

Interações Intermoleculares: conteúdos conceituais sobre o tema na graduação em química na concepção de especialistas

Intermolecular Interactions: conceptual content on the topic in undergraduate chemistry in the conception of specialists

Interacciones intermoleculares: contenido conceptual sobre el tema en el pregrado de química en la concepción de especialistas

Fábio Luiz Seribeli (fabioseribeli@ifsp.edu.br)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - Campus Avançado Tupã
<https://orcid.org/0000-0002-6907-9218>

Flavio Antonio Maximiano (famaxim@iq.usp.br)

Instituto de Química - Universidade de São Paulo (IQ-USP)
<https://orcid.org/0000-0003-2537-4642>

Resumo

As interações intermoleculares são fundamentais no contexto do conhecimento químico, uma vez que a natureza e a magnitude de tais interações definem as propriedades físico-químicas das substâncias. O presente trabalho¹ teve como objetivo investigar com base nas concepções de especialistas, o que um químico deve saber sobre as interações intermoleculares, quais os conceitos fundamentais e principais ideias sobre o tema. Foi aplicada uma metodologia de caráter qualitativo, contando como ferramenta de coleta de dados, entrevistas semiestruturadas, que foram analisadas a partir de um referencial teórico com foco nos conteúdos conceituais (dados/fatos, conceitos e princípios). Os resultados evidenciaram que o tema deve ser visto com maior centralidade durante a graduação em química. Os entrevistados apontaram a necessidade de aprimorar a abordagem do tema com ênfase no conhecimento mais profundo das estruturas moleculares, o que implica na compreensão dos conceitos polaridade e polarizabilidade, na percepção de que vários tipos de interações podem atuar em um mesmo sistema e relacionar as energias de interações, suas magnitudes em função das distâncias intermoleculares. É fundamental que o caráter aditivo e universal das forças dispersivas seja evidenciado na abordagem do tema, também a noção das distâncias e ângulos típicos das ligações de hidrogênio, além dos modelos que tratam das diferentes contribuições

¹Este artigo é uma versão ampliada e rediscutida do trabalho publicado nos Anais do XX Encontro Nacional de Ensino de Química realizado de forma virtual entre os dias 8 e 11 de março de 2021.

para a energia de interação total. A utilização das equações de energia potencial pode ser um recurso a ser explorado, especialmente por proporcionar uma visão unificada com a contribuição dos diferentes tipos de interação, além de demonstrar a importância dos parâmetros moleculares e das distâncias intermoleculares correlacionados à energia. Os especialistas também apontaram a necessidade de melhorar a abordagem do tema com ênfase tanto em aspectos da natureza das interações, quanto na interpretação atômico-molecular de fenômenos macroscópicos, fundamentada em aspectos de teoria, experimentação e simulação.

Palavras-chave: Ensino de Química, Interações Intermoleculares, Conteúdos Conceituais.

Abstract

Intermolecular interactions are fundamental in the context of chemical knowledge, since the nature and magnitude of such interactions define the physicochemical properties of substances. The present work aimed to investigate, based on the conceptions of specialists, what a chemist should know about intermolecular interactions, what are the fundamental concepts and main ideas on the subject. A qualitative methodology was applied, using semi-structured interviews as a data collection tool, which were analyzed from a theoretical framework with a focus on conceptual content (data/facts, concepts and principles). The results showed that the theme should be seen with greater centrality during graduation in chemistry. Respondents pointed out the need to improve the approach to the topic with an emphasis on deeper knowledge of molecular structures, which implies understanding the concepts of polarity and polarizability, in the perception that various types of interactions can act in the same system and relate the energies interactions, their magnitudes as a function of intermolecular distances. It is essential that the additive and universal character of the dispersive forces is evidenced in the approach to the theme, as well as the notion of the typical distances and angles of hydrogen bonds, in addition to the models that deal with the different contributions to the total interaction energy. The use of potential energy equations can be a resource to be explored, especially for providing a unified view with the contribution of different types of interaction, in addition to demonstrating the importance of molecular parameters and intermolecular distances correlated to energy. The specialists also pointed out the need to improve the approach to the subject, with emphasis both on aspects of the nature of interactions, and on the atomic-molecular interpretation of macroscopic phenomena, based on aspects of theory, experimentation and simulation.

Keywords: Chemistry Teaching, Intermolecular Interactions, Conceptual Contents.

Resumen

Las interacciones intermoleculares son fundamentales en el contexto del conocimiento químico, ya que la naturaleza y la magnitud de dichas interacciones definen las propiedades fisicoquímicas de las sustancias. El presente trabajo tuvo como objetivo investigar, a partir de las concepciones de especialistas, lo que un químico debe saber sobre las interacciones intermoleculares, cuáles son los conceptos fundamentales y las principales ideas sobre el tema. Se aplicó una metodología cualitativa, utilizando entrevistas semiestructuradas como herramienta de recolección de datos, los cuales fueron analizados desde un marco teórico con un enfoque de contenido conceptual (datos/hechos, conceptos y principios). Los resultados mostraron que el tema debe verse con mayor centralidad durante la graduación en química. Los encuestados señalaron la necesidad de mejorar el abordaje del tema con énfasis en un conocimiento más profundo de las estructuras moleculares, lo que implica comprender los conceptos de polaridad y polarizabilidad, en la percepción de que varios tipos de interacciones pueden actuar en un mismo sistema y relacionar las energías. interacciones, sus magnitudes en función de las distancias intermoleculares. Es fundamental que en la aproximación al tema se evidencie el carácter aditivo y universal de las fuerzas dispersivas, así como la noción de las distancias y ángulos típicos de los enlaces de hidrógeno, además de los modelos que abordan las diferentes contribuciones a la energía de interacción total. El uso de ecuaciones de energía potencial puede ser un recurso a explorar, especialmente para brindar una visión unificada con la contribución de diferentes tipos de interacción, además de demostrar la importancia de los parámetros moleculares y las distancias intermoleculares correlacionadas con la energía. Los especialistas también señalaron la necesidad de mejorar el abordaje del tema, con énfasis tanto en aspectos de la naturaleza de las interacciones, como en la interpretación atómico-molecular de los fenómenos macroscópicos, a partir de aspectos de teoría, experimentación y simulación.

Palabras clave: Enseñanza de la Química, Interacciones Intermoleculares, Contenidos conceptuales.

Introdução

As interações entre as moléculas são de extrema importância para o conhecimento químico, principalmente por conectar os universos atômico-molecular e macroscópico. Tais interações são entendidas no âmbito das forças atrativas e repulsivas entre moléculas (HERBST; MONTEIRO FILHO, 2019), constituindo-se em um modelo explicativo fundamental na explicação de diferentes fenômenos físico-químicos como os efeitos da adsorção (cromatografia) e viscosidade, os distintos estados físicos da matéria,

as tendências em solubilidade, as diferenças entre temperaturas de fusão e ebulição e as interações entre fármacos e receptores. (DA SILVA JÚNIOR *et al.* 2015).

Formalmente as interações intermoleculares são abordadas nas disciplinas introdutórias de Química Geral, mas estão presentes em outros tantos tópicos abordados ao longo do curso de graduação em química como, por exemplo, no estudo da solubilidade e precipitação de sais em Química Analítica, na abordagem das propriedades físicas dos compostos orgânicos em Química Orgânica, na explicação de propriedades coligativas em Físico-Química e até na compreensão do efeito hidrofóbico em Bioquímica.

O referencial teórico aqui adotado é o de Pozo e Crespo (2009), que tem como foco os conteúdos conceituais de ensino que podem ser considerados como sendo formados por fatos e/ou dados, conceitos específicos e princípios.

Os dados ou fatos são informações específicas e seu uso não necessita de compreensão, os estudantes podem, por exemplo, citar a fórmula molecular ou temperatura de ebulição da água sem conhecer a razão de tais fatos.

Já os conceitos específicos exigem compreensão e têm como uma das finalidades dar sentido aos dados. Além disso, pode-se considerar, que os próprios conteúdos que constituem as ciências, são estruturados por esses conceitos e suas inter-relações. O conceito de polaridade, por exemplo, demanda a compreensão da relação existente entre estrutura eletrônica, geometria molecular e disposição dos elétrons nas moléculas.

Por fim, os princípios ou conceitos estruturais são as leis e grandes generalizações do pensamento em uma determinada disciplina sendo, de certa forma, transversais e subjacentes ao longo de todo o conteúdo desta disciplina. Por exemplo, a conservação de energia é um conceito estrutural, organizador do próprio conhecimento, presente ao longo de todo o conteúdo curricular, mesmo que, muitas vezes não totalmente explícito (POZO; CRESPO, 2009).

Pode-se considerar que a compreensão, assimilação ou construção destes princípios deve ser a finalidade do currículo (POZO; CRESPO, 2009). Assim, a enumeração dos dados, conceitos e princípios, pode então ser considerada como uma tentativa de elucidação da organização conceitual de um determinado tópico ou tema que compõe uma disciplina.

O presente trabalho é guiado pela seguinte questão de pesquisa: *Quais são considerados os conceitos fundamentais, ideias centrais e princípios sobre o tema interações intermoleculares no ensino superior em química, segundo pesquisadores especialistas no tema?*

O objetivo geral do trabalho é, portanto, a definição da organização conceitual do tema interações intermoleculares, que o concluinte de um curso de graduação em Química deve compreender, na opinião destes especialistas. Tal organização conceitual será dada pelos principais conceitos, ideias e princípios que emergem das entrevistas com os especialistas, além de suas definições e conexões estabelecidas entre si.

Percurso Metodológico

Participaram dessa pesquisa, dez professores de ensino superior em Química, que também desenvolvem pesquisas (teóricas ou experimentais) das seguintes instituições: IQ-USP, IQ-UNICAMP, UFSCar, UFRGS, UFOB e FFCLRP-USP. O grupo é formado por nove homens e uma mulher e a experiência docente relatada variou de 7 a 26 anos de atuação.

As linhas de pesquisa de tais especialistas, apresentam conexões com o tema interações intermoleculares dentre as quais, sete estudam simulações computacionais, envolvendo desde macromoléculas biológicas, estudos espectroscópicos e simulações de dinâmica molecular de líquidos, até mecanismos de reações. Dois dos docentes desenvolvem pesquisas experimentais na área de físico-química de superfícies e interfaces de macromoléculas. Os sujeitos da pesquisa foram *anonimizados* e identificados de forma aleatória de P1 a P10. E os excertos das entrevistas registrados nas análises foram acompanhados pela identificação.

Foi utilizado como instrumento de coleta de dados, entrevistas semiestruturadas com os sujeitos da pesquisa. Tal instrumento permite certa organização das questões a serem abordadas por meio de um roteiro com as informações pertinentes ao estudo, sempre observando a questão de pesquisa que conduz o trabalho. As questões presentes no roteiro foram organizadas em tópicos: A) o tema na pesquisa do entrevistado; B) A estrutura do tema; C) O tema nas disciplinas ministradas; D) O tema no currículo.

Logo após, foi realizada a transcrição das entrevistas para auxiliar no processo de categorização e análise de conteúdo. Após leitura e releituras das transcrições, os textos

foram separados em categorias previamente pensadas durante a elaboração das questões. Neste trabalho são apresentadas as análises correspondentes apenas ao tópico B (a estrutura do tema), que envolvia as seguintes questões previamente formuladas: i) Como o professor considera o tema interações intermoleculares na química de uma maneira geral; ii) Quais são os conceitos fundamentais sobre o tema, os dados/fatos e princípios que emergem das respostas; iii) Quais as principais ideias que um egresso da graduação em química deve compreender referentes ao tema. Outras falas que remetiam a estes tópicos, feitas pelo entrevistado ao responder outras questões ao longo da entrevista, também foram marcadas e consideradas para análise. Em seguida, um texto foi elaborado como síntese também dos conteúdos conceituais (dados/fatos e princípios), que constituem a estrutura conceitual das Interações Intermoleculares, a partir das entrevistas.

Posteriormente às categorizações, os excertos das entrevistas foram utilizados para inferência, interpretação e efetiva análise de conteúdo qualitativa com base no referencial teórico já citado. Assim, a partir das transcrições das entrevistas foram elaboradas fichas de análise, exploradas pelas categorias (i), (ii) e (iii), em que cada termo (dado/fato, conceito ou princípio) relacionado ao tema durante a entrevista, foi separado em um campo da ficha. Em seguida, um excerto da entrevista foi reproduzido, mostrando o contexto em que o termo foi selecionado. Logo, outros conceitos presentes nesse excerto, que se relacionam ao termo, foram identificados. O mesmo procedimento foi realizado com cada um dos dados/fatos, conceitos e princípios, que emergiram das respostas dos entrevistados. Uma codificação foi gerada para identificação dos excertos extraídos do texto das entrevistas transcritas. No Quadro 1 podemos observar um recorte da ficha de análise da entrevista com P1.

Quadro 1 - Recorte da ficha de análise da entrevista com o especialista P1.

Dados/fatos	Excerto	Conceitos	Código*
Célula	<i>"...o funcionamento da célula depende de interações intermoleculares..."</i>	Interações intermoleculares	(1)
Conceitos	Excerto	Conceitos	Código
Interações de van der Waals	<i>"...raio atômico é importante porque na hora em que você vai discutir interações de van der Waals, você vai acabar falando em tamanho de átomos ou você vai discutir polarizabilidade que tem certa correlação com o tamanho dos átomos..."</i>	raio atômico tamanho dos átomos polarizabilidade	(12)
Princípios	Excerto	Conceitos	Código
Visão molecular	<i>"...eu acho que o químico tem que ter uma interpretação mais molecular e, até atômica dos fenômenos..."</i>	químico molecular/atômica fenômenos	(4)

*identificação da localização do excerto extraído da entrevista transcrita.

Para o item (i) foram extraídos trechos das respostas dos especialistas sobre qual a importância do tema interações intermoleculares no conhecimento químico. Para o item (ii) nuvens de palavras sintetizam os conceitos centrais e fenômenos sugeridos de cada entrevista, além dos mais frequentes no conjunto das análises. Um quadro foi elaborado para evidenciar conceitos fundamentais e principais fenômenos de cada entrevista. No item (iii) foi possível inferir e elencar as principais ideias que devem ser entendidas por um químico, de acordo com as concepções dos especialistas, no contexto das questões referentes à estrutura conceitual do tema interações intermoleculares.

Resultados e discussões

A respeito das concepções dos professores em relação ao tema na química de maneira geral (item (i)), percepções similares foram identificadas.

Os trechos extraídos das falas dos entrevistados apontam para a importância do tema na compreensão de fenômenos físico-químicos, além da onipresença do tema na química, caracterizada pela forma como está disseminado por todo conhecimento químico.

...eu acho que é um tema que está espalhado pela química de forma meio que horizontal...(P1)

...fundamental, essencial, porque as moléculas não estão isoladas, então, toda reatividade, toda estrutura química é baseada nessas interações...(P4)

...é o entendimento das interações intermoleculares que fornece a base molecular pra você entender qualquer sistema aplicado, quer seja uma doença, um fármaco, processos de biosseparação...(P8)

Os demais professores ressaltaram a importância do tema na química de maneira geral, em especial na interpretação de fenômenos e propriedades físico-químicas, as falas de P7 e P8 exibem esses aspectos.

...A química, ela lida com a obtenção de substâncias novas e a compreensão das propriedades das substâncias e a aplicação das substâncias para aplicações práticas de interesse. E todas as propriedades de uma substância vêm das interações intermoleculares também...(P7)

...Então, eu vou dizer que não só na química, mas eu acho que em todas as ciências que você procura quantificar e explicar o comportamento de coisas, vamos chamar de coisas, as interações intermoleculares são extremamente fundamentais...(P8)

A literatura científica da área de ensino de química, apresenta concepções que estão de acordo com estas opiniões dos sujeitos da pesquisa. Como aponta Murthy (2006), as interações intermoleculares são determinantes nas propriedades físico-químicas das substâncias e também influenciam significativamente em suas reações químicas, processos de separação cromatográfica e reconhecimento molecular em processos biológicos. Além de considerar que o conceito “interações intermoleculares” é universal e muito importante, logo, deve aparecer com maior ênfase no currículo de um curso superior em química. Segundo Gottschalk e Venkataraman (2014), as interações intermoleculares são fundamentais em escala molecular e determinantes nas observações em escala macroscópica.

A respeito dos conceitos que, nas concepções dos especialistas, são fundamentais para um químico compreender o tema (item (ii)), foi obtida uma nuvem de palavras² (Figura 1), que apresenta os conceitos extraídos das entrevistas. Todos os conceitos apresentados foram citados por cinco ou mais entrevistados, com exceção de “equação de van der Waals”, que foi referida por apenas três especialistas, mas foi mantida na nuvem, dada a sua importância na origem dos estudos das interações entre as moléculas.

² Todo procedimento foi realizado via Word Art que é um criador de arte de nuvem de palavras on-line.²

Os conceitos que estão em maior destaque (letras maiores) na nuvem, representam os que foram mencionados pelo maior número de especialistas e as cores foram utilizadas para agrupar as diferentes palavras em categorias. Em vermelho, estão as propriedades moleculares relacionadas à disposição dos átomos e principalmente dos elétrons nas moléculas. Em preto, os tipos de interações intermoleculares, constantes nas argumentações dos entrevistados. Os conceitos relacionados a representação das interações atrativas, repulsivas e correlações da força de tais interações com as separações entre as moléculas, foram apresentadas em azul. Os conceitos “solubilidade” “entropia” e “espectroscopia” estão representados em cores diferentes, o primeiro por ser considerado um conceito muito abrangente dentro do tema, o segundo por ser fundamental na explicação de muitos fenômenos, que não são completamente elucidados, somente com o arcabouço das interações e o terceiro por ser considerada uma das principais técnicas de detecção das interações.

Analisando a Figura 1, “interações eletrostáticas” e “solubilidade” foram os únicos conceitos mencionados por todos os especialistas. O primeiro termo foi evocado de forma literal, por nove dos entrevistados e apenas P5 as denominou de interações físicas. O contexto da maior parte das alusões ao conceito, está centrado em evidenciar, que todas as interações intermoleculares são essencialmente eletrostáticas, aspecto frequente em livros de química geral, em que as mesmas são atribuídas às interações coulômbicas entre cargas separadas por uma distância.

Figura 1 - Conceitos fundamentais mais presentes nas entrevistas com os especialistas.



Fonte: (Elaborado pelos autores)

O termo solubilidade aqui representa outros conceitos que tratam desse fenômeno, como “soluções”, “solvatação”, “dissolver” e “solvente”. Tal propriedade é muito utilizada para ilustrar de forma macroscópica, a dinâmica das interações intermoleculares, sobretudo quando é sabido que o processo de solubilização é consequência das interações entre soluto-soluto, soluto-solvente e solvente-solvente.

Nota-se que é fundamental a compreensão dos parâmetros moleculares, representados em vermelho, que sugerem a ideia de entender as moléculas por meio da distribuição de cargas em suas estruturas. Outro aspecto importante é conhecer os tipos de interações intermoleculares, exibidos na nuvem, em preto. Fundamentalmente, todas são de natureza eletrostática, o que nos faz pensar, se a compreensão desta natureza, pode ser um princípio unificador do tema, uma vez que o ensino, geralmente baseado na apresentação e estudo separado de cada um dos tipos de interação, pode prejudicar uma visão unificada das interações, dificultando, por exemplo, o reconhecimento de que

diferentes tipos de interações podem atuar em um mesmo sistema molecular (RODRIGUES; Da-SILVA; QUADROS, 2011).

No entanto, não deixa de ser importante o domínio das características e especificidades de cada tipo. Em seguida, outros conceitos que emergem das entrevistas dos especialistas, foram agrupados em azul e estão relacionados com a energia de interação, essencial para compreensão da magnitude das interações e sua correlação com a distância intermolecular, haja vista, ser fundamental, as tabelas que apresentam tipo de interação, energia e a dependência da distância ($1/r^n$) (MURTHY, 2006).

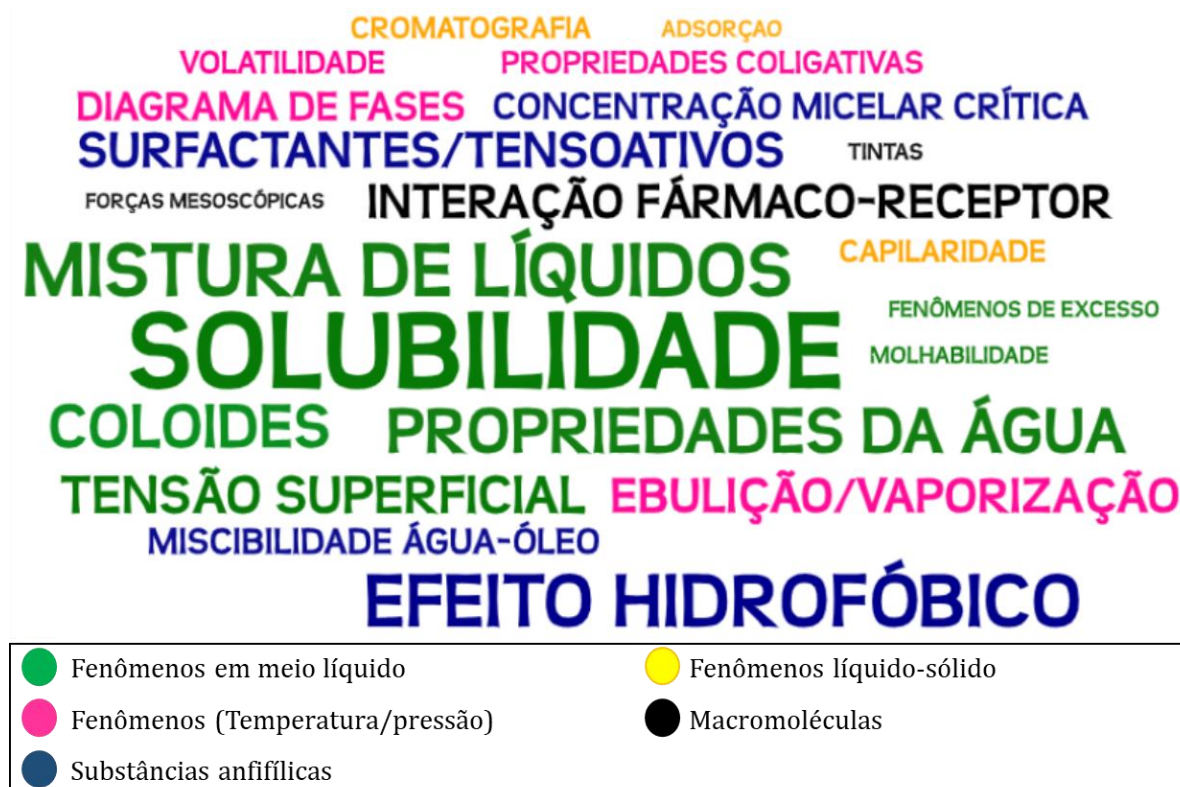
Uma implicação dessa primeira nuvem de palavras para o Ensino de Química está na reflexão de que, na concepção de especialistas, a prática de ensino das interações intermoleculares deve considerar: a compreensão da distribuição de cargas nas estruturas moleculares, a noção das características dos diferentes tipos de interações, o entendimento da energia de interação e a influência das distâncias intermoleculares.

Na Figura 2 é apresentada, também na forma de uma nuvem de palavras, os fenômenos físico-químicos sugeridos pelos sujeitos da pesquisa, como relevantes para estudar as interações intermoleculares, além de outros fenômenos reportados no decorrer das entrevistas. Fica evidente a abrangência do tema na química, pela diversidade representada por vinte e um fenômenos diferentes, cinco destes, foram citados apenas uma vez, por professores distintos. Os fenômenos mencionados por mais especialistas tem maior destaque (letras maiores), tais como, solubilidade, mistura de líquidos, efeito hidrofóbico e propriedades da água, foram referidos pela maioria dos especialistas.

A categorização representada por cores diferentes buscou organizar os fenômenos mais próximos, dado que praticamente todos os fenômenos estão relacionados com as interações intermoleculares em líquidos, soluções aquosas e sólidos, ou seja, na fase condensada. Em verde, estão representados fenômenos físico-químicos vinculados a processos em meio aquoso ou à própria água. Propriedades envolvendo correlações entre as interações e mudanças de pressão e temperatura, representados em cor-de-rosa. Fenômenos em que há a participação de moléculas anfifílicas, foram exibidos em azul e se destacam por estarem muito presentes no cotidiano. Em laranja, os três fenômenos apresentam interações que ocorrem entre líquidos e superfícies sólidas e em

preto, constam interações em macromoléculas e uma aplicação industrial, que depende das interações de uma molécula específica com o meio (solvente).

Figura 2 - Fenômenos sugeridos e outros que emergiram das entrevistas com os especialistas.



Fonte: (Elaborado pelos autores)

É importante pontuar, que foi diretamente perguntado aos entrevistados “*qual seria um fenômeno ou processo ideal para discutir o tema*”, o que certamente induziu suas respostas, no sentido de citar apenas o fenômeno considerado como mais significativo. No entanto, muitos dos especialistas recorriam a exemplos de fenômenos/processos durante a argumentação em suas repostas a outros questionamentos. Mais uma vez, há que se destacar o papel fundamental das interações intermoleculares na interpretação/explicação de uma gama de fenômenos/processos físico-químicos.

E como consequências para a prática de ensino, temos que, na concepção de especialistas, os fenômenos mais interessantes a serem utilizados na abordagem das interações intermoleculares são aqueles envolvendo misturas e propriedades físicas.

O Quadro 2 esclarece melhor os dados das nuvens e traz os conceitos em destaque de cada entrevista, os conceitos em comum, que emergiram durante as falas dos especialistas, além dos fenômenos sugeridos e outros extraídos da entrevista completa.

Quadro 2 - Síntese dos conceitos fundamentais e fenômenos/processos acerca do tema.

Pn	Conceitos em destaque	Conceitos em Comum	Fenômenos sugeridos para abordar o tema	Outros fenômenos citados durante as entrevistas
P1	Estrutura Molecular	Interações Eletrostáticas	Efeito Hidrofóbico	Coloides Ebulição/Vaporização Mistura de Líquidos Diagrama de Fases Propriedades da Água Propriedades Coligativas Cromatografia Tintas Forças Mesoscópicas Adsorção Molhabilidade Surfactantes/Tensoativos
P2	Interações Eletrostáticas	Polaridade	Capilaridade	
P3	Densidade Eletrônica	Polarizabilidade	Volatilidade	
P4	Potencial de Lennard-Jones	Forças Dispersivas	Solubilidade	
P5	Forças dispersivas	Energia de interação	Tensão Superficial	
P6	Potencial Eletrostático	Densidade Eletrônica	Interação Fármaco-receptor	
P7	Energia de Interação	Momento de Dipolo, Forças de van der Waals	Fenômenos de Excesso	
P8	Geometria Molecular	Estrutura Molecular	Concentração Micelar Crítica	
P9	Polaridade	Ligação de Hidrogênio	Miscibilidade Água/Óleo	
P10	Líquidos	Solubilidade	Líquidos iônicos	
		Geometria Molecular		
		Espectroscopia		
		Distância Intermolecular		
		Entropia		
		Dipolo-Dipolo		
		Íon-Dipolo		

Considerando os conceitos destacados para cada um dos entrevistados, ou seja, o conceito que cada sujeito da pesquisa utilizou de forma constante e evidenciada, ao longo da entrevista, é possível perceber uma associação à natureza e origem das interações, além do aspecto da magnitude das interações e da separação intermolecular. Alguns excertos das transcrições das entrevistas constataam tais percepções a respeito do tema:

...mas uma conversa mais filosófica que eu já tive aqui com alguns colegas é, no fundo, todas são eletrostáticas, é tudo lei de Coulomb...(P7)

...outra maneira de pensar quantitativamente é você ter na cabeça aquelas tabelas, que a gente já discutiu, com valores de energia de interação...(P1)

...como você tem essa potência, essas potências diferentes de leis de atração e repulsão, mais intensa e menos intensa dependendo da distância que tem essa espécie, para mim esse é um grande modelo, Lennard-Jones...(P3)

Os demais conceitos em destaque são representados por parâmetros moleculares, como densidade eletrônica, polaridade, polarizabilidade e potencial eletrostático molecular, que são extremamente importantes nas classificações dos diferentes tipos de interações atuantes em um sistema molecular. Além de conceitos como estrutura e geometria molecular, demonstram, que nas concepções dos sujeitos da pesquisa, o entendimento do arranjo espacial das cargas elétricas nas moléculas, é imprescindível ao tema. Isso pode ser verificado nos excertos a seguir.

...densidade eletrônica, posso não usar esse termo, mas eu espero que os alunos percebam. "Olha, esse aqui é mais levemente negativo, os elétrons estão mais desse lado". Então a gente tem uma característica dessa molécula...(P3)

...o reconhecimento de ácido e base, Teoria do Orbital Molecular e Potencial Eletrostático Molecular, esses são os conceitos básicos...(P6)

...a forma geométrica das moléculas acaba sendo muito importante, principalmente se você for aplicar as interações em contexto químico...(P8)

...vai discutir interações de van der Waals, você vai acabar falando em tamanho de átomos ou você vai discutir polarizabilidade que tem certa correlação com o tamanho do átomo...(P1)

Analisando alguns conceitos em comum, que emergiram das análises das entrevistas, como momento de dipolo e polarizabilidade molecular, percebe-se que os mesmos sugerem a ideia de propriedades moleculares, representadas pela distribuição dos elétrons nas moléculas. A partir disso, é possível observar, que o tema interações intermoleculares deve ser abordado com ênfase em parâmetros moleculares, especialmente polaridade e polarizabilidade, que definem a distribuição de cargas na molécula e a capacidade de distorção dessa distribuição durante o processo de interação. Tais conceitos estão relacionados à estrutura e volume molecular.

Assim, os conceitos fundamentais apresentados pelos entrevistados indicam que os mesmos, precisam ser abordados nos processos de ensino e aprendizagem, para a plena compreensão das interações intermoleculares. Esses conceitos estão vinculados ao

entendimento da relação estrutura-propriedade, por exemplo, os parâmetros moleculares polarizabilidade e polaridade, quanto mais bem compreendidos, mais podem auxiliar na interpretação de sistemas que apresentem interações intermoleculares (JUNQUEIRA; MAXIMIANO, 2020). Logo, parece que uma boa abordagem para o tema, seria, primeiro definir as propriedades moleculares acima citadas, para depois apresentar cada tipo de interação, definindo o papel, que tanto a polaridade como a polarizabilidade, apresentam nas interações e numa gama considerável de exemplos de processos interativos.

Essa abordagem, em um primeiro momento, poderia desenvolver as explicações sobre o momento de dipolo, como é calculado, a influência da simetria entre as cargas e sua representação em vetores. Em seguida, a polarizabilidade, sua natureza elétrica e equações de energia de interação que a utilizam, além do aprofundamento na relação desse parâmetro com as estruturas moleculares, fisicamente mais apropriado do que as massas molares.

Logo depois, a apresentação dos diferentes tipos de interações e suas características, além da respectiva equação de energia de interação em função da distância intermolecular, com ênfase no parâmetro molecular correspondente. Após os tipos de interações, uma forma de unificar e mostrar que várias interações podem atuar em um mesmo sistema molecular, seria a abordagem da equação da energia de interação total das forças atrativas, como uma resultante da somatória dos termos, anteriormente apresentados isoladamente para cada tipo de interação.

Também, a necessária e fundamental abordagem de aspectos relacionados a fenômenos e propriedades interpretadas e/ou explicadas pelas interações intermoleculares. Por fim, outro aspecto importante seria a compreensão da intensidade das interações atrativas e repulsivas em função da distância intermolecular, via gráfico e equação do potencial de Lennard-Jones. Uma atividade complementar, que poderia sintetizar esses aspectos, por exemplo, a apresentação de alguns dímeros, em distâncias distintas, e seus respectivos gráficos do potencial de Lennard-Jones (ver simulações no link³), explicando que as forças atrativas e repulsivas podem ser resultado da contribuição de diferentes tipos de interações.

³ https://phet.colorado.edu/sims/html/atomic-interactions/latest/atomic-interactions_pt_BR.html

De acordo com os entrevistados, é comum e apropriado, explicar as correlações das interações intermoleculares com fenômenos físico-químicos, desde propriedades como temperaturas de fusão e ebulição, tensão superficial, solubilidade, volatilidade, propriedades coligativas, até aplicações, como em espectroscopia, cromatografia, diagrama de fases, efeito hidrofóbico e exemplos na natureza.

Sobre estes aspectos, Murthy (2006) considera, que um dos primeiros objetivos da educação química, é instruir os estudantes de química a compreender a relação entre estrutura molecular e suas propriedades.

Sobre a categoria (iii) que apresenta as principais ideias que um químico deva compreender sobre o tema, um dos especialistas enfatizou o cuidado em não estabelecer conexões reducionistas, como pode ser observado no trecho transcrito abaixo.

...metade da turma, falam o mesmo absurdo que eles aprendem no colegial, que a água dissolve água e que óleo dissolve óleo, falam isso cara...(P4)

O aspecto empirista “semelhante dissolve semelhante” e relações indutivas entre parâmetros moleculares e propriedades físico-químicas, assim como relacionar o tamanho, polaridade ou tipo de interação com temperaturas de fusão/ebulição, são equívocos comuns do processo de ensino e aprendizagem do tema (AKKUZU; UYULGAN, 2016).

A magnitude da ligação de hidrogênio é outro aspecto, que segundo os professores entrevistados, precisa ser mais bem discutido, uma vez que a ligação de hidrogênio, mesmo tendo considerável magnitude em relação às outras interações intermoleculares (Tabela 1), não significa que a mesma representa a maior contribuição na energia de interação total (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010). Na Figura 3 podemos observar a composição da energia de interação total, com as respectivas contribuições de cada tipo de interação.

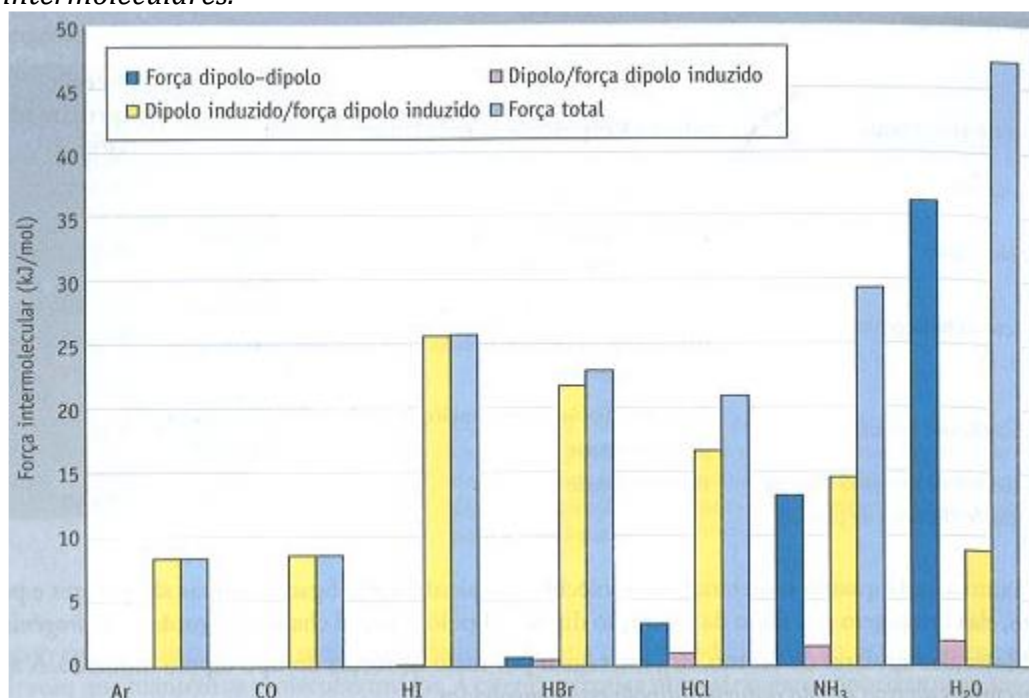
Tabela 1 – Magnitude das diferentes interações intermoleculares/ligações químicas.

Tipo de interação	Energia típica (kJ/mol)	Espécies que interagem
Íon-íon	250	Somente íon
Íon-dipolo	15	Íons e moléculas polares
Dipolo-dipolo	2	Moléculas polares estacionárias
Dipolo-dipolo induzido	2	Pelo menos uma molécula polar
Forças de London	2	Todos os tipos de molécula
Ligação de Hidrogênio	20	Moléculas que contêm uma ligação N-H, O-H ou F-H.

Fonte: (Atkins; Jones, 2006, p. 172)

Um exemplo descrito por Burrows *et al.*, (2012) e que corrobora com a ideia do gráfico abaixo, compara as energias de interações não covalentes para duas moléculas de HCl separadas por 3 nm, as contribuições das interações dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido e dipolo induzido-dipolo induzido são respectivamente -1,8kJ/mol, -0,3kJ/mol e 9,9 kJ/mol.

Figura 3 - Gráfico apresentado em Kotz, Treichel e Weaver (2010) no tópico resumo das forças intermoleculares.



Fonte: Química Geral I e Reações Químicas, v.1 (Kotz; Treichel; Weaver, 2010, p. 531).

A fala de P9 mostra como há sempre a ideia de que a ligação de hidrogênio é a interação mais forte em um sistema químico.

...NaCl, que tem um cátion positivo e ânion negativo e a água e você tem água-água, qual que é a mais forte? Normalmente ele acha que é água-água porque na cabeça dele a ligação de hidrogênio é muito intensa, mas a coulombica é muito mais forte...(P9)

O especialista P9 salienta, que há uma tendência em transformar um conceito em algo mais prático, por exemplo, escala de intensidade das interações fica resumida em definir qual é a interação mais importante e também não considera a quantidade de interações possíveis em um sistema molecular. E esse último aspecto, pode ser consequência de âmbito conceitual, em especial, a confusão entre molécula e substância (SILVA; AMARAL, 2016), sendo assim, é necessário considerar, que as propriedades de uma substância, são resultado das interações de inúmeras moléculas.

Do ponto de vista estatístico, seria fundamental, a noção das inúmeras possibilidades de interações possíveis nos sistemas moleculares, não reduzindo à interação de um par de moléculas. Isso passa pela compreensão de que para determinada massa de uma substância, estão associados números extremamente grandes das entidades que compõem essa substância (SILVA; ROCHA-FILHO, 1995).

Outro aspecto a ser observado, quando P9 utiliza a ligação iônica como comparação, sugere a ideia de que ambas, interação e ligação, não exibem diferenças fundamentais e podem ser caracterizadas como interações eletrostáticas, com distinções restritas às cargas e magnitudes envolvidas (RIVERA-RIVERA, 2017)

Em geral, os entrevistados consideram fundamental o pleno entendimento sobre as forças dispersivas de London, desde a natureza das mesmas, até o fato de serem atuantes em qualquer sistema de interação molecular, independentemente da polaridade das moléculas envolvidas. A fala de P3 mostra um desses aspectos sobre as forças dispersivas, que também pode ser considerado um princípio, o caráter universal de tais interações.

...O efeito de dispersão. Eu falo para os meus alunos, o efeito de dispersão é que nem gravidade, está lá sempre...(P3)

O uso de equações para representar a energia de interação total é fundamental, na concepção de muitos dos entrevistados, por mostrar as diferentes contribuições para cada tipo de interação, além de explorar visualização das interações de forma unificada como se pode perceber na fala de P2.

...é uma expansão em série, onde cada termo de uma série que você tá dando nome. Se fosse pra dar um passo a mais na química geral que é esse, íon-íon, dipolo-dipolo, é tentar mostrar para o aluno que isso são termos de uma coisa só, unificar...(P2)

A energia de interação total, que pode ser representada através da equação 1, facilita a compreensão dos alunos sobre as diferentes contribuições de energia de cada tipo de interação. O primeiro termo corresponde às interações do tipo dipolo-dipolo, o segundo às forças dispersivas (dipolo induzido-dipolo induzido) e o terceiro às forças de indução (dipolo-dipolo-induzido) (GLAZIER; MARANO; EISEN, 2010).

$$U(r) = \frac{-2\mu^4}{3k_B T r^6} + \frac{-3h\nu_0\alpha^2}{4r^6} + \frac{-2\mu^2\alpha}{r^6}$$

Equação 1 - Energia de interação total.

onde r é a distância entre duas moléculas semelhantes, α é a polarizabilidade molecular que depende do número e arranjo dos elétrons, μ é o momento de dipolo molecular, $h\nu_0$ é a energia no ponto-zero que pode ser aproximada pela energia de ionização, k_B é a constante de Boltzmann, e T é a temperatura.

A equação fundamenta a ideia de abordagem descrita anteriormente, por exemplo, analisando a Figura 3, pode-se inferir, que a energia de interação intermolecular total, entre moléculas de amônia, apresenta contribuições dos três termos da equação 1, forças de orientação, indução e dispersão.

Dois dos especialistas defendem a ideia de que uma noção básica de química quântica, seria fundamental para a compreensão efetiva das interações intermoleculares, mas concordam que, se através de seus conhecimentos, um egresso de um curso de graduação em química, for capaz de usar/interpretar as equações de energia de interação, é o suficiente para a compreensão do tema, uma vez que, tal equação, destaca a natureza e o caráter aditivo dos diferentes tipos de interação entre as moléculas (JASIEN, 2008).

Quatro docentes acreditam que o uso de ferramentas computacionais de simulação, poderia auxiliar na melhor assimilação desses conhecimentos. Algo já previsto pela inserção de novas tecnologias nos processos de ensino e aprendizagem.

...eu tenho a impressão que técnicas talvez de simulações computacionais vão ficar cada vez mais e mais importantes, tanto a nível tecnológico quanto científico...(P1)

...os modelos não estão errados, os modelos só precisam agora ser usados de maneira mais aprofundada. Como que você faz esse salto? Então esse salto geralmente vem por simulação, porque você não consegue, no laboratório experimental, testar esses modelos de livro didático...(P7)

A maior parte dos sujeitos da pesquisa julga fundamental, que um químico visualize as interações intermoleculares de forma unificada, sempre considerando as contribuições energéticas de cada tipo de interação. O instrumento de ensino mais viável para tal interpretação, principalmente em uma perspectiva qualitativa, seria a utilização de equações, como a de energia de interação total, que mostra todas as interações envolvidas para um par de moléculas iguais e dipolares (Equação 1).

Conteúdos Conceituais

Por fim, serão discutidos alguns excertos das entrevistas com os sujeitos da pesquisa, que podem ser classificados como dados/fatos e princípios dentro do contexto do tema interações intermoleculares. Uma síntese geral foi realizada, uma vez que os conceitos, que também constituem os conteúdos conceituais, foram mais abordados anteriormente.

Dados/fatos

O primeiro fato está relacionado à importância de fenômenos utilizados para a discussão das interações intermoleculares e que é descrito como: “*as propriedades da água têm origem nas propriedades moleculares*” (P9). Alguns fenômenos envolvendo as propriedades da água podem ser explicados em função de seus parâmetros moleculares, por exemplo, a tensão superficial da água está relacionada com a orientação do momento de dipolo de suas moléculas na interface água-ar (ATKINS; JONES, 2006).

Outro aspecto caracterizado como fato, a partir da análise das entrevistas, mostra o quanto as interações intermoleculares são fundamentais, uma vez que “*o funcionamento das células depende das interações intermoleculares*” (P1). Desde ligações de hidrogênio

entre aminoácidos até interações eletrostáticas nas enzimas, as interações são fundamentais em processos biológicos (MURTHY, 2006).

Um fato relacionado ao tema, que pode ser uma demonstração da ausência de discussões sobre o estado líquido, na maior parte dos materiais de ensino de graduação em química, “*referencial para o líquido, é um gás muito denso ou um sólido muito bagunçado*” (P2). Observando os conteúdos presentes nos livros de química geral, temos capítulos mais densos, dedicados ao estudo dos gases e dos sólidos, com algumas propriedades dos líquidos. No caso dos líquidos, parece não ter um modelo definido, um referencial ou teoria do estado líquido (POZO; CRESPO, 2009, p. 157).

A próxima passagem que foi selecionada, como exemplo de um fato na presente análise, está associada a um equívoco comum entre os estudantes, citado por um dos entrevistados. Ele se refere a ausência de interações no estado gasoso, afirmando que “*sem interação você não teria um gás de hélio, você não teria um gás de oxigênio. Você teria hélios e oxigênios passeando pelo espaço e nunca se encontrando com nenhum outro*” (P3). A ideia entre os estudantes de que a matéria está inerte e em repouso, até que um agente atue sobre ela, é muito persistente (POZO; CRESPO, 2009, p. 151).

Apesar de parecer simples, o fato da confusão conceitual entre molécula e substância, é retratado através do excerto, que traz esse aspecto ao afirmar que “*você está olhando a água, você vai olhar H₂O. E aí você sabe tudo sobre H₂O, mas aí, você não sabe nada sobre água*” (P3). Muitas vezes, há um aprofundamento nas propriedades da molécula para explicar as características da substância e não se considera a quantidade de moléculas, por consequência, diversos outros fatores que influenciam as propriedades das substâncias. As características de uma molécula não implicam, necessariamente, na compreensão das propriedades de uma substância (TALANQUER, 2018).

Mesmo que a apresentação dos fatos, seja feita aqui, de uma forma descritiva, pode-se observar que são ideias fundamentais dentro do tema interações intermoleculares e constituem junto aos conceitos e princípios, a estrutura mínima de conhecimento sobre este tema. Nesse contexto de ensino das interações intermoleculares, se faz fundamental, a noção de que fenômenos e propriedades são consequência de tais interações, “*a lagartixa no teto, né? É uma coisa que não é assim, só porque é uma força fraca, ela não vai ter nenhuma consequência*” (P5). Especificamente

em tal fato, o entrevistado evidencia, que as forças dispersivas, mesmo classificadas como fracas, permitem, como consequência, a aderência de lagartixas em superfícies (GOTTSCHALK; VENKATARAMAN, 2014).

Ainda sobre força das interações intermoleculares, um fato que pode ser destacado e que está relacionado com a magnitude e covalência da ligação de hidrogênio, é a afirmação de que *“tem um valor limite para ligação de hidrogênio de 25 kJ/mol, acima disso já tem um pouco de caráter covalente”* (P6). A discussão do caráter covalente da ligação de hidrogênio também é fundamentada nos ângulos e distâncias típicas dessas ligações, além da intensidade que as aproxima das ligações químicas (OLIVEIRA, 2015).

As ligações de hidrogênio são muito bem destacadas quando se abordam as interações intermoleculares, independente do material de ensino, muito em função dos distintos fenômenos em que estão presentes. Outro fato selecionado na análise traz esse aspecto, quando o entrevistado sugere que *“você mistura meio litro de água com meio litro de álcool e termina com 980, 960 centímetros cúbicos”* (P7), é um exemplo prático e visível das ligações de hidrogênio atuantes nas propriedades da mistura entre álcool e água (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013).

E como último fato a ser detalhado em relação aos principais que emergiram das entrevistas, há um questionamento, que tem por objetivo mostrar, que a existência das interações intermoleculares justifica os estados de agregação da matéria, *“por que argônio apresenta fase líquida?”* (P10). Se há a possibilidade de obter o gás nobre argônio em estado líquido, isso justifica as interações atrativas entre os átomos (ROCHA, 2001).

Princípios

O primeiro princípio que emerge da análise das entrevistas está relacionado à ideia, que muitas vezes foi denominada no presente trabalho de *“visão molecular”*, *“o químico tem que ter uma interpretação mais molecular e até atômica dos fenômenos”* (P1). É fundamental que no processo de formação do químico, a interpretação de fenômenos e propriedades dos materiais, seja pautada no comportamento e interação entre átomos e moléculas. Em geral, os estudantes utilizam pouco o modelo corpuscular em suas explicações e interpretações de fenômenos (POZO; CRESPO, 2009, p. 147).

A ideia de compreender, que as diferentes interações intermoleculares podem atuar simultaneamente em um sistema molecular, também foi caracterizada como um

princípio a ser considerado na abordagem do tema, ao afirmar “*eu acho que falta essa visão de unificando as interações moleculares e não aquele mero discurso, que é dogmático*” **(P2)**. Os tipos de interações, muitas vezes são abordados de forma individual e não há um momento em que se trabalhe a ideia, de que muitas dessas interações podem estar atuando no mesmo sistema molecular, por exemplo, entre moléculas de amônia não há a existência de apenas ligações de hidrogênio, mas também contribuições de interações dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido e dipolo induzido-dipolo induzido. Uma visão unificada das interações poderia evitar o não reconhecimento de mais interações presentes em distintas substâncias e isso deve ser considerado durante toda a abordagem do tema (RODRIGUES; Da-SILVA; QUADROS, 2011).

Um princípio que deve permear o conhecimento das interações intermoleculares está em evidenciar, a diferença conceitual entre molécula e substância, fundamental na compreensão do tema, “*existe uma separação muito grande conceitual sobre o que é molécula e o que é substância, sobre o que é que é micro, atômico e o que é que é macro. E a gente tem que saber fazer essa ponte. E aí pesa interações intermoleculares*” **(P3)**. A interpretação de fenômenos e propriedades, percebidos macroscopicamente, é fundamentada nas características e parâmetros moleculares e torna-se essencial a noção de que as substâncias são constituídas por uma quantidade imensa de moléculas interagindo e as propriedades da substância, emergem da organização das partículas que a formam (TORRES *et al.* 2010).

Tanto na revisão da literatura quanto nas entrevistas com especialistas, diferentes aspectos sobre as ligações de hidrogênio foram abordados, e nesse contexto, um princípio que ajuda a entender a energia de tal ligação, “*aquela ligação de hidrogênio é a interação, é, eles não entendem que a ligação de hidrogênio é uma composição*” **(P4)** foi citado pelo especialista. Em alguns materiais didáticos, ainda persiste a ideia de que a ligação de hidrogênio é um tipo especial de interação dipolo-dipolo e se faz importante uma discussão das diferentes contribuições, que compõem a energia da ligação de hidrogênio (HERBST; MONTEIRO FILHO, 2019).

Ainda sobre energia de interação, outro princípio que foi destaque no contexto das entrevistas, está relacionado à magnitude das interações dispersivas, que são consideradas fracas. Sobre isso, P5 citou, “*ele tem que entender o contexto todo. Porque,*

lógico, uma única interação dispersiva é muito fraca, mas se você puser 10^6 , certo?” (P5). O princípio a ser considerado, está relacionado com o caráter aditivo das interações dispersivas, que proporciona um aumento da intensidade, na energia desse tipo de interação caracterizada como fraca (GOTTSCHALK; VENKATARAMAN, 2014).

É essencial que no processo de ensino e aprendizagem das interações intermoleculares, fique evidente, que a principal diferença entre ligações/interações está na energia envolvida. Nesse sentido, o especialista P6 afirma que *“ligação iônica que é acima de 100 kJ/mol, de uma ligação sigma 70 kJ/mol, de uma ligação de hidrogênio que tem 25 kJ/mol. Qual a diferença de uma pra outra? É a energia, basicamente é a energia” (P6). Fundamentalmente, tanto as ligações químicas quanto as forças intermoleculares são interações eletrostáticas, com distintas energias de interação/ligação (RIVERA-RIVERA et al. 2017).*

Existem princípios que podem ser interpretados como propostas de organização da abordagem do tema, dentro do conhecimento químico, de uma forma mais ampla e que se estende aos demais conteúdos. Sobre esse aspecto, um dos entrevistados pontua que *“o curso inteiro mostrando para a pessoa que ela tem que fazer um jogo o tempo todo entre teoria, experimento, simulação” (P7). O estudo de conteúdos de química, sobretudo as interações intermoleculares, pode ser facilitado com o uso de conceitos teóricos, atividades experimentais e técnicas de simulação que proporcione uma visão completa dos universos submicroscópico e macroscópico dos fenômenos (BURKHOLDER; PURSER; COLE, 2008).*

E por fim, ainda que de forma involuntária, as propriedades são pensadas a partir de uma molécula isolada, porém, é fundamental ter a noção estatística do número de moléculas que constituem as substâncias. Em relação a isso, P10 afirma, *“um problema conceitual crítico em relação ao tema é o químico pensar em propriedades de uma molécula isolada, calcula-se tais propriedades, mas experimentalmente não se trabalha com uma molécula” (P10). Essa característica também é muito comum no ensino do tema, uma vez que, mesmo em livros didáticos, as interações são representadas muitas vezes, em pares de moléculas interagindo, favorecendo a atribuição de propriedades macroscópicas a átomos e moléculas (POZO; CRESPO, 2009, p. 141).*

Considerações finais

Os resultados aqui apresentados indicam que os especialistas entrevistados consideram fundamental o entendimento da relação entre as propriedades físico-químicas e a estrutura molecular para facilitar a interpretação de tais propriedades. Pode-se inferir, com base nos resultados, que o tema demanda de uma introdução aos parâmetros moleculares, sobretudo polaridade, polarizabilidade, geometria, estrutura molecular, potencial eletrostático e densidade eletrônica, para que haja domínio da natureza elétrica e das características estruturais de cada sistema molecular. Logo depois, é fundamental considerar a energia envolvida em função da distância intermolecular para cada tipo de interação, explorada por meio de gráficos, simulações computacionais e equações, as últimas são capazes de evidenciar os principais parâmetros de cada interação, além do caráter aditivo e da visão unificada das interações.

Muitas das percepções dos especialistas, relacionadas ao caráter universal das interações dispersivas, aditividade das interações, magnitude das energias de interação e a correlação entre parâmetros moleculares e propriedades físico-químicas dos sistemas químicos, estão em conformidade com pesquisas da área de ensino de química (GOTTSCHALK E VENKATARAMAN, 2014; GLAZIER; MARANO; EISEN, 2010; MURTHY, 2006).

Os resultados do presente trabalho nos dão base para argumentar, que a compreensão das interações intermoleculares deve estar centrada nos parâmetros moleculares e fundamentalmente na distribuição e dinâmica dos elétrons nas estruturas moleculares. Além de proporcionar reflexões ou mudanças a serem consideradas, tais resultados dão suporte para outras investigações da área de ensino do tema que permitam aprofundar os pontos aqui apresentados.

Nesse sentido, alguns aspectos podem ser aqui resgatados, de modo a demonstrar as repercussões possíveis deste trabalho para o campo de pesquisa em questão. As discussões apresentadas sugerem reflexões para a prática educativa, na abordagem das interações intermoleculares em sala de aula, em especial, a ênfase em parâmetros que melhorem a compreensão da distribuição de elétrons nas estruturas moleculares, a fundamental noção das características e energias envolvidas em cada tipo de interação em distintas distâncias intermoleculares, uma visão unificada das interações,

reconhecendo que mais de um tipo de interação pode atuar em um dado sistema molecular, além dos fenômenos que são interessantes na abordagem das interações intermoleculares que, sem dúvida, são fundamentais no conhecimento químico.

Referências

- Akkuzu, N., Uyulgan, M. A. (2016). An epistemological inquiry into organic chemistry education: exploration of undergraduate students' conceptual understanding of functional groups. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 36-57.
- Atkins, P. W., Jones, L. (2006). *Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman.
- Burkholder, P. R., Purser, G. H., Cole, R. S. (2008). Using Molecular Dynamics Simulation To Reinforce Student Understanding of Intermolecular Forces. *Journal of Chemical Education*, 85(8), 1071-1077.
- Burrows, A., Holman, J., Parsons, A., Pilling, G., Price, G. (2009). *Chemistry3*. New York: Oxford.
- Da Silva Júnior, J. N., Barbosa, F. G., Mafezoli, J., Lima, M. A. S., Oliveira, F. S., Almeida, A. D. M., Leite Jr. A. J. M. (2015). Interactions: design, implementation and evaluation of a computational tool for teaching intermolecular forces in higher education, *Química Nova*, 38(10), 1351-1356.
- Glazier, S., Marano, N., Eisen, L. (2010). A Closer Look at Trends in Boiling Points of Hydrides: Using an Inquiry-Based Approach To Teach Intermolecular Forces of Attraction. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1336-1341.
- Gottschalk, E., Venkataraman, B. (2014). Visualizing Dispersion Interactions. *Journal Chemical Education*, 91(5) 666-672.
- Herbst, M. H., Monteiro Filho, A. R. M. (2019). Um Outro Olhar Sobre as Ligações Hidrogênio. *Química Nova na Escola*, 41(1), 10-16.
- Jasien, P. G. (2008). Helping Students Assess the Relative Importance of Different Intermolecular Interactions. *Journal of Chemical Education*, 85(9), 1222-1225.
- Junqueira, M. M., Maximiano, F. A. (2020). Interações intermoleculares e o fenômeno da solubilidade: explicações de graduandos em química. *Química Nova*, 43(1), 106-117.
- Junqueira, M. M., Maximiano, F. A. (2020). Obtenção da estrutura conceitual do tema interações intermoleculares através da transformação de textos em mapas conceituais. *Caminhos da Educação Matemática em Revista/Online*, 10(1), 87-106.
-

- Kotz, J. C., Treichel, P. M., Weaver, G. C. (2010). *Química Geral e Reações Químicas*, 6. ed. São Paulo: Cengage Learning.
- Martins, C. R.; Lopes, W. A.; Andrade, J. B. (2013). Solubilidade das substâncias orgânicas. *Química Nova*, 36(8), 1248-1255.
- Murthy, P. S. (2006). Molecular Handshake: Recognition through Weak Noncovalent Interactions. *Journal of Chemical Education*. 83(7), 1010-1013.
- Oliveira, G. B. (2015). O estado da arte da ligação de hidrogênio, *Química Nova*, 38(10), 1313-1322.
- Pozo, J. I., Crespo, M. A. G. (2009). *A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed.
- Rocha, W. R. (2001). Interações Intermoleculares. Cadernos temáticos de *Química Nova na Escola*, 4, 31-36.
- Rivera-Rivera, L. A., Walton, J. R., Lucchese, R. R., Bevan, J. W. (2017). Is there any fundamental difference between ionic, covalent, and others types of bond? A canonical perspective on the question. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 19, 15864-15869.
- Rodrigues, S. B. V., Da-Silva, D. C., Quadros, A. L. (2011). O ensino superior de química: reflexões a partir de conceitos básicos para a química orgânica. *Química Nova*, 34(10), 1840-1845.
- Silva, J. R. R. T., Amaral, E. M. R. (2016). Concepções sobre Substância: Relações entre Contextos de Origem e Possíveis Atribuições de Sentidos. *Química Nova na Escola*, 38(1), 70-78.
- Silva, R. R., Rocha-Filho, R. C. (1995). Mol: Uma Nova Terminologia. *Química Nova na Escola*, (1), 12-14.
- Talanquer, V. (2018). Progressions in reasoning about structure–property relationships. *Chemistry Education Research and Practice*, 19, 998-1009.
- Torres, N., Landau, L., Baumgartner, E., Monteserin, H. (2010). Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo. *Educación Química*, 21(3), 212-218.

Submetido em: 27/07/2021

Aceito em: 27/10/2021

Publicado em: 17/11/2021