

Interações intermoleculares: Análise dos Livros de Química do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio

Fábio Luiz Seribeli¹, Maria Helena Zambelli² e Flavio Antonio Maximiano³

¹Doutorando na Universidade de São Paulo Instituto de Química Programa de Pós-Graduação em Química (IQ-USP/Brasil)

Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP/Brasil)

 <https://orcid.org/0000-0002-6907-9218>

²Mestranda na Universidade de São Paulo Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências (USP/Brasil)

Professora do Colégio Salesiano Santa Teresinha, São Paulo

 <https://orcid.org/0000-0003-2537-4642>

³Doutor em Química, Universidade de São Paulo Instituto de Química (IQ-USP/Brasil)

Professor do Universidade de São Paulo Instituto de Química Departamento de Química Fundamental (IQ-USP/Brasil), Professor do Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências (USP/Brasil)

 <https://orcid.org/0000-0002-0776-1262>

Intermolecular Interactions: Analysis of Chemistry Books from the National High School Textbook Program

Informações do Artigo

Recebido: 04/06/2021

Aceito: 10/05/2022

Palavras-chave:

interações intermoleculares, livros didáticos, mapa conceitual.

Key words:

intermolecular interactions, textbooks, conceptual map.

E-mail: fabioseribeli@ifsp.edu.br

ABSTRACT

It is common for the concept of intermolecular interaction to be discussed in textbooks generally in a classificatory, reduced way, and it may even present some conceptual errors or induce them. The concept is fundamental for understanding natural phenomena and essential for the student to understand the nature of matter. The purpose of this text is to briefly discuss the topic, analyzing it in the textbooks of the National Textbook Plan 2018. The content analysis was used to investigate the chapter dealing with the theme, a comparative table was also built, with the concepts used to explain the theme, the molecular parameters that appeared throughout the text, mentioned phenomena and possible experiments.

INTRODUÇÃO

As interações intermoleculares ocorrem entre moléculas em fase condensada sendo responsáveis por inúmeros fenômenos e propriedades físico-químicas das substâncias, além

de, por exemplo, determinar as estruturas tridimensionais de macromoléculas em sistemas biológicos. Assim, a correta compreensão deste tema é fundamental para a interpretação e explicação de vários fenômenos físicos, químicos e biológicos (COOPER et al., 2015).

Compreender que a matéria é formada por um sistema de partículas que estão em interação, deve ser um dos objetivos da aprendizagem conceitual no ensino de química em nível médio (POZO; CRESPO, 2009) ou até mesmo em um curso de química geral na graduação. A correta compreensão do tema envolve diferenciar os tipos de interação possíveis, suas características, intensidades energéticas relativas e as propriedades moleculares que determinam essas interações entre as moléculas que compõem uma substância ou que estão presentes numa mistura. Há inúmeros fenômenos e demonstrações que exibem o impacto das interações intermoleculares nas propriedades dos materiais, incluindo viscosidade, tensão superficial, pressão de vapor e solubilidade (PERSON; GOLDEN; ROYCE, 2010). De acordo com Ogden (2017), a natureza abstrata de tais interações pode representar problemas aos estudantes em cursos de química do ensino médio. Estudos mostram que os alunos apresentam equívocos conceituais profundos sobre o tema e seu papel, por exemplo, nas mudanças de estado físico (OGDEN, 2017).

Indubitavelmente, o livro didático (LD) se consolidou como um importante recurso pedagógico e, independente dos avanços tecnológicos e a diversidade de fontes de informações hoje disponíveis, ainda tem sido o principal material didático utilizado em sala de aula. Constitui-se na fonte de informação a que, geralmente, todos os alunos têm acesso e, portanto, a mais usual (TURÍBIO; DA SILVA, 2017). Também se destaca por seu papel na prática pedagógica diária e suporte teórico e prático para o aluno, como instrumento de apoio para o professor e por se constituir na organização lógica e mais usual do conteúdo a ser ensinado. Pode, assim, ser considerado como uma forma de sistematização e organização dos conteúdos a serem abordados em sala de aula. Em muitos casos, pode constituir a única referência bibliográfica ou de leitura recente a que os alunos e professores têm acesso (BARRETO; MONTEIRO, 2008).

A criação do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLD), em 2004, teve como principal objetivo democratizar o acesso ao livro didático, promover a melhoria da qualidade do processo de ensino e aprendizagem no ensino médio e impor um padrão mínimo de qualidade aos LDs oferecidos no mercado editorial brasileiro (ECHEVERRIA; MELLO; GAUCHE, 2012). Tal programa se consolidou como uma política de Estado e os LDs ficaram mais acessíveis aos estudantes da rede pública de ensino.

Sendo o livro didático, instrumento fundamental como recurso didático e subsídio teórico, por ser um material distribuído em todas as escolas públicas do território brasileiro (ASSIS; VAZ, 2020), o objetivo do presente trabalho é analisar como é tratado o tema

Interações Intermoleculares nos LDs de química para o ensino médio (EM) aprovados no PNLD de 2018 (triênio 2018, 2019 e 2020). Tal análise envolve a investigação dos parâmetros moleculares (geometria/dimensões moleculares e também as propriedades inerentemente relacionadas à distribuição de cargas nas moléculas) utilizados na descrição dos diferentes tipos de interações, o elenco dos fenômenos relacionados às interações intermoleculares, além dos experimentos propostos para melhor compreensão do tema.

Junto aos aspectos e informações acima elencados, são também analisados como os conceitos fundamentais presentes nos textos são conectados, uma vez que as relações estabelecidas entre os diferentes conceitos que compõe um tema, constituem-se numa verdadeira estrutura conceitual que fundamentam o mesmo (POZO; CRESPO, 2009). Em síntese, a análise do presente trabalho procura responder as seguintes questões:

- Em que momento dentre os conteúdos presentes nos LDs, as interações intermoleculares são estudadas?
- Quais são os conceitos fundamentais e, principalmente, aqueles relacionados às características moleculares, aqui denominados como parâmetros moleculares, são apresentados nestes LDs?
- Quais os fenômenos mais usados pelos LDs na abordagem do tema?
- Quais os experimentos propostos no tópico referente ao tema em cada LD?
- Qual é a estrutura conceitual, expressa através das relações estabelecidas entre os conceitos sobre o tema interações intermoleculares, que está presente nos LDs analisados?

APORTE TEÓRICO/METODOLÓGICO

Inicialmente, foram selecionados os livros didáticos de Química para o Ensino Médio do PNLD 2018, escolhidos para o triênio 2018-2019-2020 (Quadro 1). Em cada obra identificou-se o momento, o contexto e o espaço dedicados à abordagem do tema. No tópico em que o tema foi tratado, foram identificados: os conceitos fundamentais e os parâmetros moleculares presentes, os fenômenos e experimentos que são apresentados no estudo do tema, bem como a presença de possíveis equívocos conceituais, também foram observadas as diferentes propostas de exposição do tema. Considerando que comumente o tema é retratado de forma classificatória com as respectivas descrições das interações mais comuns, o presente trabalho buscou investigar os parâmetros moleculares associados a cada tipo de interação, os conceitos envolvidos e suas inter-relações, com a finalidade de verificar quais seriam os conceitos capazes de estabelecer relações entre os diferentes tipos de interação.

Como forma de capturar e explicitar as principais correlações conceituais apresentadas nos LDs optou-se por representar estas relações na forma de um mapa conceitual. Mapas

conceituais, que são estruturas gráficas utilizadas para representar o conhecimento. São formados por conceitos escritos dentro de caixas ou círculos, de forma a se constituir como um rótulo. Estes conceitos são ligados entre si por setas que orientam a leitura sequencial que deve ser feita. Sobre a seta é escrita uma frase de ligação que expressa a relação conceitual entre os dois conceitos ligados. A unidade básica de significado (unidade semântica) de um mapa conceitual é, então, composta por conceito 1 → frase de ligação → conceito 2 e é chamada de proposição (NOVAK; CAÑAS, 2010).

Quadro 1 - Livros Didáticos de Química PNLD 2018 analisados.

Código	Referências	Páginas analisadas
LD1	REIS, M. Química: ensino médio, vol. 1. 2ª ed. São Paulo: Ática, 2016.	Capítulo 8 - Ligação covalente e forças intermoleculares - p. 215 a 224.
LD2	SANTOS, W. L. P.; MÓL, G. S.; DIB, S. M. F.; MATSUNAGA, R. T.; SANTOS, S. M. O.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S. e FARIAS, S. B. Química cidadã, vol. 1. 3ª ed. São Paulo: Ed. AJS, 2016.	Capítulo 7 - Substâncias: Interações e propriedades - p. 255 a 282.
LD3	CISCATO, C. A. M.; PEREIRA, L. F.; CHEMELLO, E. e PROTI, P. B. Química: ensino médio, vol. 1. São Paulo: Moderna, 2016.	Capítulo 5 - O gás oxigênio e sua importância para a vida na terra. Tema 1: Obtenção do gás oxigênio a partir do ar atmosférico e as interações intermoleculares - p. 226 a 234.
LD4	MORTIMER, E. F. e MACHADO, A. H. Química: ensino médio, vol. 1. 3ª ed. São Paulo: Scipione, 2016.	Capítulo 9 - Ligações químicas interações intermoleculares e propriedade dos materiais - p. 262 a 267.
LD5	LISBOA, J. C. F.; BEZERRA, L. M.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; BIANCO, P. A. G.; LIEGEL, R. M.; ÁVILA, S. G.; YDI, S. J.; LOCATELLI, S. W. e AOKI, V. L. M. Ser protagonista: química, vol. 1. 3ª ed. São Paulo: Edições SM, 2016.	Capítulo 8 - Estrutura molecular e propriedades dos materiais: Forças intermoleculares - p. 149 a 160.
LD6	NOVAIS, V. L. D.; TISSONI, M. A. Vivá: Química, vol. 3. Curitiba: Positivo, 2016.	Capítulo 2 - Desenvolvimento da Química Orgânica - p. 59 a 62.

Neste trabalho, foi utilizada uma estratégia que visa construir um mapa conceitual a partir de textos (JUNQUEIRA; MAXIMIANO, 2020a). Tal estratégia consiste em: 1) Seleção dos fragmentos dos textos a serem convertidos; 2) Seleção dos conceitos, considerando os que são essenciais ao tema ou os que aparecem em grande frequência no texto; 3) Estabelecimento dos conceitos que aparecem relacionados e redação de uma frase de ligação

que sintetize e represente essa relação, feita através de leitura e releituras atentas dos fragmentos selecionados e, 4) Construção do mapa conceitual utilizando o *software* CMap Tools[®] (CAÑAS et al., 2004).

Primeiramente foi obtida uma lista de proposições para cada LD. Em seguida, todas as listas foram combinadas e foram construídos dois mapas conceituais representativos, os quais sintetizavam o conteúdo de todos os LDs. Em ambos, cada proposição foi codificada de maneira a identificar quais LDs as apresentavam. No primeiro, é demonstrado a parte dos textos que introduz o tema (Figura 1) e no segundo, os parâmetros moleculares que determinam os tipos de interação (Figura 3).

DISCUSSÃO

1) Visão geral e contextos para a abordagem do tema nos Livros Didáticos analisados

Inicialmente é apresentado um breve relato de como o tema é tratado em cada um dos LDs, mostrando a configuração do tema no currículo expresso no LD, o contexto, exemplos, definições e atividades propostas. Em cinco dos seis LDs analisados, o tema é apresentado no primeiro ano do Ensino Médio, geralmente, após os tópicos Tabela Periódica e Ligações Químicas. A exceção é o LD6, onde o tema é abordado no volume referente ao terceiro ano, especificamente no tópico de Introdução à Química Orgânica. Os LDs dedicam em média dez páginas às Interações Intermoleculares e, a maioria deles, iniciam com contextos e questões que exibem a importância deste assunto.

No LD1 o tema é abordado no contexto de uma unidade temática denominada “Poluição de Interiores” e apresenta apenas um tópico dedicado às forças intermoleculares, dentro do capítulo sobre “Ligações covalentes e forças intermoleculares”. A introdução ao tema inicia-se com algumas questões relacionadas ao cotidiano, por exemplo, insetos que andam sobre a água, uso de colas, formação de bolhas de sabão e a mistura entre água e óleo, evidenciando a importância das forças intermoleculares na interpretação de tais questões. Em seguida, as interações dipolo induzido-dipolo induzido, dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio são apresentadas com suas respectivas definições e com o exemplo de uma substância em que tal interação está presente. Logo depois, dois quadros são apresentados, uma proposta de experimento para a formação de bolhas com soluções a base de detergentes e o destaque denominado de “curiosidade” sobre quão fundamental é a tensão superficial da água e o fato de alguns insetos pousarem em sua superfície. No final do tópico, uma tabela é apresentada com diferentes substâncias, suas massas molares, as respectivas forças intermoleculares

envolvidas, temperaturas de fusão e ebulição e os valores de energia típicos para os diferentes tipos de interações.

Já em LD2, o tema está inserido em um tópico denominado “forças intermoleculares ou forças de van der Waals” no capítulo sobre “substâncias: interações e propriedades”. A abordagem do tema inicia-se com a diferenciação entre ligações químicas e as forças intermoleculares, em especial em relação as espécies químicas envolvidas e a ênfase dada ao fato de as mudanças de estado físico não envolverem quebra de ligações químicas. Apresenta-se um pouco sobre a origem das interações a partir da equação de van der Waals e em seguida são apresentadas as definições das forças de London, interações dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio. Há um destaque em relação à universalidade das forças de London e a intensidade de cada tipo de interação. O tópico termina com a relação entre propriedades das substâncias e as forças intermoleculares, principalmente a relação entre temperatura de ebulição e a massa molecular.

Um capítulo intitulado “o gás oxigênio e sua importância para a vida na Terra” cria o contexto para o tema em LD3. Tal capítulo é dividido em uma introdução e mais três unidades temáticas, uma delas, aprofunda o contexto sob o título “Obtenção do gás oxigênio a partir do ar atmosférico e as interações intermoleculares”. Formas de obtenção do gás oxigênio via reações químicas são apresentadas e um experimento com materiais simples com o objetivo de determinar o teor de oxigênio no ar atmosférico são presentes. Em seguida, é apresentado o processo de obtenção industrial do gás oxigênio a partir da liquefação do ar atmosférico. É na explicação deste processo, que as interações intermoleculares são descritas com um breve destaque ao trabalho de Johannes Diederik van der Waals e Fritz W. London. Seguem as definições e exemplos das interações dipolo-dipolo, forças de London e ligações de hidrogênio, finalizando com um quadro que resume e compara os diferentes tipos de interações e as ligações químicas em função da ordem de grandeza da energia envolvida e as respectivas características de cada interação/ligação.

A abordagem do tema em LD4, que foi incluído no capítulo que abrange também as ligações químicas, chamado “ligações químicas, interações intermoleculares e propriedades materiais”. O tópico inicia mostrando a relação entre propriedades de substâncias moleculares como pontos de fusão, ebulição e a solubilidade, com as interações intermoleculares e um breve destaque para a diferença entre ligações químicas e interações. Em seguida, gráficos e tabelas são apresentados com diferentes substâncias, em especial hidrocarbonetos em função de suas respectivas massas molares, temperaturas de fusão e ebulição. Nesse contexto, as interações dipolo induzido-dipolo induzido foram caracterizadas como interações de van der Waals e a intensidade de tais interações é descrita como proporcional à massa molar e superfície de contato das moléculas. Em sequência foram

apresentadas as interações dipolo-dipolo e as ligações de hidrogênio, as últimas com ênfase ao comportamento anormal em relação a tendência dos pontos de ebulição de hidretos e também a existência de ligações de hidrogênio intramoleculares.

No LD5 o tema é apresentado numa unidade que leva o título “Do macro ao micro” e inserido no capítulo sobre “Estrutura molecular e propriedades dos materiais: forças intermoleculares”. Para introdução do tema, o capítulo é iniciado com uma contextualização relacionada a grande capacidade adesiva das patas das lagartixas explicada através da existência de forças atrativas entre as patas e as superfícies. Em seguida, as interações intermoleculares foram definidas e apresentadas como o fator que explica os três estados físicos da matéria e a solubilidade de alguns materiais em determinados solventes. Assim como os demais LDs, os tipos de interações foram apresentados, primeiramente as interações dipolo-dipolo e na mesma página, a partir de um espaço caracterizado como “saiba mais”, as interações íon-dipolo foram também definidas e exemplificadas via processo de hidratação de sais. As ligações de hidrogênio foram apresentadas e no “saiba mais” há um destaque da relação entre tais interações e o fenômeno da tensão superficial da água. E no fim do capítulo, as forças de London e as interações dipolo-dipolo induzido foram descritas e a aplicação enfatizada foi relacionada ao fenômeno do oxigênio dissolvido em ambientes aquáticos. A intensidade das interações intermoleculares foi comparada e associada aos valores das temperaturas de ebulição e, por fim, há uma breve discussão sobre a solubilidade e a capacidade do etanol ser solúvel tanto em água como em gasolina com a proposta de atividade experimental sobre a determinação do teor de etanol na gasolina.

Por fim, a forma como o tema é tratado em LD6 é diferente em relação aos demais livros analisados. O tópico é apresentado em uma unidade temática denominada “Fundamentos da Química Orgânica”, no capítulo sobre o “desenvolvimento da química orgânica”. As interações moleculares são então definidas e apresentadas como fundamentais na compreensão de fenômenos como condutibilidade elétrica, temperaturas de fusão e de ebulição. Logo depois, são apresentadas definições e exemplos das interações dipolo-dipolo, dipolo induzido-dipolo induzido e ligação de hidrogênio. As interações são, então, discutidas em função da influência nas temperaturas de fusão e ebulição, com destaque dado ao tamanho das moléculas correlacionado à intensidade das interações. O tema termina com a relação existente entre as interações moleculares e a solubilidade de substâncias polares e apolares em água.

No Quadro 2 são resumidas as principais informações consideradas pertinentes para a compreensão do tema, constituídas por *parâmetros moleculares*, *conceitos fundamentais*, *fenômenos relacionados* e *experimentos propostos*.

Quadro 2 - Livros Didáticos de química para o ensino médio analisados.

LD	Parâmetros moleculares	Outros Conceitos	Fenômenos	Experimentos
LD1	Eletrosfera, dipolo, eletronegatividade, massa molar.	Propriedades das substâncias, forças de van der Waals, temperatura de fusão e ebulição, densidade.	Sublimação do gelo seco, comportamento anômalo da água (densidade), tensão superficial, solubilidade.	“Bolhas mais resistentes” (tensão superficial)
LD2	Dipolo, distribuição de cargas elétricas, eletronegatividade.	Propriedades físicas (estado de agregação), solubilidade, ligações químicas, intensidade da força, forças de van der Waals, temperaturas de ebulição e fusão.	Adesão da lagartixa, viscosidade da água, água do mar e solubilidade	Por que alguns materiais se misturam e outros não?
LD3	Distribuição dos elétrons, dipolo, polarizabilidade, eletronegatividade.	Natureza eletrostática, magnitude das forças, propriedades macroscópicas (estados físicos), densidade de carga, forças de van der Waals.	Obtenção do gás oxigênio a partir do ar atmosférico, Solubilidade do gás oxigênio em água.	Teor de gás oxigênio no ar atmosférico.
LD4	Eletrosfera, massa molar, superfície de contato, dipolo, eletronegatividade, nuvem eletrônica.	Natureza eletrostática, Intensidade das forças, Ligações químicas, Propriedades físicas, temperaturas de fusão e ebulição.	Insetos sobre a água (tensão superficial, bolhas de sabão, solubilidade.	Solubilidade em água (polar) e aguarrás (apolar).
LD5	Momento dipolar, nuvem eletrônica, distribuições de carga, superfície de contato.	Intensidade das forças, propriedades dos materiais, temperaturas de ebulição, solubilidade, forças de van der Waals.	Lagartixa e sua capacidade adesiva, tensão superficial na água, oxigênio dissolvido em água, DNA, álcool etílico em água e gasolina.	Teor de álcool na gasolina,
LD6	Dipolos, densidade eletrônica, eletronegatividade, superfície de contato.	Força das interações, condutibilidade elétrica, temperaturas de fusão e ebulição, forças de atração e repulsão, forças de van der Waals.	Mudanças de estado físico, solubilidade em líquidos.	-

Para as definições das interações intermoleculares na introdução ao tema nos diferentes livros didáticos analisados, seguindo a metodologia acima descrita (JUNQUEIRA; MAXIMIANO, 2020a), foi obtido um mapa conceitual para a introdução do tema nos LDs (Figura 1).

Numa perspectiva geral, os livros didáticos caracterizam as interações intermoleculares e as forças de van der Waals como termos sinônimos, tais forças, também são descritas nos livros analisados como constituídas por interações dipolo-dipolo, dipolo induzido-dipolo induzido e ligações de hidrogênio. Há também um destaque fundamental sobre a natureza eletrostática das interações entre as moléculas e a importância da diferenciação entre interações e as ligações químicas, diferenciação presente em quatro dos seis LDs investigados. Embora, todos os livros analisados buscam diferenciar os tipos de interação através da magnitude envolvida em cada uma, apenas três LDs, enfatizaram que as interações ocorrem tanto em moléculas polares como em moléculas apolares.

Sobre as propriedades físico-químicas citadas, todos os textos apresentam a temperatura de ebulição como consequência direta das interações, também são largamente citadas a temperatura de fusão e a solubilidade. Propriedades como condutibilidade elétrica e a densidade são citadas por dois LDs diferentes.

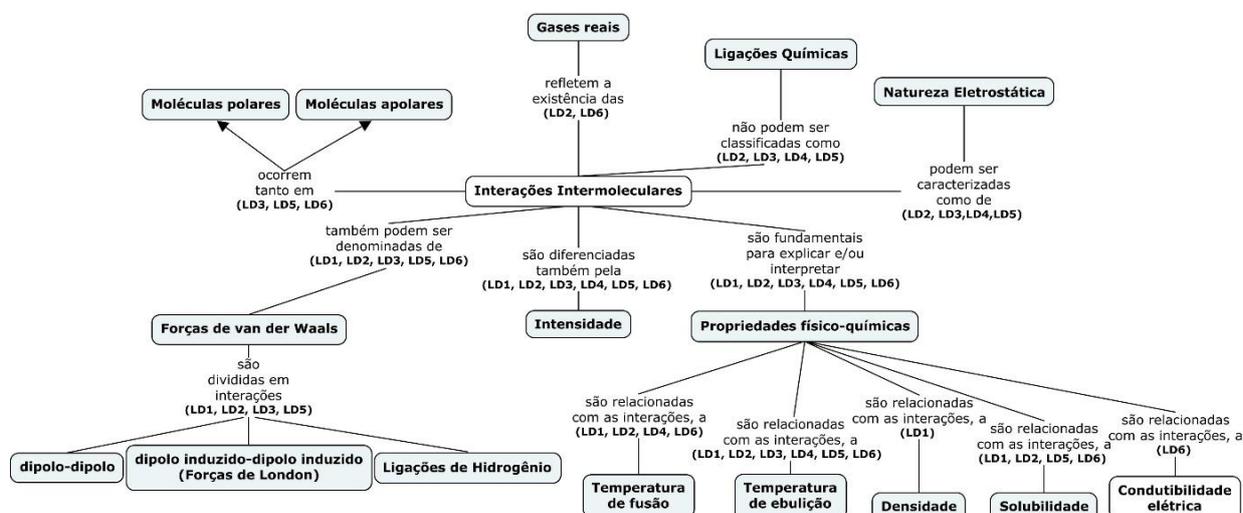


Figura 1 - Mapa conceitual com os principais conceitos acerca do tema nos LDs.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2) A definição de cada tipo de interação

A maior parte dos livros classifica as interações intermoleculares como sinônimo de *forças de van der Waals*, e todos apresentam, ao menos, interações do tipo: dipolo-dipolo, dipolo induzido-dipolo induzido/forças de London e as ligações de hidrogênio. No decorrer do

conteúdo, outros tipos de interações são apresentados, por exemplo, as interações dipolo-dipolo induzido e as interações envolvendo íons e moléculas, presentes em LD5.

Segundo Murthy (2006), as interações de van der Waals são constituídas pelas interações dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido e dipolo induzido-dipolo induzido, que são caracterizadas como forças presentes em substâncias sem carga líquida. Já segundo o *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*, (IUPAC GOLD BOOK, 2021), as forças de van der Waals se referem as forças atrativas e repulsivas entre espécies moleculares, que não envolva à formação de ligações ou à interação eletrostática de íons ou de grupos iônicos entre si ou com moléculas neutras. No entanto, o termo é às vezes usado livremente para a totalidade das forças intermoleculares atrativas ou repulsivas inespecíficas. Ainda segundo as definições da IUPAC, (IUPAC GOLD BOOK, 2021), a ligação de hidrogênio não constitui as denominadas Interações de van der Waals, sendo mais bem consideradas como uma interação eletrostática entre um átomo eletronegativo e um átomo de hidrogênio ligado a um segundo átomo relativamente eletronegativo, intensificada pelo tamanho pequeno do átomo de hidrogênio.

Importante observar que LD2, LD3, LD5 e LD6, foram os únicos a apresentar as interações dipolo-dipolo induzido, em especial o destaque dado a esse tipo de interação nas explicações sobre o fenômeno do gás oxigênio dissolvido em água. Já as interações intermoleculares envolvendo íons e moléculas foram descritas apenas em LD5 e LD6, principalmente as interações íon-dipolo presentes em processos de dissolução de sais em água.

As forças de dipolo induzido foram descritas por metade dos LDs (LD1, LD4 e LD6) como interações de fraca intensidade e a ocorrência restrita a moléculas apolares ou também entre átomos de gases nobres. Essa restrição pode ser considerada como um sério equívoco, uma vez que mesmo uma molécula polar apresenta interações dispersivas, que podem ser mais significativas quanto maior o volume molecular, tal volume diretamente relacionado à sua polarizabilidade. O maior problema é que este tipo de afirmação corrobora com a ideia de que uma substância pode apresentar apenas um tipo de interação entre suas moléculas constituintes, de forma a criar uma categorização do tipo: moléculas polares apresentam entre si, apenas interações do tipo dipolo-dipolo e moléculas apolares apenas interações do tipo dispersão de London, mais lembrada por dipolo induzido-dipolo induzido. Dois sólidos comuns (gelo seco e iodo) foram citados em LD1, como exemplos de substâncias em que a presença desse tipo de interação é dominante, também como uma forma de contextualizar e mostrar a existência das interações dispersivas em materiais conhecidos do cotidiano.

Os livros didáticos LD2, LD3 e LD5 reconheceram a universalidade das forças dispersivas de London, “*as forças de London também ocorrem entre moléculas polares, pois essas forças se aplicam a todas as moléculas*”. O não reconhecimento de mais de um tipo de

interação atuante em dados sistemas moleculares e o desconhecimento do caráter universal das forças dispersivas são dificuldades presentes no processo de ensino e aprendizagem acerca do tema Forças Intermoleculares (COOPER; WILLIAMS; UNDERWOOD, 2015).

Em todos os casos, as forças de dipolo permanente foram apresentadas como forças de intensidade média e que ocorrem entre moléculas polares, por conseguinte um dos parágrafos trata da diferença de magnitude em relação às forças de dipolo induzido.

...substâncias cujas moléculas são unidas por forças de dipolo permanente tenham maiores temperaturas de fusão e de ebulição do que aquelas cujas moléculas são unidas por forças de dipolo induzido (comparando substâncias de valores aproximados de massa molar). (LD1)

A noção das diferentes intensidades das interações intermoleculares é fundamental ao pleno entendimento do tema e apesar da classificação das forças como fracas ou médias, pode-se observar a importância de considerar outros parâmetros ao comparar propriedades físicas das substâncias, não utilizando como critério apenas o tipo de interação.

As ligações de hidrogênio foram apresentadas em quase todos os LDs como forças intermoleculares de intensidade alta e ocorrência associada a moléculas que possuem um átomo de hidrogênio ligado a um átomo de flúor, oxigênio ou nitrogênio (elementos muito eletronegativos). Mesmo sendo o tipo de definição mais comum nos diversos livros didáticos de química do Ensino Médio, se faz importante destacar, que ambos os átomos eletronegativos ligados ao hidrogênio são geralmente, mas não necessariamente, N, O ou F, além do fato da também ocorrência de ligações de hidrogênio intramoleculares (IUPAC GOLD BOOK, 2021). Apenas LD4 descreveu a possibilidade ligações de hidrogênio intramoleculares e as apresentaram como típicas em estruturas tridimensionais, moléculas de ácidos nucleicos e proteínas. E somente LD6, classificou a ligação de hidrogênio como um caso particular de interação dipolo permanente-dipolo permanente.

A ligação de hidrogênio é indiscutivelmente o tipo mais importante dentre as interações intermoleculares, apresentada como um termo principal no título, resumo ou lista de palavras-chave de mais de 10.000 publicações de pesquisa por ano e as diferenças previstas entre a ligação de hidrogênio e outros tipos de ligação comumente levam à confusão pedagógica que está bem documentada na literatura de educação química (WEINHOLD; KLEIN, 2014).

3) Os fenômenos típicos que são explicados a partir das interações intermoleculares

Um fenômeno relatado em dois dos livros didáticos investigados e muito comum na abordagem das forças de London (Quadro 2), refere-se à capacidade adesiva das patas de

lagartixas nas superfícies das paredes. O trabalho de Gottschalk e Venkataraman (2014), utilizou uma atividade com animação em computador exatamente sobre a capacidade da lagartixa de andar em superfícies verticais para ilustrar como as forças de London são fundamentais do ponto de vista macroscópico. Os autores relataram que a atividade auxiliou os estudantes no desenvolvimento de uma compreensão conceitual da origem física das forças de London e entendimento da natureza dessas interações, além da noção do caráter aditivo de tais interações.

Outro fenômeno apresentado em mais de um dos LDs, está relacionado à tensão superficial, seja na formação de bolhas de sabão ou como característica fundamental para a locomoção de insetos sobre a água. De acordo com Domínguez, Toro e Serrano (2014), a compreensão do conceito de interações intermoleculares, é considerada difícil em função da demanda de conhecimento em nível molecular e uma alternativa pode ser a medida de uma propriedade macroscópica como a tensão superficial para diferentes substâncias e relacionar essas medidas às forças de interação e sua natureza. Apesar de os textos explorarem especificamente a tensão superficial da água e sua importância na natureza, poucos explicam o fenômeno a partir de uma “*perspectiva atômico-molecular*”, com destaque as ligações de hidrogênio.

A solubilidade também foi retratada e de forma objetiva, em LD1, recorreu-se a famigerada regra empírica “*semelhante dissolve semelhante*”, com alguns exemplos do cotidiano para afirmar que compostos constituídos por moléculas polares são solúveis em solventes polares. Junqueira e Maximiano (2020b) mostram essa ampla utilização da regra empírica “*semelhante dissolve semelhante*” nas explicações de estudantes de graduação em química, que comumente induz a erros conceituais, ao invés de explorar uma descrição das interações distintas envolvidas entre soluto-soluto, soluto-solvente e solvente-solvente. Tal aspecto nos leva a pensar se este modelo de pensamento, já não deveria ser apresentado no Ensino Médio a partir de exemplos mais simples.

Os demais fenômenos apresentados no Quadro 2, também podem ser interpretados como as principais propriedades físico-químicas e que emergiram da análise dos livros didáticos e foram utilizadas para auxiliar na compreensão das interações intermoleculares: temperaturas de ebulição e fusão, densidade e solubilidade. Lembrando que tais propriedades, são restritas ao texto introdutório de cada LD, em outros momentos do capítulo relacionado ao tema, tensão superficial, viscosidade e mudanças de estado físico, também foram abordadas.

De acordo com Peckham e McNaught (2012), em cursos introdutórios de química, as forças intermoleculares são correlacionadas com os pontos de ebulição em grupos químicos, por exemplo, hidretos das famílias IV-VII, e constata-se uma tendência de aumento dos pontos

de ebulição, quanto maior a massa molar ou número total de elétrons e consequente interações mais fortes. Tais tendências, geralmente são estendidas a outras propriedades físicas, como ponto de fusão, viscosidade, tensão superficial e assim por diante. No entanto, esse aumento dos pontos de ebulição com o aumento da massa e, consequentemente, o número de elétrons, é característico do ponto de ebulição e não há o mesmo comportamento diretamente correlacionado para as outras propriedades citadas (PECKHAM; MCNAUGHT, 2012). Assim, embora as demais propriedades possam depender da intensidade das interações entre as moléculas que compõem uma substância, esta correlação pode não ser tão linear.

4) A presença dos parâmetros moleculares

Os parâmetros moleculares são fundamentais na definição dos diferentes tipos de interações moleculares. *Nuvem eletrônica, momento de dipolo, eletronegatividade, massa molar, superfície de contato e polarizabilidade*, são os principais parâmetros utilizados nos livros didáticos analisados e as relações conceituais feitas para estes conceitos estão sintetizadas no mapa conceitual presente na Figura 2, que apresenta a somatória das principais relações extraídas dos textos analisados.

A maioria dos conceitos relacionados aos parâmetros moleculares e os mais comuns em todos os livros didáticos analisados, considerando os conceitos mais citados, são os tipos de interações e as propriedades físicas temperaturas de fusão e ebulição. Entretanto, alguns conceitos são relacionados especificamente em apenas um dos livros didáticos: polarizabilidade (LD3), ligações de hidrogênio intramoleculares (LD4) e as interações dipolo-dipolo induzido e íon-dipolo (LD5).

As forças de London ou interações dipolo induzido-dipolo induzido, são o tipo de interação que apresenta o maior número de conexões com os conceitos que denotam parâmetros moleculares. Nas definições apresentadas em LD1 e LD4 há uma breve explicação sobre a formação de um dipolo apontando que, no momento da aproximação de moléculas ou átomos, há uma repulsão entre as eletrosferas e consequente movimentação dos elétrons. Quando estes elétrons se acumulando em uma dada região causam uma deficiência de elétrons na região oposta gerando um dipolo. Já em LD5 e LD6, foi usado o conceito nuvem eletrônica e utilizado para fundamentar a explicação da formação de um dipolo induzido. Já LD2 com o mesmo objetivo utiliza o termo distribuição de cargas. LD3 utiliza o termo densidade eletrônica e no contexto das explicações recorre à polarizabilidade, mostrando que a magnitude dessas forças dispersivas depende de tal propriedade, “a facilidade com a qual a

densidade eletrônica da molécula pode ser polarizada e conseqüente distribuição assimétrica de cargas (dipolos instantâneos)".

Como a polarizabilidade é um dos parâmetros fundamentais para o entendimento das forças dispersivas, é significativo abordar tal conceito (STRUYF, 2011). De acordo com Jasien (2008), alguns artigos discutem sobre qual seria a grandeza mais apropriada para caracterizar as interações dispersivas. Relata que em livros mais antigos, em especial os de química geral, as forças dispersivas em compostos orgânicos apolares são relacionadas com as suas respectivas massas molares, já em livros mais contemporâneos, a massa molar é substituída adequadamente pela polarizabilidade. O autor considera que a polarizabilidade, além de ser um conceito novo, é potencialmente difícil para a compreensão dos estudantes. Uma alternativa mais acessível seria a área superficial molecular (JASIEN, 2008).

Dois livros didáticos (LD4 e LD5) associam o conceito de superfície de contato à explicação das diferentes intensidades das interações dispersivas e também como uma forma de melhor traduzir as massas molares e as estruturas moleculares. O trabalho de Jasien (2008), também traz outro aspecto importante no uso da área superficial na abordagem das interações intermoleculares, o autor considera que a analogia com o funcionamento do velcro pode ajudar a descrever a natureza aditiva das interações dispersivas. Embora deva-se ter cuidado com o uso de analogias, esta em especial pode ajudar a desenvolver a noção de que cada interação, quando encontrada em grande número, pode resultar em uma forte adesão.

A nuvem eletrônica foi outro conceito importante e que é descrito principalmente na explicação da indução de um dipolo para a formação das interações de London. Nos livros didáticos há ênfase na *"repulsão entre as eletrosferas"*, *"deformação momentânea das nuvens"*, *"repulsão das nuvens"* e *"deslocamento de cargas"* das moléculas ou átomos de gases nobres quando se aproximam, logo, fica evidente a importância da compreensão do conceito de nuvem eletrônica.

É importante registrar que LD5 utiliza o conceito de nuvem eletrônica, também na explicação da formação de ligações de hidrogênio entre moléculas de HF, *"A interação da nuvem eletrônica do átomo de flúor atrai o H da molécula vizinha. A atração resulta na formação de uma cadeia de moléculas de HF"*.

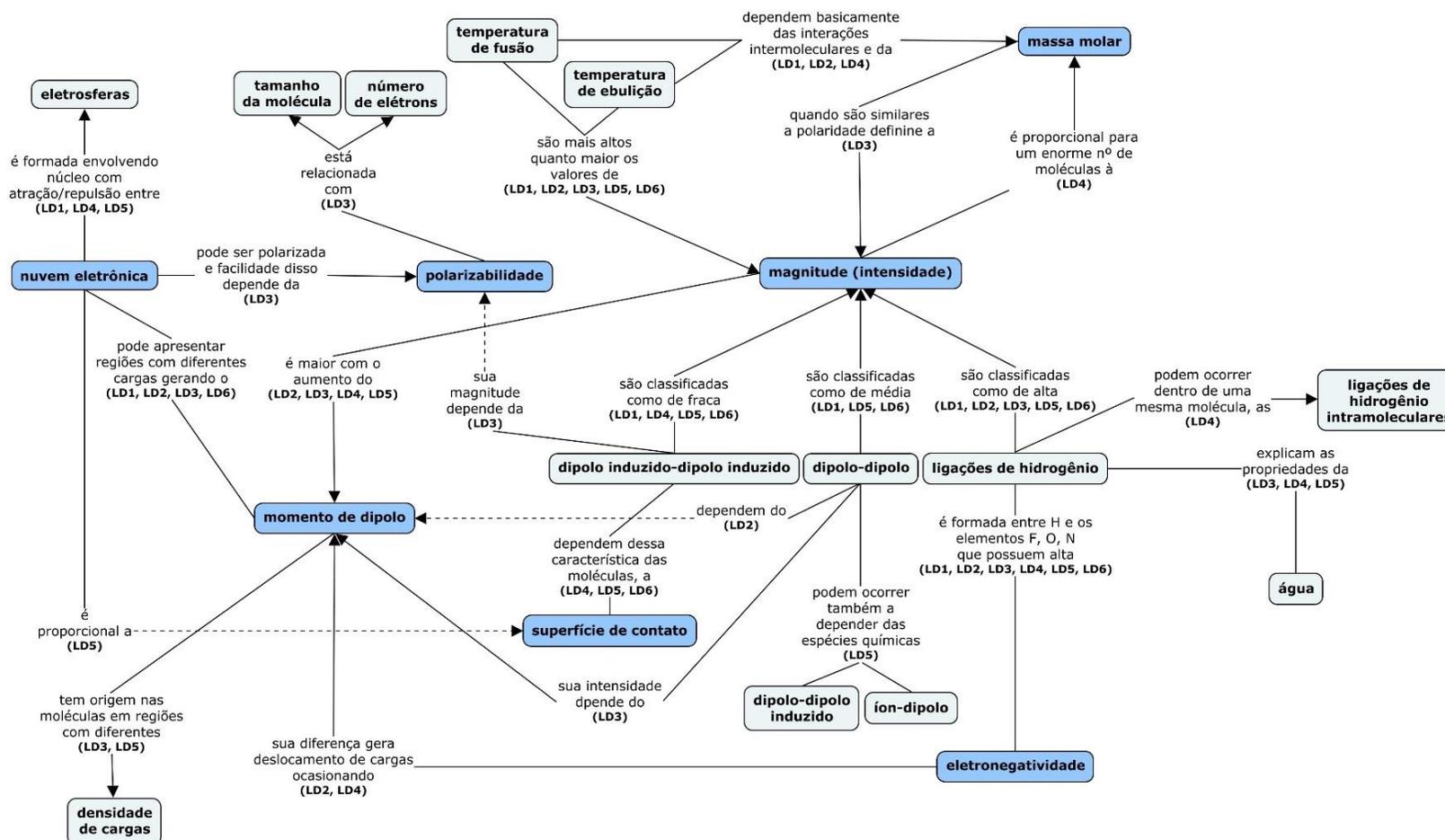


Figura 2 - Mapa conceitual com os parâmetros moleculares e os principais conceitos relacionados presentes nos livros didáticos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Finalizando, os parâmetros moleculares encontrados nos LDs mostram que é fundamental para a compreensão da natureza das interações intermoleculares e da relação entre a intensidade de cada tipo de interação com as propriedades físico-químicas apresentadas pelas substâncias, uma profunda compreensão da distribuição das cargas elétricas nas estruturas moleculares envolvidas. Observou-se uma grande quantidade de conceitos envolvidos nos diferentes textos e, conseqüentemente, a necessidade de se explicitar corretamente como se relacionam, especialmente os parâmetros moleculares: *densidade eletrônica*, *nuvem eletrônica*, *superfície de contato*, *massa molar e polarizabilidade*, de maneira que os alunos possam desenvolver uma compreensão completa e profunda sobre o tema.

5) A energia relativa das interações

Todos os dados presentes nos livros didáticos, corroboram com a ideia de uma “régua de intensidade” entre as interações intermoleculares, com as ligações de hidrogênio como principais por serem as mais intensas, seguidas das forças de dipolo permanente e forças de dipolo induzido como as mais fracas. Tal ideia pode contribuir para conclusões equivocadas de que substâncias com forças de London não apresentem, por exemplo, pontos de ebulição maiores, que substâncias cujas moléculas tenham ligações de hidrogênio (JASIEN, 2008). Ainda na parte introdutória dos LDs, foi possível observar que há um destaque para a diferença de intensidade entre as interações intermoleculares e as ligações químicas, além do apontamento sobre a natureza eletrostática presente em tais interações.

Nesse sentido, a Figura 3 apresenta uma tabela extraída de LD3, que resume as principais informações pertinentes em relação as características das moléculas envolvidas e as respectivas intensidades, comparando-as com as das ligações químicas, como foi descrito no texto introdutório ao tema dos livros aqui analisados.

Apesar da veracidade e da capacidade de síntese de tais tabelas, esse tipo de descrição dos valores de energia das interações, pode sugerir que é impossível para uma molécula apolar com apenas forças dispersivas, ter interações intermoleculares da mesma força que as ligações de hidrogênio (JASIEN, 2008).

O conceito de energia de interação foi utilizado nas definições de cada tipo de interação e depois na correlação com propriedades físicas como fraca, média e alta intensidade, respectivamente para as interações de dipolo induzido, dipolo e ligações de hidrogênio. É importante pontuar que apenas LD3 apresentou dados quantitativos referentes à energia de cada tipo de interação e fez comparações entre a energia envolvida nas forças intermoleculares em relação às ligações químicas.

Comparação entre interações intermoleculares e ligações químicas		
Tipo de interação	Ordem de grandeza (kJ/mol)*	Características
Dipolo-dipolo	0,1-10	Ocorre entre moléculas polares.
Forças de London	0,1-2	Ocorre entre todos os tipos de molécula. Sua intensidade depende da polarizabilidade das moléculas.
Ligação de hidrogênio	10-40	Ocorre entre moléculas que apresentam ligações covalentes O — H, N — H e F — H.
Ligação covalente	100-1.000	Ocorre a partir do compartilhamento de elétrons entre átomos de uma molécula.
Ligação iônica	100-1.000	Ocorre a partir da interação eletrostática entre íons.

Figura 3 - Tabela reproduzida de LD3 sobre as características das moléculas e respectivas intensidade das interações intermoleculares.

Fonte: Ciscato *et al.* (2016, p. 232).

Mesmo que abordado somente em uma perspectiva conceitual na maioria dos LDs, a percepção da importância da magnitude das interações para a interpretação de propriedades físicas, como temperaturas de fusão e ebulição, é fundamental aos estudantes de ensino médio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da análise dos livros didáticos de Química para o Ensino Médio do PNL 2018, mostram que as abordagens das Interações Intermoleculares podem ser consideradas equivalentes entre os diferentes livros investigados, uma vez que a forma como o tema foi tratado e os conteúdos pertinentes apresentados sugerem um desenvolvimento parcialmente comum dos conteúdos. Na introdução ao tema, houve a definição das interações intermoleculares exibindo sua importância em fenômenos cotidianos, a natureza eletrostática de tais interações, aspectos que as diferenciam das ligações químicas e o elenco dos diferentes tipos de interações, além das propriedades das substâncias correlacionadas ao tema.

Cada tipo de interação intermolecular foi retratado de forma classificatória, com ênfase na polaridade das moléculas participantes da respectiva interação, sua intensidade em relação às demais, parâmetros moleculares utilizados para auxiliar no entendimento e fenômenos ou propriedades associadas a cada tipo de interação.

A maior parte dos fenômenos descritos pelos livros é constituída por propriedades físicas das substâncias, fenômenos envolvendo propriedades da água e a solubilidade de compostos em tal solvente, além de fenômenos presentes na natureza e em sistemas biológicos.

Os parâmetros moleculares fundamentais para a compreensão das interações foram utilizados por todos os livros didáticos para estruturação do tema, mesmo com algumas pequenas diferenças semânticas, em geral, são os que descrevem a distribuição de cargas nas estruturas moleculares: momento de dipolo, polarizabilidade, nuvem eletrônica, eletronegatividade, massa molar e área superficial.

Por fim, ficou evidente que tanto na introdução quanto durante o desenvolvimento do tema, há nos livros do PNLD uma preocupação em caracterizar a diferença de energia envolvida em cada tipo de interação e também entre as interações intermoleculares e as ligações químicas.

Diante dos resultados do presente trabalho, pode-se dizer que a abordagem do tema Interações Intermoleculares dentre todos os livros didáticos analisados, não apresentaram profundas distinções quanto a ordem e presença do conteúdo, embora não sejam homogêneos na apresentação dos conceitos relacionados aos parâmetros moleculares centrais para a compreensão do tema: *eletronegatividade, momento de dipolo, nuvem eletrônica, polarizabilidade, massa molar, superfície molecular e energia de interação*. Além de explicitar a correta inter-relação entre estes conceitos já que, tanto a definição de alguns como sua utilização como esquema de pensamento na explicação dos fenômenos envolvidos, dependem da compreensão de outros.

Há também alguns aspectos relacionados ao tema que devem ser mais bem explorados, em especial por não serem tratados em todos os são essenciais no que se refere ao entendimento do tema, a universalidade das forças dispersivas, a massa molar melhor representada pela polarizabilidade e interpretação submicroscópica de fenômenos como a solubilidade ao invés de regras empíricas.

Referências

ASSIS, N. R. B.; VAZ, W. F. Ensino de Química e Cidadania: Análise dos Livros Didáticos de Química do Programa Nacional do Livro Didático. **Revista Virtual de Química**. v. 12, n. 1, p. 196-222, 2020.

BARRETO, B. C., MONTEIRO, M. C. G. G. Professor, Livro Didático e Contemporaneidade. Ensaio da **Revista Pesquisas em Discurso Pedagógico** - Fascículo n. 4, 2008.

CAÑAS, A. J., HILL, G., CARFF, R., SURI, N., LOTT, J., GÓMEZ, G., ESKRIDGE, T. C., ARROYO, M., CARVAJAL, R. CmapTools: A Knowledge Modeling and Sharing Environment. **Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping: Concept Maps: Theory, Methodology, Technology**, Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 2004.

COOPER, M. M.; Williams, L. C.; Underwood, S. M. Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study. **Journal of Chemical Education**, v. 92, p. 1288-1298, 2015.

COOPER, M. M.; Williams, L. C.; Underwood, S. M.; Klymkowsky, M. W. Are Noncovalent Interactions an Achilles Heel in Chemistry Education? A Comparison of Instructional Approaches. **Journal of Chemical Education**, v. 92, p. 1979–1987, 2015.

ECHEVERRIA, A.; MELLO, I. C. e GAUCHE, R. O Programa Nacional do Livro Didático de Química no Contexto da Educação Brasileira. In: ROSA, M. I. P., ROSSI, A. V. (Org.). **Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências**. 2. ed. Campinas-SP: Editora Átomo, p. 62-83, 2012.

GOTTSCHALK, E., VENKATARAMAN, B. Visualizing Dispersion Interactions. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 5, p. 666–672, 2014.

IUPAC – International Union in Pure and Applied Chemistry, **Compendium of Chemical Terminology: Gold Book**, 2. Ed. IUPAC, 2019. 1670 p. Disponível em: <http://goldbook.iupac.org/pdf/goldbook.pdf>, Acesso em 10 de setembro de 2021.

JASIEN, P. G. Helping Students Assess the Relative Importance of Different Intermolecular Interactions. **Journal of Chemical Education**, v. 85, n. 9, p. 1222-1225, 2008.

JUNQUEIRA, M. M.; MAXIMIANO, F. A. Obtenção da estrutura conceitual do tema interações intermoleculares através da transformação de textos em mapas conceituais. **Caminhos da Educação Matemática em Revista/ Online**, v. 10, n. 1, p. 87-106, 2020a.

JUNQUEIRA, M. M.; MAXIMIANO, F. A. Interações intermoleculares e o fenômeno da solubilidade: explicações de graduandos em química. **Química Nova**, v. 43, n. 1, p. 106-117, 2020b.

MURTHY, P. S. Molecular Handshake: Recognition through Weak Noncovalent Interactions. **Journal of Chemical Education**. v.83, n.7, p. 1010-1013, 2006.

Novak, J. D., Cañas, A. J. A teoria subjacente aos mapas conceituais e como elaborá-los e usá-los. **Práxis Educativa**, 5, p. 9-29, 2010.

OGDEN, M. An Inquiry Experience with High School Students To Develop an Understanding of Intermolecular Forces by Relating Boiling Point Trends and Molecular Structure. **Journal of Chemical Education**, v. 94, p. 897–902, 2017.

PECKHAM, G. D.; McNAUGHT, I. J. Teaching Intermolecular Forces to First-Year Undergraduate Students. **Journal of Chemical Education**, v. 89, p. 955-957, 2012.

PERSON, E. C., GOLDEN, D. R., ROYCE, B. R. Salting Effects as an Illustration of the Relative Strength of Intermolecular Forces. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 12, p. 1332-1335, 2010.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

STRUYF, J. An Analytical Approach for Relating Boiling Points of Monofunctional Organic Compounds to Intermolecular Forces. **Journal of Chemical Education**. v. 88, n.7, p. 937-943, 2011.

TURÍBIO, S. R. T., DA SILVA, A. C. A influência do livro didático na prática pedagógica do professor que ensina matemática. **Revista Prática Docente**. v. 2, n. 2, p. 158-178, 2017.

WEINHOLD F., KLEIN R. A. What is a hydrogen bond? Resonance covalency in the supramolecular domain. **Chemistry Education Research and Practice**. v. 15, p. 276–285, 2014.

RESUMO

É comum que o conceito de interação intermolecular seja discutido nos livros didáticos geralmente de forma classificatória, reduzida, podendo até apresentar alguns erros conceituais ou induzi-los. O conceito é fundamental para a compreensão dos fenômenos naturais e essencial para o aluno compreender a natureza da matéria. O objetivo deste texto é fazer uma breve discussão sobre o tema, analisando-o nos livros didáticos do Plano Nacional do Livro Didático 2018. A análise de conteúdo foi utilizada para investigar o capítulo que trata do tema, também foi construído um quadro comparativo, com os conceitos utilizados para explicar o tema, os parâmetros moleculares que apareceram ao longo do texto, fenômenos mencionados e eventuais experimentos.

Palavras-chave: Interações intermoleculares; Livros Didáticos; Mapa Conceitual.

RESUMEN

Es común que el concepto de interacción intermolecular sea discutido en los libros de texto generalmente de manera clasificatoria, reducida, e incluso puede presentar algunos errores conceptuales o inducirlos. El concepto es fundamental para comprender los fenómenos naturales y esencial para que el alumno comprenda la naturaleza de la materia. El propósito de este texto es discutir brevemente el tema, analizándolo en los libros de texto del Plan Nacional de Libros de Texto 2018. Se utilizó el análisis de contenido para investigar el capítulo que trata el tema, también se construyó una tabla comparativa, con los conceptos utilizados para explicar el tema, los parámetros moleculares que aparecen a lo largo del texto, mencionan fenómenos y posibles experimentos.

Palabras clave: Interacciones intermoleculares; Libros didáticos; Mapa Conceptual.