seja um material didático elaborado para auxiliar as aulas e tenha passado por avaliação criteriosa pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

O PNLD é um programa criado para seleção e distribuição de obras didáticas à rede pública de ensino, onde os professores das instituições possuem autonomia de escolherem o livro que utilizarão. Assim, em virtude do LD ser distribuído gratuitamente nas escolas públicas e de subsidiar o ensino como ferramenta de apoio, entendemos que a forma como são apresentados os conteúdos e os conceitos nos LD, influencia na concepção dos professores e na aprendizagem dos estudantes.

Neste sentido, atribuímos a esse fato a importância de investigações, como este trabalho, acerca da forma como os conteúdos são apresentados nos livros. No âmbito do ensino das Leis da Termodinâmica, as visões do conceito de entropia que têm sido abordadas de maneira bastante limitada, pois se referem somente a desordem. Desse modo, Lambert (2006) e Nusselveig (1981 *apud* SANTOS, 2008) discutem que a relação feita entre a segunda lei e a irreversibilidade é um dos problemas do Ensino de Física que deve ser investigado e reparado. Tarsitani e Vicentini (1996, *apud* SANTOS, 2008) se referem ao conceito de desordem, que é associado à entropia no Ensino Médio, inferindo que este conceito inadequado em



nada ajuda o aluno a compreender o termo, muito menos as fórmulas matemáticas que lhe são apresentadas.

As produções em Ensino de Ciências sobre entropia são publicadas majoritariamente no Ensino de Física, e discutem a construção de propostas didáticas e análise de sua aplicação, ensino da entropia por meio da História da Ciência (COLOVAN; SILVA, 2005), análise de concepções (CARSON; WATSON, 2002), análise de LD (SANTOS, 2008), entre outros. Desse modo, a incipiência de produções acerca da entropia no Ensino de Química demonstra a potencialidade de novas investigações nesta área.

Diante deste contexto, este trabalho consiste na análise dos LD de Química aprovados no PNLD de 2015. O objetivo é identificar os conceitos de entropia apresentados nestas obras, e se estes à atribuem somente a definição de desordem do sistema, baseando-se na literatura e, mais especificamente, nos estudos a respeito do ensino da segunda lei da termodinâmica apresentados por Lambert (1999; 2002; 2006).

Os dados foram analisados segundo a Análise de Conteúdo (Bardin, 1977), e discutidos de acordo com os pressupostos teóricos.

O conceito de entropia

O conceito de entropia vem sendo alvo de diversas problematizações e maus entendimentos por parte dos professores de Ensino Superior e Ensino Básico e, por consequência, os alunos vêm dispendo de interpretações equivocadas e/ou errôneas da entropia (Bindel, 2004; Lambert, 2006).

A relação de entropia com desordem vem desde os seus primórdios quando em 1865 Clausius deu o nome de "entropia" para o consciente de uma troca reversível de energia térmica dividida pela temperatura absoluta ($dS = Dq_{(ver)}/ T$) (Lambert, 2002, 2006). Nesse fragmento do Século XIX a ideia de átomo ainda não estava totalmente concretizada e muitos cientistas desse período não acreditavam em tal conteúdo abstrato, tendo uma visão macroscópica e fenomenológica dos processos termodinâmicos, como por exemplo, a expansão de um gás no vácuo (Lambert, 2002).

A entropia é a medida da dispersão de energia em um sistema termodinâmico: quanta energia é espalhada em um processo, ou como em uma temperatura específica, essa mesma energia se espalha amplamente (Lambert, 2006).

A entropia mede a dispersão de energia entre moléculas em microestados. O aumento de entropia em um sistema envolve dispersão de energia entre mais microestados nos sistemas finais do que no sistema inicial (Lambert, p.188, 1999, tradução nossa).

Um copo com água e gelo em temperatura ambiente é um bom exemplo do que Lambert está tentando nos dizer, pois existe uma diferença de temperatura em que o copo de água troca calor com o cubo de gelo e este conseqüentemente derreterá, ocorrendo assim uma dispersão da energia do corpo com temperatura



mais elevada para o corpo com temperatura menor. Então a entropia nada mais é do que a medida dessa dispersão de energia que ocorre em uma troca de energia entre corpos de diferentes temperaturas visto no exemplo acima.

Percurso metodológico

O objeto de estudo desta pesquisa são os LD de Química aprovados no PNLD de 2015 e, posteriormente, recomendados às escolas públicas para escolha. Neste sentido, foram adotados por essas instituições de ensino servindo como material de apoio aos professores e estudantes. Tendo em vista que o objetivo consiste em identificar a forma como o conceito de entropia é apresentado e se está associado a desordem, ordem ou dispersão de energia, consideramos esta pesquisa de natureza qualitativa e do tipo documental.

Na pesquisa documental Ludke e André (2013) consideram os documentos como fonte abundante e consistente de dados. Os autores ainda ressaltam que a pesquisa documental permite inúmeras consultas, por tempo indeterminado. Além disso, a viabilidade de realização da pesquisa é indiscutível por ter baixos custos e exigir que o pesquisador tenha disponibilidade de tempo para seleção e avaliação dos documentos que sejam relevantes para seu estudo.

A análise dos capítulos que se referem a segunda lei da termodinâmica, e mais especificamente, ao conceito de entropia, foi realizada conforme o referencial teórico de Bardin (1977), a Análise de Conteúdo. A escolha se deu, por entendermos que possibilitará compreendermos como os LD apresentam a entropia associada a conceitos-chave para a sua compreensão, como espontaneidade, dispersão de energia, desordem e microestados. A análise de conteúdo é uma metodologia que visa interpretar a informação presentes em mensagens emitidas por diferentes comunicações a partir de categorias que orientam a elaboração de inferências em relação a determinado assunto.

Na proposta de Bardin (1977), a análise dos dados se configura em três fases: 1) pré-análise: fase de organização no intuito de sistematizar as ideias iniciais; 2) exploração do material: realização da decodificação ou enumeração dos dados coletados através do estudo intenso e exaustivo do objeto em estudo; 3) tratamento dos resultados obtidos e interpretação: categorização que permite uma representação dos dados. É interessante ressaltar que estas categorias podem ser baseadas previamente em um referencial teórico (a priori) ou podem surgir de acordo com a análise advinda das informações, denominadas categorias emergentes, caso deste trabalho (BARDIN, 1977).

Para a coleta de dados, primeiramente buscamos os LD aprovados pelo PNLD 2015 (Quadro 1).



Quadro 1: Livros didáticos selecionados para análise

Livro didático	Descrição
LD1	FONSECA, Martha Reis Marques da. Química . 2 v, São Paulo: Ática, 2013.
LD2	SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; MÓL, Gérson de. Química Cidadã . 2. ed., 2 v, São Paulo: AJS, 2013.
LD3	MORTIMER, Eduardo Fleury; MACHADO, Andréa Horta. Química: ensino médio . 2. ed., 2 v, São Paulo: Scipione, 2013.
LD4	ANTUNES, Murilo Tissoni. Ser Protagonista – Química . 2. ed., 2 v, São Paulo: Edições SM, 2013.

Em seguida, realizamos leitura e releitura dos capítulos sobre termodinâmica em cada obra. Este exercício de recursividade é entendido por Bardin (1977) como leitura flutuante. Após explorarmos tais capítulos no intuito de identificarmos aproximações entre o conceito de entropia presente em livros e nos trabalhos de Lambert (1999), tomados como referências deste estudo, verificando possíveis associações com outros termos, aos quais chamamos de elementos-chave, entre eles: desordem, dispersão de energia, espontaneidade das reações e microestados. Por fim, os dados obtidos foram organizados em três categorias a) a entropia definida como medida da desordem, b) entropia definida como dispersão de energia, c) não abordagem da segunda lei da termodinâmica.

Resultados e discussão

Partimos do conceito que a entropia que é entendida como a medida da dispersão de energia. Quanta energia é espalhada em um processo, ou como em uma temperatura específica essa mesma energia se espalha amplamente (Lambert, 2006). Por meio deste referencial, identificamos os elementos-chave para compreensão do conceito de entropia presentes nos livros. Foram estabelecidos os seguintes elementos: desordem, dispersão de energia, espontaneidade das reações e microestados, além de contemplar a definição de entropia apresentada no LD, conforme apresentado no quadro 2.



Quadro 2: Conceitos identificados nas sessões destinadas a abordagem da entropia. Siglas: EMD= Entropia definida como medida da desordem; EDE: Entropia definida como dispersão de energia; DE= aborda o conceito de dispersão de energia; ER= aborda espontaneidade das reações; ME= aborda microestados; N= não aborda a segunda lei da termodinâmica.

Livro didático	EMD	EDE	DE	ER	ME	N
LD1						X
LD2	X		X	X		
LD3	X		X		X	
LD4						X

Ao seguir as etapas de análise de acordo com Bardin, ou seja, ao ler e reler os textos e relacioná-los aos elementos-chave destacados no quadro 1, emergiram três categorias principais, de acordo com a definição de entropia enfatizada pelos LD. A primeira categoria se refere a entropia definida somente como medida da desordem do sistema; A segunda categoria contempla o conceito de entropia entendido como medida da dispersão de energia em temperatura específica, e a terceira categoria, dos LD que não abordam a segunda lei da termodinâmica, e consequentemente, a entropia.

Na primeira categoria, referente aos LD que têm como definição principal da entropia, a desordem do sistema, encontram-se os LD 2 e 3. Referente ao LD2, a entropia é definida como a medição da desordem do sistema, como pode ser observado no quadro 2. A definição é feita em um quadro, destacado na página 230 da obra analisada. No início do capítulo 6, intitulado "Espontaneidade das transformações: Entropia", os autores iniciam explicitando os conceitos de espontaneidade das reações, conceituam reações reversíveis e irreversíveis, e trazem exemplos. Nota-se que os conceitos de espontaneidade e irreversibilidade são abordados para ancorar a definição de entropia, porém, ao defini-la, estes conceitos anteriores não são enfatizados. Alguns autores enfatizam que, abordar a entropia relacionada somente com a irreversibilidade das transformações, é um dos grandes problemas do ensino de termodinâmica, pois não levam a compreensão do conceito de entropia (LAMBERT, 2006; NUSSENVEIG, 1981, *apud* SANTOS, 2008).

Percebe-se que há menção à dissipação de energia, mas, somente como forma de informação adicional. São citados Clausius e Thomson, em relação ao enunciado referente a passagem de calor do corpo mais quente para o mais frio, e a respeito das máquinas térmicas, respectivamente.

Porém, como citado anteriormente, essas últimas informações não recebem a ênfase esperada, e são somente mencionadas abaixo do quadro que destaca a "definição" de entropia, de modo que a dissipação de energia aparenta não ser um termo ou conceito importante para compreensão do conceito de entropia atualmente, já que a dissipação é citada, como sendo um termo que foi utilizado no passado, mencionando quando foi utilizado pela primeira vez, mas sem estabelecer relação direta com o conceito de entropia apresentado pelo LD2, como observado no trecho abaixo.



O conceito de entropia foi usado pela primeira vez em 1850, pelo físico alemão Rudolf Julius Clausius [1822-1888], para referir-se à dissipação da energia. De acordo com seu enunciado, espontaneamente o calor só pode passar de um corpo para outro de menor temperatura (LD2, p. 230).

Nota-se que nesta pequena passagem os autores se referem ao conceito de entropia relacionado a dissipação de energia. Assim, o LD2 traz uma definição de entropia, que é entendida como medida de desordem do sistema. Mesmo que seja mencionado o processo de dissipação de energia, ele não estabelece diálogo direto com o conceito de entropia apresentado.

Na análise do LD3 nota-se que também contempla a primeira categoria. Este traz o conceito de entropia junto ao capítulo 2, intitulado de "Termoquímica: Energia nas mudanças de estado físico e nas transformações químicas". No texto 9, o conceito de entropia pode ser visualizado, começando a explicação também pela parte de processos espontâneos e assim trazendo exemplos que não estão relacionados realmente a entropia de um sistema, tais como, um ovo quebrado que não volta a ser um ovo inteiro.

Segundo Lambert (1999), não podemos dar exemplos de conceitos de entropia relacionando com macro-objetos, pelo fato de que esses objetos não estão relacionados termodinamicamente com a troca de calor ou energia e nem sequer estão colidindo microscopicamente em um sistema termodinâmico fechado. Mas no texto do LD3 também é mostrado exemplos relacionados a entropia, tais como, o derretimento de cubos de gelo em uma mesa que não se convertem espontaneamente a gelo novamente, trazendo assim uma possível interpretação de dispersão de energia, mas que não é trabalhada no capítulo.

Outro aspecto trazido na sessão de entropia, tanto em LD3 quanto em LD2, é a relação do aumento de entropia com o aumento de desordem de um sistema. Lambert (1999; 2002; 2006) afirma que tratar a entropia como o conceito de desordem de um sistema é um erro fatal para o entendimento do próprio tema da segunda lei da termodinâmica e do conceito de dispersão de energia (entropia).

Dando sequência ao conteúdo apresentado por LD3, estão presentes aspectos que relacionam vagamente a entropia com o conceito de microestados. "(...) e esse aumento nada mais é do que a passagem para um estado com um maior número de configurações equivalentes entre as moléculas" (LD3, p.108). Nota-se, implicitamente, a referência aos microestados, que não são notados em LD2.

Por fim, ambos os LD citam o trabalho de Clausius, a respeito da espontaneidade, e sobre o aumento de desordem/entropia relacionado a morte térmica do Universo. Pode-se inferir que, ao trabalhar a entropia dessa forma, pode-se levar a uma compreensão incompleta ou até mesmo equivocada de seu conceito, conforme apresentado por Carson e Watson (2002), onde são apresentadas diversas concepções alternativas a respeito da entropia, por estudantes de diversos países.

A segunda categoria seria referente ao LD que trouxesse o conceito de entropia como de acordo com Lambert (1999), onde a entropia é entendida como medida da dispersão de energia de um sistema, em temperatura específica. Porém,



em nossa análise não foi possível incluir nenhum dos LD analisados nesta categoria. Afinal, as categorias deveriam contemplar o conceito principal apresentado no LD, e nos dois livros citados anteriormente, mesmo que os microestados estão implícitos, e mesmo que a espontaneidade e dispersão de energia foram citados, os autores trouxeram a definição de entropia, em destaque, como medida da desordem do sistema, o que é específico da primeira categoria. Portanto, em nosso entendimento, para que estivessem presentes nesta categoria seria necessário que a ênfase a respeito do conceito de entropia estivesse baseada na dispersão de energia, e não no conceito de desordem, o que segundo Lambert (1999) e Santos (2008), é um obstáculo para a compreensão do que é de fato a entropia.

A terceira categoria contempla os livros que não apresentam o conteúdo referente a segunda lei da termodinâmica. É preciso destacar que no momento de pré-análise constatamos que estes não abordam o conceito de entropia. Em virtude disso, buscamos verificar se o conceito de entropia era apresentado nos outros volumes da edição de ambos os livros. Contudo, em nenhum dos volumes foi encontrado. Nos dois LD, os estudos em termodinâmica aparecem somente em termos da entalpia e Lei de Hess.

Considerações finais

Podemos concluir que a análise do LD é um importante instrumento de avaliação do professor, visto que este norteia as abordagens dos conteúdos durante o ano letivo. Para isso, faz-se necessário que o professor tenha uma compreensão coerente dos fenômenos e conceitos abordados.

Na análise realizada, identificamos que o conceito de entropia é apresentado em dois dos quatro livros aprovados pelo PNLD, trazendo-o como desordem do sistema. Os LD1 e LD4 não abordam o conceito em seus volumes, entretanto, atribuímos o fato às discussões acerca das incoerências conceituais, realizadas nos trabalhos abordados em nossa discussão, como em Carson e Watson (2002), durante a última década. Esta incoerência conceitual aponta novas vertentes de estudos direcionadas a sua correta interpretação.

Neste sentido, o trabalho realizado de avaliação dos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015 do conceito de entropia se mostrou uma importante ferramenta, podendo ser utilizado para nortear professores da área a um entendimento adequado do tema, auxiliando para uma abordagem metodológica isenta de erros conceituais.

Referências bibliográficas

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BINDEL, T. H. Teaching Entropy Analysis in the First-Year High School Course and Beyond. **Journal of Chemical Education**, v. 81, n. 11, p. 1585–1594, 2004.

CARSON, E. M.; WATSON, J. R. Undergraduate students' understandings of entropy and Gibbs free energy. **University Chemistry Education**, v. 6, n. 2, 2002.

FURG, 09 e 10 de novembro de 2017.



COLOVAN, S. C. T.; SILVA, D. A entropia no ensino médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação**, v. 11, n. 1, p. 98-117, 2005.

FRISON, M. D. et al. Livro didático como instrumento de apoio para a construção de propostas de ensino de Ciências Naturais. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VII, 2009, Florianópolis-SC. **Anais...** Florianópolis: ABRAPEC, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/399.pdf>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

LAMBERT, F. L. Shuffled Cards, Messy Decks, and Disorderly Dorm Rooms – Examples of Entropy Increase? Nonsense! **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 10, p. 1385-1387, 1999.

LAMBERT, F. L. Disorder - A Cracked Crutch for Supporting Entropy Discussions. **Journal of Chemical Education**, v. 79, n. 2, p. 187, 2002.

LAMBERT, F. L. A modern view of entropy. **Khimya: Bulgarian Journal of Science Education**, v. 15, n. 1, p. 13-21, 2006.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. **A pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: EPU, 2013.

SANTOS, Z. T. S. Conteúdo de entropia na física do ensino médio: análise do material didático e abordagem histórica. **Revista Holos**, ano 24, v. 3, 2008.

SIGANSKI, B. P.; FRISON, M. D.; BOFF, E. T. O. O Livro Didático e o Ensino de Ciências. In: ENCONTRO DE ENSINO DE QUÍMICA, XIV, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/eduquim/eneq2008/resumos/R0468-1.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2017.