

Explorando as interações intermoleculares: uma análise praxeológica nos livros didáticos de ciências da natureza

Kleyfton Soares da Silva^{1*}, Ricardo dos Santos Pereira²

¹Professor do Instituto Federal de Alagoas, Coruripe, Alagoas, Brasil. ¹Professor do Instituto Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil. *kley.soares@hotmail.com

Recebido em: 08/02/2024

Aceito em: 18/10/2024

Publicado em: 30/11/2024

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.6.2-18>

RESUMO

A abordagem das interações intermoleculares nos livros didáticos é crucial para a formação dos estudantes, pois influencia diretamente a compreensão dos princípios fundamentais da disciplina, sendo essencial para compreender diversos fenômenos químicos, incluindo propriedades de substâncias e processos biológicos e industriais. Este estudo teve como objetivo principal investigar a organização do conteúdo “interações intermoleculares” nos livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que foram submetidos ao Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) de 2021. A pesquisa adotou a praxeologia de Chevallard como referencial teórico para analisar como esses conceitos são apresentados nos materiais didáticos. Desenvolveu-se uma pesquisa qualitativa, documental, de natureza aplicada e com objetivos exploratórios, em que se buscou compreender as características do conteúdo. A análise praxeológica evidenciou a relevância de balancear tipos de tarefa, técnicas, tecnologias e teorias, bem como destacou a importância de uma técnica explícita para orientação dos estudantes. As lacunas identificadas sugerem a necessidade de desenvolver materiais de ensino complementares, seja qual for o livro didático adotado pela escola.

Palavras-chave: Análise praxeológica. Interações intermoleculares. Livro didático.

Exploring intermolecular interactions: a praxeological analysis in natural science textbooks

ABSTRACT

The approach to intermolecular interactions in textbooks is crucial for students' education, as it directly influences the understanding of the fundamental principles of the discipline. It is essential for comprehending various chemical phenomena, including properties of substances and biological and industrial processes. This study aimed to investigate the organization of content related to "Intermolecular Interactions" in textbooks of Natural Sciences and their Technologies, which were submitted to the National Program of Textbooks and Teaching Materials (PNLD) in 2021. The research adopted Chevallard's praxeology as a theoretical framework to analyze how these concepts are presented in educational materials. A qualitative, documentary, applied, and exploratory research was conducted to understand the characteristics of the content. The praxeological analysis highlighted the importance of balancing types of tasks, techniques, technologies, and theories, emphasizing the significance of an explicit technique for student guidance. The identified gaps suggest the need to develop complementary teaching materials, regardless of the textbook adopted by the school.

Keywords: Praxeological analysis. Intermolecular interactions. Textbook.

INTRODUÇÃO

A abordagem do conteúdo "interações intermoleculares" nos livros didáticos de química desempenha um papel crucial na formação acadêmica dos estudantes, influenciando diretamente a compreensão e o engajamento com os princípios fundamentais dessa disciplina (SERIBELI et al., 2023). Diante disso, esta pesquisa propõe uma análise dos livros didáticos da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, submetidos ao Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) de 2021, com foco na maneira como o referido tópico é abordado. A necessidade de investigar a apresentação desses materiais didáticos surge da importância de garantir que os conteúdos atendam adequadamente às exigências didáticas visadas pelo ensino.

A escolha de explorar especificamente as "interações intermoleculares" justifica-se pela sua relevância nos fundamentos da química, sendo um tópico central para a compreensão das propriedades e comportamentos das substâncias. Em consonância com a perspectiva de não considerar o livro didático como única fonte de pesquisa ou organização curricular, busca-se identificar não apenas lacunas, mas oportunidades para otimizar o processo de ensino e aprendizagem.

A noção de praxeologia de Chevallard (1994) emerge como uma ferramenta teórica relevante para esta análise, permitindo a compreensão das tarefas, técnicas, tecnologias e teorias presentes nos livros didáticos. Ao explorar como esses elementos são apresentados, a pesquisa visa responder à pergunta central: "Como o conteúdo de interações intermoleculares está organizado em termos praxeológicos?".

A praxeologia, segundo Chevallard (1994), pode ser compreendida como a análise das práticas sociais e culturais que permeiam a atividade humana, especialmente no contexto educacional. Para Chevallard, a praxeologia envolve a operacionalização de uma organização praxeológica $[T, \tau, \theta, \Theta]$, onde a prática humana se concretiza por meio da realização de um tipo de tarefa $[T]$, implementada através de uma técnica específica $[\tau]$.

Embora Chevallard tenha inicialmente concentrado seus estudos na Teoria Antropológica do Didático (TAD) no contexto do ensino de matemática, sua abordagem praxeológica transcende as fronteiras disciplinares. As bases teóricas e metodológicas desenvolvidas por Chevallard oferecem uma estrutura flexível e abrangente que pode ser aplicada com sucesso ao ensino de diversas disciplinas, incluindo a química.

Nesse contexto, a praxeologia ganha destaque no ensino de química, uma vez que proporciona uma compreensão mais profunda das interações entre sujeito, saber e

instituição educacional. A importância da praxeologia para o ensino de química é evidenciada pela sua capacidade de fornecer uma estrutura analítica que abrange desde a definição de tarefas específicas até a justificativa teórica das técnicas empregadas (SILVA et al., 2020). Ao adotar a perspectiva praxeológica, os educadores podem não apenas organizar efetivamente o conteúdo, mas compreender as dinâmicas envolvidas no compartilhamento do conhecimento químico.

Dessa forma, a atividade humana teorizada por Chevallard adquire uma riqueza de significado. A praxeologia não apenas delinea a realização de tarefas por meio de técnicas específicas, mas também ressalta a importância da tecnologia da técnica [θ] - a justificativa por trás do uso de uma técnica para a execução de uma tarefa. Essa tecnologia da técnica, por sua vez, encontra sua fundamentação em uma teoria [Θ], também compreendida como tecnologia da tecnologia. A compreensão dessa interconexão na prática educacional é fundamental para uma abordagem eficaz e significativa no ensino de química.

Uma praxeológica pode ser ilustrada da seguinte forma. Uma tarefa do tipo "comparar o ponto de ebulição do clorometano e metano", por exemplo, requisita a adoção de pelo menos uma técnica específica. Para resolver a tarefa, um estudante pode empregar a técnica de "identificação da polaridade da molécula a partir da diferença de eletronegatividade, recorrendo-se à representação vetorial para determinar o momento dipolar resultante".

A tecnologia, que fundamenta e justifica a aplicação da técnica, está conectada à implementação prática das noções relacionadas às interações intermoleculares. A tecnologia pode incluir a seguinte informação: "A interação dipolo induzido-dipolo induzido ocorre entre moléculas apolares, enquanto a interação dipolo-dipolo ocorre entre moléculas polares. Além disso, a interação dipolo-dipolo é mais forte que a dipolo induzido-dipolo induzido, levando a pontos de ebulição mais elevados".

A teoria, por sua vez, está fundamentada em noções como polaridade molecular, eletronegatividade, polarizabilidade e atração eletrostática. Por exemplo, a teoria pode incluir a explicação de que a polaridade das moléculas afeta as forças intermoleculares, influenciando diretamente as propriedades, como o ponto de ebulição.

O contexto trazido mostra que o tipo de tarefa se refere à natureza da atividade a ser realizada. É uma especificação daquilo que precisa ser alcançado ou executado. Ou seja, é a meta que orienta a atividade intelectual ou prática. A técnica, por sua vez, trata-

se da abordagem ou método específico utilizado para realizar uma determinada tarefa. No contexto educacional, as técnicas são estratégias pedagógicas ou procedimentos utilizados para atingir os objetivos da tarefa.

Já a tecnologia, refere-se à justificativa ou racionalização por trás do uso de uma técnica. É o conjunto de conhecimentos que fundamenta e explica a técnica empregada. Por fim, a teoria é o fundamento conceitual mais amplo que dá suporte à tecnologia. Ela fornece os princípios, conceitos e relações fundamentais que sustentam a justificativa da técnica.

Portanto, na abordagem de Chevallard, a praxeologia é a interconexão bem-sucedida desses quatro elementos (tipo de tarefa, técnica, tecnologia e teoria) na realização de atividades humanas, destacando a importância da compreensão e articulação desses componentes no processo de ensino e aprendizagem. Dessa forma, o objetivo da pesquisa foi investigar a organização do conteúdo de "interações intermoleculares" nos livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias submetidos ao PNLD de 2021, utilizando a praxeologia de Chevallard como base teórica.

METODOLOGIA

Trata-se uma pesquisa com abordagem qualitativa de natureza aplicada, utilizando os conhecimentos teóricos de Chevallard para analisar livros didáticos e contribuir para o ensino de interações intermoleculares. A pesquisa teve objetivos exploratórios e utilizou procedimentos bibliográficos. Além disso, fez uso de procedimentos documentais ao examinar os livros didáticos submetidos ao PNLD de 2021. O levantamento de informações ocorreu a partir da análise crítica e interpretativa desses documentos.

Conduziu-se uma análise praxeológica do conteúdo de interações intermoleculares nos sete livros didáticos aprovados no PNLD 2021 (Quadro 1). Inicialmente, examinou-se a organização das praxeologias, com foco na discussão das tecnologias e teorias presentes nesses materiais.

Quadro 1 - Livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aprovados no PNLD 2021 – objeto 2.

Abreviação	Título	Autores	Editora
LD1	Conexões – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Thompson et al., (2020)	Moderna

LD2	Multiversos – Ciências da Natureza	Godoy et al., (2020)	FTD
LD3	Diálogo – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Santos et al., (2020)	Moderna
LD4	Ciências da Natureza – Lopes & Rosso	Carnevalle et al., (2020)	Moderna
LD5	Moderna Plus – Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Amabis et al., (2020)	Moderna
LD6	Matéria, Energia e Vida: Uma Abordagem Interdisciplinar	Mortimer et al., (2020)	Scipione
LD7	Ser Protagonista Ciências da Natureza e suas Tecnologias	Zamboni et al., (2020)	Edições SM

Em seguida, selecionou-se alguns tipos de tarefa basilares relacionados aos conceitos de interações intermoleculares para discutir sobre a importância da explicitação de técnicas específicas para a resolução dessas tarefas. Os tipos de tarefas foram adaptados para iniciar com o verbo no infinitivo. Assim, essa reformulação não reflete exatamente o que está nos livros, mas proporciona uma compreensão mais clara dos exemplos trazidos pela maioria dos livros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise praxeológica – visão geral

Em todos os livros analisados, o ponto central sobre as interações intermoleculares é sua conexão direta com a transição entre os estados físicos da matéria. Os autores enfatizam que as propriedades físicas das substâncias estão intrinsecamente ligadas às interações entre suas moléculas. A intensidade dessas interações é determinante nos pontos de fusão e ebulição, exigindo mais energia para vencer a atração entre moléculas fortemente interligadas, resultando em temperaturas mais altas para mudanças de estado.

Além disso, são considerados conceitos como polaridade, a distinção entre ligações intramoleculares e intermoleculares, e a relevância dessas interações nos sistemas sólidos, líquidos e gasosos. Os autores do LD2 e LD4 explicam que a polaridade das moléculas influencia diretamente as forças intermoleculares estabelecidas entre elas, desempenhando um papel crucial nas propriedades específicas das substâncias.

Enquanto as ligações covalentes internas das moléculas são importantes, é a interação entre essas moléculas que determina propriedades como fusão e solubilidade. Para compreender substâncias moleculares, por exemplo, é fundamental dissociar suas

propriedades das ligações covalentes internas. Contrariamente ao que se poderia esperar, substâncias moleculares exibem temperaturas de fusão e ebulição relativamente baixas, além de serem solúveis em solventes polares ou apolares, dependentes de sua natureza, devido às interações moleculares que agregam essas partículas submicroscópica (LD6).

Os estados físicos da matéria são distintos devido às forças intermoleculares. Nos gases, a ausência praticamente total de forças atrativas permite que ocupem completamente os recipientes. Já nos estados líquido e sólido, as forças intermoleculares restringem o movimento molecular, impedindo uma difusão completa, resultando em volumes definidos e formas específicas (LD7). Em linhas gerais, todos os autores fornecem as noções fundamentais sobre interações entre moléculas e suas forças relativas.

Tecnologias e teorias

Interações dipolo induzido-dipolo induzido

Em relação às interações dipolo induzido-dipolo induzido, avaliou-se a tecnologia e teoria esperadas para este conceito, com base na definição encontrada no Compêndio de Terminologia Química da União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC. Assim, forças de London se referem às “forças atrativas entre moléculas apolares, devido à sua polarizabilidade mútua. Elas também são componentes das forças entre moléculas polares. Também chamadas de 'forças de dispersão'” (IUPAC, 2019, p. 1136).

A principal tecnologia, baseada na atuação das forças de London em moléculas apolares, está associada à teoria fundamental de polarizabilidade mútua. Todos os sete livros corroboram a presença das forças de London em moléculas apolares. No entanto, as justificativas para essa tecnologia variam entre as fontes.

O LD1 aborda a indução de dipolos instantâneos entre moléculas apolares devido ao deslocamento dos elétrons durante a aproximação, gerando repulsão na nuvem eletrônica. Apesar de trazer a noção de dipolos instantâneos, a explicação poderia ser mais clara para um entendimento mais amplo. O LD2 oferece uma explicação simplificada sobre a formação momentânea de dipolos induzidos de uma molécula para outra. A simplicidade pode limitar a compreensão da polarizabilidade em um contexto mais amplo.

O LD3 explana a formação de dipolos instantâneos devido a movimentos aleatórios dos elétrons, criando a polarização temporária. A explicação é mais detalhada, abordando a propagação desse efeito pelo sistema, o que é benéfico para uma melhor

compreensão. O LD4 descreve a geração de dipolos instantâneos devido ao aumento da densidade eletrônica em uma região da molécula, induzindo a formação de novos dipolos em moléculas próximas. A explicação é adequada, porém, a linguagem utilizada pode exigir um conhecimento prévio mais específico.

O LD5 explica a formação de dipolos instantâneos devido a variações na distribuição de elétrons na molécula apolar e como essa variação induz dipolos em moléculas vizinhas. A explicação é bastante detalhada e acessível. O LD6 resume a polarização como uma consequência da atração entre os núcleos das moléculas vizinhas e a eletrosfera, mas não fornece detalhes explícitos sobre o processo de formação de dipolos instantâneos. Por fim, o LD7 descreve como as interações eletrônicas entre moléculas apolares levam a deformações nas nuvens de elétrons, formando dipolos instantâneos induzidos. A explicação é acessível e abrange a formação desses dipolos.

Os LDs 3, 5 e 7 apresentam definições mais compreensíveis, pois detalham o processo de formação de dipolos instantâneos de maneira acessível. Enquanto isso, os LDs 1 e 2, apesar de abordarem o conceito, podem necessitar de mais clareza na explicação para um entendimento mais abrangente. Os LDs 4 e 6 possuem abordagens intermediárias, onde a clareza pode variar dependendo do conhecimento prévio do leitor sobre o assunto.

As forças de London também acontecem em moléculas polares. Contudo, poucos livros didáticos trazem essa possibilidade. Os LDs 1, 2, 3 e 6 apresentam lacunas notáveis ao abordar as forças de London, pois não consideram a possibilidade dessas forças atuarem em moléculas polares. Essa omissão pode limitar a compreensão dos estudantes, uma vez que as forças de London, embora sejam mais proeminentes em moléculas apolares, também estão presentes em moléculas polares.

Os LDs 4, 5 e 7 preenchem essa lacuna, destacando que as interações dipolo induzido-dipolo induzido (forças de London) não se restringem apenas a moléculas apolares. As distorções momentâneas na densidade eletrônica ocorrem em qualquer molécula, independentemente de ser polar ou apolar. Essa informação é crucial para compreender que, embora as forças de London sejam mais significativas em moléculas apolares, elas também desempenham um papel em moléculas polares.

A inclusão desse ponto nos LDs 4, 5 e 7 é fundamental para uma compreensão mais abrangente do funcionamento das forças intermoleculares, especialmente para os

alunos do ensino médio, pois permite uma visão mais completa e precisa sobre como as moléculas interagem entre si, independentemente de sua polaridade.

A dependência da temperatura de ebulição em relação à superfície de contato das moléculas é mencionada na maioria das obras. Os LDs 1, 3 e 7 colocam que moléculas maiores tendem a ter temperaturas de fusão e ebulição mais altas devido à maior superfície de contato e, por conseguinte, mais possibilidades de interações intermoleculares. O LD4 reforça a ideia de que a facilidade de indução do dipolo está relacionada ao tamanho da molécula e à quantidade de elétrons, o que sugere uma relação entre a extensão da nuvem eletrônica e as temperaturas de fusão e ebulição. Por fim, o LD6 apresenta a relação entre a superfície de contato das moléculas e a ramificação, enfatizando que moléculas maiores e menos ramificadas têm uma força de atração mais significativa entre elas.

Os LDs 1 e 7 apresentam a interação dipolo-dipolo induzido entre a água e o gás oxigênio, demonstrando como a presença de moléculas polares (água) pode induzir dipolos instantâneos em moléculas apolares (oxigênio). A ausência desse conceito nos outros livros pode prejudicar a compreensão dos alunos, limitando a compreensão das interações entre moléculas polares e apolares, essenciais para explicar processos de solubilidade e interações entre substâncias distintas.

Interações dipolo permanente-dipolo permanente

Em relação às interações dipolo permanente-dipolo permanente, avaliou-se a tecnologia e teoria esperadas para este conceito, com base na definição encontrada no Compêndio de Terminologia Química da União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC. Assim, interação dipolo-dipolo se refere à “interação inter ou intramolecular entre moléculas ou grupos que possuem um momento dipolar elétrico permanente. A força da interação depende da distância e da orientação relativa dos dipolos.” (IUPAC, 2019, p. 1106, tradução nossa).

A principal tecnologia, baseada na atuação das interações dipolo-dipolo em moléculas polares, está associada à teoria fundamental de momento dipolar elétrico permanente. Todos os sete livros corroboram a presença das interações dipolo permanente-dipolo permanente em moléculas polares. Contudo, as justificativas para essa tecnologia variam entre as fontes.

O LD1 descreve a atração entre regiões de baixa densidade eletrônica de uma molécula e de alta densidade eletrônica de outra, formando interações dipolo permanente-dipolo permanente. Embora destaque as densidades eletrônicas, a explicação carece de detalhes sobre a orientação eletrostática dos dipolos. Já o LD2 aborda a orientação do polo positivo de uma molécula próximo ao polo negativo de outra, considerando a disposição espacial na interação dipolo-dipolo. No entanto, poderia oferecer mais detalhes sobre a atração eletrostática entre os dipolos.

O LD3 destaca a formação de dipolos elétricos permanentes devido à distribuição assimétrica de cargas, gerando atração eletrostática entre caracteres parciais opostos. Adiciona detalhes sobre a eletronegatividade, mas poderia enfatizar mais a orientação e natureza direcional da atração. O LD4, por sua vez, descreve a atração entre regiões de maior e menor densidade de carga, formando interações entre dipolos. No entanto, a explicação carece de detalhes sobre a orientação espacial e a natureza direcional da atração.

O LD5 oferece uma explicação mais detalhada sobre a interação dipolo-dipolo em moléculas polares, mencionando a atração eletrostática entre os polos positivo e negativo das moléculas de HCl. Por outro lado, o LD6 descreve a natureza eletrostática da atração entre dipolos alinhados, embora não seja tão detalhada em relação à interação entre moléculas. Por fim, o LD7 destaca a distribuição assimétrica de cargas, gerando dipolos elétricos permanentes e atraindo moléculas polares umas às outras. Adiciona detalhes sobre a atração entre os polos positivo e negativo.

As explicações mais abrangentes das interações dipolo-dipolo são encontradas nos LD3, LD5 e LD7, que oferecem detalhes sobre a natureza direcional da atração eletrostática entre os dipolos das moléculas polares. Estas explicações são mais abrangentes por fornecerem detalhes sobre a orientação eletrostática e a atração entre os dipolos.

É frequente discutir as variações nos pontos de fusão e ebulição de acordo com os tipos de interações entre moléculas. No entanto, ao considerar as interações dipolo permanente-dipolo permanente, é fundamental enfatizar o impacto da intensidade da polaridade da molécula, bem como o tamanho e a massa moleculares, na determinação das temperaturas de fusão e ebulição.

O LD3 aborda a influência da polaridade, tamanho e massa molecular. Explica que moléculas mais polarizadas, grandes e pesadas resultam em interações

intermoleculares mais fortes, o que leva a temperaturas de fusão e ebulição mais altas. Isso fornece uma compreensão mais detalhada sobre os fatores que impactam essas temperaturas, o que é crucial para uma visão mais abrangente das interações moleculares. Por outro lado, LD7 concentra-se apenas na polaridade, destacando que moléculas mais polares têm interações dipolo-dipolo mais intensas. Embora forneça uma ideia do papel da polaridade, não aborda a influência do tamanho e da massa molecular.

Quando os livros não abordam a influência do tamanho e da massa molecular, os estudantes perdem uma compreensão completa das temperaturas de fusão e ebulição. Esses fatores, juntamente com a polaridade, desempenham papéis cruciais na determinação dessas temperaturas, e a ausência dessa informação pode limitar a compreensão dos alunos sobre como as propriedades moleculares afetam as transições de fase das substâncias.

Ligação de hidrogênio

Em relação às ligações de hidrogênio, avaliou-se a tecnologia e teoria esperadas para este conceito, com base na definição encontrada no Compêndio de Terminologia Química da União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC. Assim, ligação de hidrogênio é:

“uma forma de associação entre um átomo eletronegativo e um átomo de hidrogênio ligado a um segundo átomo, relativamente eletronegativo. É mais bem considerada como uma interação eletrostática, intensificada pelo pequeno tamanho do hidrogênio, que permite a proximidade dos dipolos ou cargas em interação. Ambos os átomos eletronegativos são geralmente (mas não necessariamente) da primeira linha da Tabela Periódica, ou seja, N, O ou F. As ligações de hidrogênio podem ser intermoleculares ou intramoleculares.” (IUPAC, 2019, p. 1.123, tradução minha).

A principal tecnologia, baseada na atuação das ligações de hidrogênio em moléculas polares, está associada à teoria fundamental de eletronegatividade. Todos os sete livros corroboram a presença das ligações de hidrogênio em moléculas polares contendo N, O ou F. As justificativas para essa tecnologia têm pequenas variações entre as fontes, em geral, estabelecendo que a ligação de hidrogênio é uma forma especial de interação eletrostática que ocorre entre um átomo de hidrogênio e átomos extremamente eletronegativos, geralmente flúor (F), oxigênio (O) ou nitrogênio (N). Essa ligação se estabelece quando a diferença de eletronegatividade gera uma forte polarização na

ligação, com uma nuvem eletrônica densa na região do átomo eletronegativo, criando um polo positivo intenso no átomo de hidrogênio.

No estudo das ligações de hidrogênio, é crucial enfatizar a clareza conceitual, já que os estudantes podem ter equívocos. Embora os exemplos comuns de ligações de hidrogênio estejam frequentemente relacionados aos elementos altamente eletronegativos F, O e N, é importante esclarecer que essa interação intermolecular também pode, em circunstâncias específicas e com menor intensidade, envolver outros elementos, como Cl e S. O LD6 é o único que usa a palavra “principalmente” para sugerir que as ligações de hidrogênio não ocorrem necessariamente em moléculas contendo F, O ou N.

Para expressar melhor a definição da ligação de hidrogênio, é benéfico enfatizar que essa interação ocorre entre um par de átomos H-F, H-O ou H-N dentro da mesma molécula e um par de elétrons não ligantes em um íon ou átomo eletronegativo vizinho, geralmente F, O ou N, de outra molécula (Brown et al., 2012). É importante observar que desvios ou simplificações nessa definição podem levar o estudante a interpretar erroneamente a presença de ligações de hidrogênio no éter dimetílico, uma vez que a representação tridimensional das interações dessa molécula – conforme ilustrado no LD1 – sugere a interação do átomo de oxigênio com átomos de hidrogênio vizinhos. O LD7 é o único que não contempla uma definição mais próxima do esperado.

É essencial ressaltar a ocorrência de ligações de hidrogênio em uma escala intramolecular, um aspecto muitas vezes subestimado nos materiais educativos. Isso pode ser ilustrado pelo caso do DNA, no qual as bases C e G, e A e T, estão intrinsecamente envolvidas em ligações de hidrogênio. Essas ligações não ocorrem entre diferentes moléculas, mas sim dentro da própria estrutura do DNA. Essa compreensão é crucial para os estudantes, pois essas interações intramoleculares são fundamentais na estabilidade e na estrutura tridimensional das moléculas biológicas, influenciando as funções e processos biológicos. Embora o LD2 traga uma tarefa envolvendo as ligações de hidrogênio intramoleculares do DNA, explicações (tecnologia e/ou teoria) não foram encontradas em nenhum dos livros analisados.

Interações íon-dipolo

As interações íon-dipolo são fundamentais na compreensão das forças intermoleculares. Elas ocorrem entre íons carregados e moléculas polares, onde a carga do íon atrai as regiões parcialmente carregadas da molécula polar. Esse tipo de interação

é crucial para a solubilidade de compostos iônicos em solventes polares, como a dissolução de sais em água.

Identificou-se que a noção de interações íon-dipolo foi abordada pelos LDs 1, 4, 5 e 7. Recomenda-se explorar esse tipo de interação, enfatizando-se o seu papel na dissolução do sal de cozinha em água, por exemplo. O cloreto de sódio (NaCl) é composto por íons de sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) que, ao serem adicionados à água, interagem com as moléculas do solvente devido à sua natureza polar. As moléculas de água têm uma região parcialmente negativa (devido ao oxigênio) e uma região parcialmente positiva (devido aos hidrogênios). Essas regiões se alinham com os íons positivos e negativos do sal, respectivamente, permitindo a dissociação do NaCl em seus íons constituintes, os quais são solvatados pelas moléculas de água.

Outro exemplo interessante é o experimento da separação do álcool da gasolina a partir da mistura com água, e impulsionada pela adição de sal de cozinha. O álcool se dissolve na água devido à sua natureza polar, mas a gasolina, sendo menos polar, permanece separada. No entanto, ao adicionar sal à mistura, a solubilidade do álcool é reduzida, intensificando a separação das fases. O sal estabelece interações íon-dipolo com a água, diminuindo a solubilidade do álcool na água e facilitando sua separação da gasolina.

Tipos de tarefas e técnicas

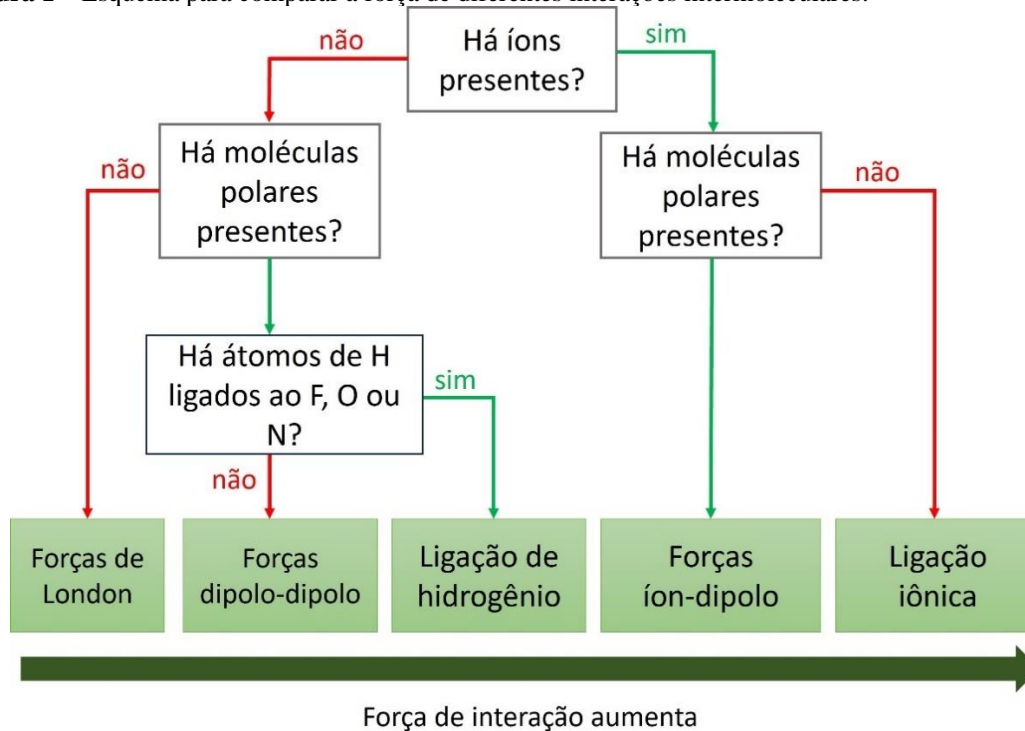
O tipo de tarefa mais comum é identificar quais compostos possuem maior ou menor temperatura de fusão e ebulição (LD1, DL2, LD3, LD6), com base no modelo das interações intermoleculares. Em geral, os compostos são representados por fórmulas químicas, excetuando-se o caso do LD2, que traz representações moleculares 3D. O LD7 traz uma tarefa mais simples, que consiste em identificar as interações intermoleculares, sem comparar as intensidades das interações em termos de ponto de fusão e ebulição.

Não foi identificada uma técnica específica, explicitada pelos autores dos livros didáticos, para resolver este tipo de tarefa. Contudo, extrai-se dos conteúdos analisados dos livros (tecnologia e teoria), etapas (Figura 1) que podem ser integradas e gerar a determinada técnica (BROWN et al., 2012):

1. Identifique se o composto é iônico ou molecular; se o composto for iônico e não estiver dissolvido em outro composto, então ele possui o maior ponto de fusão e

- ebulição; se estiver dissolvido em água, a força de interação íon-dipolo é maior que qualquer outra interação intermolecular;
2. Se o composto for molecular, descubra se é polar ou apolar;
 3. Se o composto for polar e tiver átomos de H ligados ao F, O ou N, a ligação de hidrogênio está presente e consiste no tipo de interação mais fraca que a íon-dipolo e mais forte que a dipolo-dipolo e forças de London; se o composto for polar e não tiver átomos de H ligados ao F, O ou N, a interação é do tipo dipolo-dipolo e só ganha das forças de London em termos de força de interação.
 4. Se o composto for apolar, as forças atuantes são as interações dipolo induzido-dipolo induzido. Essa interação é mais fraca e leva ao menor ponto de fusão e ebulição.

Figura 1 – Esquema para comparar a força de diferentes interações intermoleculares.



Fonte: Adaptado de Brown et al. (2012).

A técnica apresentada serve para resolver problemas que envolvem a comparação de pontos de fusão e ebulição entre sistemas com diferentes interações intermoleculares. Além disso, as tecnologias (justificativas) da técnica, baseadas em noções de polaridade, eletronegatividade, polarizabilidade e atração eletrostática, permitem resolver tarefas do tipo: Explicar no nível molecular, o que diferencia o estado líquido do gasoso (LD7),

remetendo-se à noção de interações intermoleculares e proximidade/orientação dos polos induzidos ou permanentes; explicar o tipo de força intermolecular presente nas patas da lagartixa, considerando que há em suas patas estruturas que se assemelham a pequenos fios, de estrutura apolar (LD2); explicar por que a água consegue extrair o álcool que está misturado na gasolina (LD2, LD3 e LD5); identificar interações íon-dipolo que ocorrem em misturas de água e sais (LD1, LD2 e LD4).

No entanto, a menos que a técnica fosse ampliada, não haveria condições de comparar o ponto de ebulição do clorometano, diclorometano e triclorometano, por exemplo. Note que os três compostos são polares e possuem interações dipolo-dipolo. Os LDs 3 e 7 exemplificam que quanto mais polar for a molécula, maiores serão suas temperaturas de fusão e ebulição, devido ao aumento na força das interações intermoleculares.

O LD3 traz uma tarefa intrigante: Explicar por que o ponto de ebulição da água é maior que o do etanol, que tem maior massa molecular, além de ambos possuírem ligação de hidrogênio. O ponto de ebulição de uma substância é influenciado por múltiplos fatores, e embora o etanol possua ligação de hidrogênio e uma maior massa molecular do que a água, a água ainda tem um ponto de ebulição mais alto.

Nas moléculas de água, as ligações de hidrogênio são altamente direcionais e organizam-se de maneira mais eficiente, formando uma rede tridimensional de interações. A predominância da ligação de hidrogênio na água supera os efeitos do tamanho molecular ou das forças de dispersão de London da molécula de etanol, resultando em um ponto de ebulição mais alto. Embora o etanol tenha a capacidade de formar ligações de hidrogênio, essas interações não são tão fortes quanto as da água devido a diferenças na estrutura molecular e eletronegatividade.

Embora nenhum dos livros didáticos analisados tenha abordado a diferença no ponto de ebulição entre o ácido acético e o 1-propanol, ambos possuindo a mesma massa molecular e formando ligações de hidrogênio, é relevante explorar essa situação. No ácido acético, além das ligações de hidrogênio, os átomos de oxigênio presentes no grupo carboxila são mais eletronegativos do que os átomos de hidrogênio, o que cria um dipolo mais forte. Essa polaridade intensa reforça as ligações entre as moléculas de ácido acético. Já o 1-propanol, apesar de também fazer ligações de hidrogênio, possui interações menos intensas. Brown et al. (2012) ilustra que enquanto cada molécula de ácido acético pode

formar duas ligações de hidrogênio com sua vizinhança, a molécula de 1-propanol pode formar apenas uma.

A partir das considerações expostas, pode-se ampliar a técnica para que seja possível comparar o ponto de ebulição também entre moléculas que apresentam a mesma interação intermolecular:

5. Para comparar moléculas que apresentam apenas interações dipolo-dipolo: Identifique a molécula com a polaridade mais intensa e/ou maior e/ou com maior massa.
6. Para comparar moléculas que apresentam apenas interações dipolo induzido-dipolo induzido: Identifique a molécula apolar que seja mais pesada e/ou maior e apresente menos ramificações.
7. Para comparar moléculas que apresentam apenas ligações de hidrogênio: Identifique a molécula com maior número de ligações de hidrogênio ou uma orientação dipolar que favoreça mais interações, além de ser mais pesada e/ou maior.

A técnica sugerida, do passo 1 ao 7, é eficiente para comparar as intensidades das diferentes interações intermoleculares abordadas. Como consequência, as intensidades relativas das temperaturas de fusão e ebulição podem ser previstas. É interessante notar que as tecnologias (justificativas da técnica) que fundamentam cada etapa dão condições para compreender e explicar outros tipos de tarefa. Dessa forma, as noções de interações dipolo-dipolo e dipolo induzido-dipolo induzido permitem compreender a dissolução, ainda que minimamente, do gás oxigênio (apolar) e água (polar), conforme mostrado no LD1 e LD7. Esse tipo de interação é chamado de dipolo-dipolo induzido.

A definição correta de ligações de hidrogênio deve permitir a compreensão das ligações de hidrogênio intramoleculares, para que a resolução da tarefa sobre a estrutura do DNA, trazida pelo LD2, seja possível. Adicionalmente, os conceitos de polaridade, eletronegatividade, polarizabilidade e atração eletrostática, envolvidas ao longo das etapas da técnica e integradas para sustentar as noções de interações intermoleculares e suas consequências nas mudanças de estado, devem dar suporte à compreensão de conceitos complementares abordados em alguns livros didáticos, tais como tensão superficial, viscosidade, adesão e coesão, miscibilidade, aspecto hidrofílico e hidrofóbico do sabão.

Vale ressaltar que a técnica apresentada não é perfeita e pode levar a erros conceituais. É importante comentar com os estudantes acerca de casos em que moléculas apolares com predominância de forças de London (dipolo induzido-induzido) possuam ponto de ebulição maior que outra molécula com ligação de hidrogênio. Embora a ligação de hidrogênio seja uma interação intermolecular forte, a influência das forças de London (dispersão) também é significativa.

As forças de London são mais proeminentes em moléculas apolares e geralmente aumentam com o tamanho e a massa molecular da molécula. Assim, é possível que uma molécula apolar com forças de London mais intensas, devido a uma maior massa molecular, tenha um ponto de ebulição mais alto do que outra molécula que forma ligações de hidrogênio, mas possui menor massa molecular. Nesse contexto, Brown et al. (2012) salientam que, em situações em que as moléculas de duas substâncias apresentam uma discrepância notável em peso molecular, as forças de dispersão tendem a ser o fator determinante para a intensidade das interações intermoleculares em cada substância.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao concluir esta pesquisa, foi possível atestar o alcance dos objetivos propostos, corroborando significativamente com a compreensão do conteúdo de "Interações Intermoleculares" nos livros didáticos de Ciências da Natureza e suas Tecnologias submetidos ao PNL D 2021. A praxeologia de Chevallard revelou-se uma ferramenta eficaz para a análise estruturada, permitindo uma avaliação minuciosa quanto à presença e integração de tipos de tarefas, técnicas, tecnologias e teorias, fomentando a identificação de potencialidades e lacunas conceituais.

Os resultados da análise praxeológica evidenciaram a relevância de balancear tipos de tarefa, técnicas, tecnologias e teorias, bem como destacaram a importância de uma técnica explícita para orientação dos estudantes, oferecendo direcionamento claro e compreensível. A limitação inerente aos livros didáticos ressalta a importância do papel do professor na maximização do seu uso para o planejamento de aulas, incluindo a consulta a diferentes fontes, como periódicos, vídeos e materiais online.

É importante destacar que a abordagem adotada aqui não buscou classificar os livros didáticos em ordem de melhor ou pior, mas elencar suas potencialidades e lacunas, reconhecendo que cada um possui estratégias valiosas, representações moleculares variadas, explicações de fenômenos e propostas de experimentos interessantes. Por fim,

o resultado desta pesquisa pode orientar a elaboração de materiais instrucionais para oferecer uma abordagem abrangente das noções de interações intermoleculares.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Alagoas e ao Instituto Federal do Acre.

REFERÊNCIAS

ABDULWAHED, M.; NAGY, Z. K. Applying Kolb's Experiential Learning Cycle for Laboratory Education. **Journal of Engineering Education**, v. 98, p. 283-294, 2009. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2009.tb01025.x>

AMABIS J. M.; MARTHO, G. R.; FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C. N.; TORRES, C. M.; SOARES, J.; CANTO, E. L.; LEITE, L. C. C. **Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

AVILA-BRONT, L. G. An Experiential Learning Chemistry Course for Nonmajors Taught through the Lens of Science Fiction. **Journal of Chemical Education**, v. 97, n. 10, p. 3588-3594, 2020. DOI: 10.1021/acs.jchemed.0c00264.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 12. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2012.

CARNEVALLE, M. R.; LOPES, S.; ROSSO, S. **Ciências da natureza: Lopes & Rosso: manual do professor**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

CHEVALLARD, Y. Ostensifs et non-ostensifs dans l'activité mathématique. *In: SEMINAIRE DE L'ASSOCIAZIONE MATHESIS*, 1994, Turin. **Actes** [...]. Turin: Mathesis: Società Italiana di Scienze Matematiche e Fisiche, 1994. p. 190-200. Disponível em: http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php?id_article=125. Acesso em: 18 jun. 2023.

CISCATO, C. A. M., PEREIRA, L. F. VJEMELLO, E. **Química**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

GODOY, L. P., AGNOLD, R. M. D.; MELO, W. C. **Multiversos: ciências da natureza: matéria, energia e** 1. ed. São Paulo: FTD, 2020.

IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. <https://doi.org/10.1351/goldbook>.

KOLB, D. **Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1984. V.1.

LIU, Q.; MA, J.; YU, S.; WANG, Q.; XU, S. Effects of an Augmented Reality-Based Chemistry Experiential Application on Student Knowledge Gains, Learning Motivation, and Technology Perception. **Journal of Science Education and Technology**, v. 32, p. 153-167, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10014-z>

MORTIMER, E. (Org.). **Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar**. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2020.

SANTOS, K. C. (Org.). **Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor**. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020.

SERIBELI, F. L.; ZAMBELLI, M. H.; MAXIMIANO, F. A. Interações intermoleculares: Análise dos Livros de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio. **Educação Química em Punto de Vista**, v. 7, p. 1-20, 2023.

SILVA, K. S.; FONSECA, L. S.; SILVA, L. P.; CARVALHO, E. F. Proposta de análise praxeológica de noções de química em documentos oficiais e livros didáticos. **Ciência & Educação**, v. 26, e20012, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320200012>

SU, C.-H.; CHENG, T.-W. A Sustainability Innovation Experiential Learning Model for Virtual Reality Chemistry Laboratory: An Empirical Study with PLS-SEM and IPMA. **Sustainability**, v. 11, p. 1027, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11041027>