



Interações Intermoleculares: abordagem com ênfase em princípios fundamentais do tema no Ensino Médio

Intermolecular interactions: approach with emphasis on fundamental principles of the subject in high school

Fábio Luiz Seribeli¹ Flavio Antonio Maximiano²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Tupã¹

Instituto de Química, Universidade de São Paulo²

fabioseribeli@ifsp.edu.br¹ famaxim@iq.usp.br²

Resumo

O tema interações intermoleculares é de fundamental importância dentro do ensino de química, uma vez que a plena compreensão de muitos fenômenos físico-químicos e processos químicos são explicados através destas interações. O presente estudo teve como objetivo analisar as respostas de estudantes de ensino médio submetidos a um instrumento adaptado de pesquisas sobre o tema, após abordagem explorando conceitos e ideias essenciais à compreensão do tema. Os resultados demonstram que tal abordagem pode ajudar no processo de ensino e aprendizagem de conceitos importantes para o entendimento do tema: a diferenciação entre interações intermoleculares e ligações químicas, o reconhecimento da aditividade das interações, a aprendizagem do conceito de universalidade das interações dispersivas e uma melhor interpretação de fenômenos físico-químicos. Os resultados também indicam que conceitos e ideias centrais, geralmente abordados em disciplinas introdutórias em nível de graduação, podem ser adaptados ao ensino médio proporcionando uma compreensão conceitual do tema mais coerente.

Palavras chave: ensino de química, interações intermoleculares, ensino médio

Abstract

The topic of intermolecular interactions is of fundamental importance within chemistry teaching, since the full understanding of many physical-chemical phenomena and chemical processes are explained through these interactions. The present study aimed to analyze the responses of high school students submitted to an instrument adapted from research on the topic, after an approach exploring concepts and ideas essential to understanding the topic. The results demonstrate that such an approach can help in the process of teaching and learning important concepts for understanding the topic: the differentiation between intermolecular interactions and chemical bonds, the recognition of the additivity of interactions, learning the concept of universality of dispersive interactions and a better interpretation of physical-chemical phenomena. The results also indicate that central concepts and ideas, generally covered in introductory courses at undergraduate level, can be adapted to secondary education, providing a more coherent conceptual understanding of the topic.

Key words: chemistry teaching, intermolecular interactions, high school



Introdução

As interações intermoleculares são um dos muitos conceitos fundamentais ensinados em cursos introdutórios de química que proporcionam essas interconexões. Essas interações são usadas para a compreensão dos pontos de ebulição e fusão de substâncias puras, também no entendimento da solubilidade de compostos em solventes polares e apolares. No curso de química orgânica, tais interações também são necessárias para explicar certas reações químicas (Jasien, 2008).

Segundo Murthy (2006), um dos principais propósitos da Educação Química é capacitar os alunos a compreender a inter-relação entre a estrutura molecular ou composição da matéria e suas propriedades. Essa relação crucial entre estrutura e propriedade é a base fundamental para o desenvolvimento de novos materiais e processos, transcendendo ao conhecimento das interações intermoleculares, um conceito universal de extrema relevância, merece maior ênfase no currículo.

Outro fator que ressalta o quanto o tema é essencial na formação básica dos estudantes é sua presença constante nos trabalhos da área de ensino de Química, porém, muitos desses estudos estão focados em apresentar as interações intermoleculares para a interpretação ou explicação de fenômenos e/ou propriedades macroscópicas. No entanto, quando se analisa publicações sobre o tema, especialmente sobre os processos de ensino e dificuldades apresentadas pelos estudantes no ensino superior, persistem equívocos do ponto de vista conceitual que poderiam ter sido trabalhados ainda no ensino básico. Problemas que vão desde a confusão sobre a diferenciação entre ligações químicas e interações intermoleculares, a relação das interações com as propriedades físico-químicas dos materiais e não domínio de conceitos fundamentais para a compreensão do tema.

O trabalho desenvolvido por Cooper, Willians e Underwood (2015) teve como objetivo analisar a compreensão de estudantes da disciplina de Química geral no ensino superior em Química sobre as interações intermoleculares. Os estudantes universitários de química geral descreveram seu entendimento por escrito e desenharam representações de interações intermoleculares e a análise mostrou que a maioria não tinha uma compreensão estável e coerente das interações intermoleculares como interações entre moléculas. Mais da metade dos estudantes representaram como uma interação ou ligação dentro de uma única molécula, enquanto apenas 10 a 30% dos alunos representaram cada interação intermolecular como uma interação entre moléculas.

Smith e Nakhleh (2011) investigaram as previsões e explicações em nível submicroscópico para a fusão de quatro materiais (sal, giz, açúcar e manteiga) e para a mistura desses solutos em dois solventes (água e óleo de cozinha), as concepções de alunos de graduação e pós-graduação sobre esses fenômenos foram coletadas e constatou-se alguns equívocos relacionados às forças envolvidas nos processos de fusão e dissolução. Muitos desses estudantes consideraram que há quebra de ligações químicas nesses processos e confundiram os tipos de interações intermoleculares envolvidas nas misturas entre os materiais investigados.

Tarhan et al. (2008) aplicaram uma atividade centrada na Aprendizagem Baseada em Problemas sobre as interações intermoleculares a alunos de ensino básico, focados principalmente em observar possíveis mudanças de concepções alternativas sobre o tema após a atividade. Os autores concluíram que a atividade proporcionou mudanças efetivas de concepções equivocadas como, por exemplo, ligação intermolecular ser mais forte que a ligação intramolecular, ligação intermolecular ausente em substâncias moleculares polares, como a água, ligações intermoleculares estarem dentro de uma molécula covalente, ligações intramoleculares quebrarem na mudança de estado, etc.

Outro trabalho interessante desenvolvido por Da-Silva, Rodrigues e Quadros (2011), em que apresentam reflexões sobre conceitos básicos para a Química Orgânica, dentre esses conceitos estava em destaque as interações intermoleculares como fundamentais à formação de um químico.



Os autores relataram que muitos estudantes apresentaram dificuldades no reconhecimento das interações intermoleculares atuantes em um sistema molecular e principalmente a identificação de mais de um tipo de interação presente. Por exemplo, um aluno reconheceu apenas a interação dipolo induzido, não conseguindo reconhecer a interação dipolo-dipolo, mais comum. Outro apontou apenas a ligação de hidrogênio, não citando as demais.

Junqueira e Maximiano (2020) investigaram as concepções apresentadas por alunos ingressantes em um curso superior em Química durante as explicações sobre fenômenos de solubilidade, analisando o uso de conceitos e representações gráficas de interações intermoleculares. A análise dos dados demonstrou que vários alunos tiveram dificuldades em identificar corretamente as interações intermoleculares envolvidas em sistemas químicos específicos. O conceito de polarizabilidade, considerado fundamental pelos autores, raramente foi utilizado nas explicações dos estudantes. Os autores também apontam o uso recorrente da regra “semelhante dissolve semelhante” ao explicar a solubilidade, não se aprofundando nos processos interativos envolvidos.

Reconhecendo a importância do tema interações intermoleculares para a química, uma vez que muitos fenômenos físico-químicos são interpretados e/ou explicados através de conceitos e parâmetros relacionados a esse tema, desde mudanças de estado físico, solubilidade dos compostos químicos, viscosidade, propriedades coligativas, fenômenos relacionados ao volume de excesso, volatilidade, etc. O presente estudo foi fundamentado numa sequência de aulas que incorpora os seguintes princípios: capacidade de diferenciar a magnitude entre interações intermoleculares e ligações químicas, reconhecer a universalidade das forças dispersivas (ocorrência de tais interações em todos os tipos de moléculas independentemente da polaridade), identificar e caracterizar a contribuição de mais de um tipo de interação para muitos sistemas moleculares a partir da ideia de aditividade das interações intermoleculares e ampliar as concepções na interpretação de fenômenos.

Nesse sentido, a questão de pesquisa deste trabalho é a seguinte: *A inserção destes princípios ainda no ensino médio pode ajudar na diminuição de equívocos sobre conceitos relacionados às interações intermoleculares apontados na literatura da área de ensino de química e quais os principais erros ainda são persistentes nas respostas e nas representações de alunos do ensino médio após o estudo deste tema?*

Metodologia

A abordagem com uma sequência de aulas com ênfase em princípios fundamentais do tema interações intermoleculares foi aplicada e as respostas foram coletadas na disciplina de Química, oferecida a 62 alunos do segundo ano de um curso técnico em eletrônica integrado ao ensino médio de um campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP). Os conteúdos abordados durante os dois primeiros bimestres da disciplina foram ligações iônicas, ligações covalentes, estruturas de Lewis, geometrias moleculares, teoria VSEPR, polaridade das ligações e das moléculas, estrutura molecular e interações intermoleculares, funções inorgânicas e terminou com o conceito de mol. O tema interações intermoleculares foi abordado durante oito aulas de 45 min. Inicialmente, o professor apresentou alguns fenômenos e aplicações relacionadas às interações intermoleculares: sentido do paladar, mudanças de estado físico, tensão superficial e soluções. Em seguida, o Quadro 1 resume a sequência de aulas de como o tema foi abordado.

Conteúdos abordados	Princípios centrais	Processo didático								
Introdução às Interações Intermoleculares: Aplicações e Histórico (2 aulas)	Diferenciação entre interações intermoleculares e ligações químicas	Comparativo visual entre alterações nos volumes de amostras líquidas de água e éter com o passar do tempo a partir do conceito de volatilidade; Destaque a diferença de magnitude entre a ligação química H-Cl e a interação entre moléculas de (H-Cl)---(HCl); Demonstrações da relação entre as interações intermoleculares e mudanças de estado físico.								
Tipos de interações intermoleculares: Interações dispersivas Dipolo-dipolo Dipolo-dipolo induzido Ligações de hidrogênio Íon-dipolo (2 aulas)	Universalidade das interações dispersivas	Explicação do princípio de universalidade das interações dispersivas a partir da nuvem eletrônica; Uso do gráfico presente no livro Química Geral e Reações Químicas, v.1 (Kotz, Treichel e Weaver, 2010, p. 531), que mostra a contribuição de tais interações em sistemas com moléculas polares; Tabela explorando a contribuição das interações dispersivas na energia de interação total entre duas moléculas de HCl do livro Chemistry ³ (Burrows et al. 2009, p. 833). <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Comparando as energias de interações não covalentes para duas moléculas de HCl em uma separação de 0,3 nm.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>dipolo-dipolo</td> <td>-1,8 kJ/mol</td> </tr> <tr> <td>dipolo-dipolo induzido</td> <td>-0,3 kJ/mol</td> </tr> <tr> <td>dispersão</td> <td>-9,9 kJ/mol</td> </tr> </tbody> </table>	Comparando as energias de interações não covalentes para duas moléculas de HCl em uma separação de 0,3 nm.		dipolo-dipolo	-1,8 kJ/mol	dipolo-dipolo induzido	-0,3 kJ/mol	dispersão	-9,9 kJ/mol
Comparando as energias de interações não covalentes para duas moléculas de HCl em uma separação de 0,3 nm.										
dipolo-dipolo	-1,8 kJ/mol									
dipolo-dipolo induzido	-0,3 kJ/mol									
dispersão	-9,9 kJ/mol									
Energia das Interações Intermoleculares (2 aulas)	Aditividade das Interações Intermoleculares	Abordagem da equação mostrando os termos correspondentes a cada contribuição para determinação da energia de interação total (Glazier, Marano e Eisen, 2010), p. 1336. $U(r) = \frac{-2\mu^4}{3k_B T r^6} + \frac{-3hv_0\alpha^2}{4r^6} + \frac{-2\mu^2\alpha}{r^6}$								
Propriedades e fenômenos (2 aulas)	Processos interativos no fenômeno solubilidade	Demonstrações de fenômenos para evitar o uso da regra prática “semelhante dissolve semelhante”, em especial do oxigênio dissolvido em água e do teste para determinação do teor de etanol na gasolina, além dos processos interativos em sistemas com sabões, vitaminas lipo e hidrossolúveis, etc.								

Quadro 1: Sequência de aulas para abordagem do tema Interações Intermoleculares

Após a abordagem dos conteúdos, tarefas com exercícios sobre os conceitos eram realizadas pelos estudantes e corrigidos pelo professor. Ao final da sequência de aulas sobre o tema, organizados em duplas, os estudantes responderam ao instrumento de análise elaborado com questões adaptadas de Da-Silva, Rodrigues e Quadros (2011), Tarhan et al. (2008) e Junqueira e Maximiano (2020) (Quadro 2).

Q1. Para a questão proposta, a estrutura a ser analisada está representada na Figura.

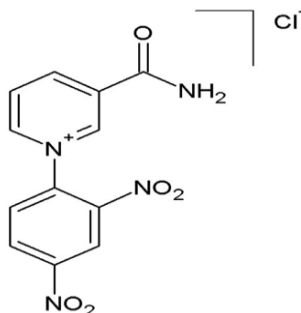


Figura. Estrutura sobre a qual foi realizada a questão proposta

A questão visa avaliar os conhecimentos sobre as interações intermoleculares. Quais as interações existentes entre espécies cuja estrutura representada na Figura poderia formar.

Q2. Qual(is) item(ns) a seguir é(são) correto(s) para as moléculas de H₂, HCl e NH₃? Explicar.

- Há apenas forças dipolo induzido-dipolo induzido entre as moléculas de H₂.
- Moléculas de H₂, HCl e NH₃ possuem ligações de hidrogênio intermoleculares.
- As forças intermoleculares das moléculas de H₂, HCl e NH₃ são tão fortes quanto as forças intramoleculares (ligações químicas).
- As moléculas de HCl e NH₃ têm forças de dispersão de London ao lado das forças dipolo-dipolo.

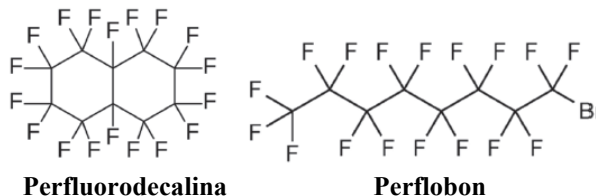
Q2.1. Em qual das moléculas de H₂O e CH₄ ocorre ligação de hidrogênio? Explicar.

Q2.2. Quais das moléculas/moléculas de N₂, HCl e NH₃ têm forças dipolo-dipolo? Explicar.

Q3. O O₂ é uma substância apolar. Em contrapartida sabemos que a água é uma substância polar. Diante deste fato como podemos explicar a solubilidade do gás oxigênio em água? Faça um desenho que represente microscopicamente esse fenômeno.

Perfluorocarbonos como a perfluorodecalina e perflobron têm a capacidade de dissolver grandes quantidades de O₂ (40-50 mL/100 mL) e CO₂ (250 mL/100 mL) comparativamente à água (O₂: 2,5 mL/100 mL; CO₂: 80 mL/100 mL) nas mesmas condições de pressão e temperatura. Devido a solubilidade destes gases nos perfluorocarbonos e graças à sua estabilidade estes compostos são modelos do desenvolvimento do “sangue artificial”

Q3.1.a. Explique porque O₂ e CO₂ se dissolvem em água e porque a solubilidade é maior nos perfluorocarbonos.



Perfluorodecalina

Perflobron

Q3.1.b. Sob as mesmas condições, O₂ deve ser mais solúvel em água ou água salgada (p.ex.: água do mar)? Justifique.

Quadro 2: Atividade Teste com as Questões aplicadas aos estudantes

Fonte: Da-Silva, Rodrigues e Quadros (2011); Tarhan et al. (2008); Junqueira e Maximiano (2020).

Resultados e Discussão

A primeira questão visava avaliar os conhecimentos sobre as interações intermoleculares existentes entre as espécies cuja estrutura representada na Figura da questão Q1 poderia formar. Esperava-se que eles reconhecessem a presença de ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, interações dipolo induzido-dipolo induzido e as interações íon-dipolo, as interações poderiam ser apenas descritas, sem a indicação das partes das moléculas em que as interações poderiam ser formadas.

Foi possível observar que os alunos apresentaram diferentes formas de representação das interações, alguns apenas descreveram, outros usaram de abreviações para cada tipo de interação, reproduzindo algo que foi constante na resolução de exercícios pelo professor, por exemplo, para interações dipolo-dipolo o professor circulava a parte da molécula com essa interação e usava o termo “d-d”, outros alunos representaram na própria figura do teste e alguns ainda representaram as interações

desenhando as estruturas moleculares (Figura 1).

É importante ressaltar que a maior parte dos estudantes reconheceram a ocorrência de mais de um tipo de interação entre as moléculas. Logo, seis categorias de respostas foram construídas: ligações de hidrogênio, interações dipolo-dipolo, interações dipolo induzido-dipolo induzido, interações dipolo-dipolo induzido, interações íon-dipolo, interações íon-íon e interações íon-dipolo induzido. Estes resultados com o quantitativo de acertos foram apresentados na Tabela 1.

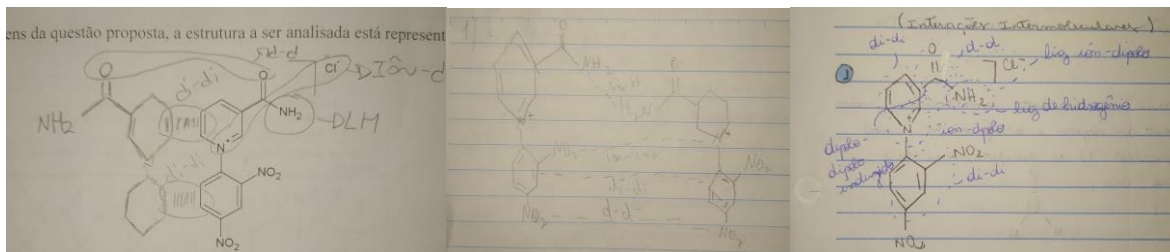


Figura 1: Representação da ocorrência de diferentes tipos de interações intermoleculares.

Tipo de interação	Estudantes
Ligações de Hidrogênio	54 (87%)
Interações dipolo-dipolo	48 (77%)
Interações dipolo induzido-dipolo induzido	50 (81%)
Interações dipolo-dipolo induzido	30 (48%)
Interações íon-dipolo	26 (42%)
Interações íon-íon	18 (29%)
Interações íon-dipolo induzido	4 (6%)

Tabela 1: As interações intermoleculares que ocorrem entre as moléculas de acordo com os alunos

Ao analisar as respostas escritas dos estudantes sobre o assunto, pode-se afirmar que a abordagem com ênfase em princípios fundamentais sobre o tema e a forma como o tema foi abordado pelo professor contribuiu para o reconhecimento da ocorrência de mais de um tipo de interação em sistemas moleculares. Porém, não é possível afirmar que as interações intermoleculares são realmente compreendidas por eles, uma vez que a primeira questão exige apenas a identificação das interações atuantes. A principal dificuldade percebida e também exposta por alguns dos estudantes está relacionada à representação das interações nas estruturas moleculares. Desde de uma concepção equivocada da ideia de modelo como forma de representação dos processos interativos entre moléculas, até o fato de restringir as representações a somente pares de moléculas.

A segunda questão tinha como objetivo investigar quais conceitos os estudantes utilizavam para argumentar em suas respostas quais os tipos de interações presentes nos sistemas apresentados. A maior parte dos alunos responderam em relação à existência de apenas interações dipolo induzido-dipolo induzido entre moléculas de H_2 , concordando com a afirmação e justificando principalmente em função da polaridade. Sobre a análise da ocorrência de ligações de hidrogênio em determinadas moléculas, a principal estratégia utilizada pelos estudantes foi identificar o “hidrogênio ligado aos elementos F, O e N” para caracterizar esse tipo de interação. Na questão referente a ocorrência de interações dispersivas junto às interações dipolo-dipolo, muitos alunos afirmaram que somente havia as dipolo-dipolo por se tratar de moléculas polares

Foi possível observar que os alunos argumentaram de diferentes formas sobre as interações intermoleculares presentes entre moléculas de H_2 , a maioria justificou através da polaridade das

moléculas como pode ser observado em alguns excertos abaixo.

...H₂ é apolar, por esse motivo existem apenas as forças de dispersão de London (A3/A4)

...sim, pois as moléculas de H₂ são apolares, assim só podem resultar na interação di-di (A25/A26)

...correta, pois é uma molécula apolar, o polo é momentâneo, di-di (A33)

Das 62 respostas coletadas, apenas quatro alunos afirmaram que as interações entre moléculas de H₂ e outros dois estudantes que classificaram as interações entre essas moléculas de dipolo-dipolo. Evidenciando que a ideia de interações dipolo induzido-dipolo induzido serem dominantes entre moléculas apolares foi bem assimilada por parte dos alunos.

Sobre as moléculas de H₂, HCl e NH₃ apresentarem ligações de hidrogênio intermoleculares, a maior parte dos alunos foram muito objetivos, apenas afirmando que somente entre moléculas de NH₃ há ligações de hidrogênio intermoleculares, sem muitas explicações. Entre os alunos que apresentaram justificativas, essas estavam baseadas na ideia do “hidrogênio ligado a FON”.

...apenas a molécula de NH₃ possui ligações de hidrogênio, pois o hidrogênio está ligado ao nitrogênio... (A7/A8)

...pois apenas NH₃ apresenta ligação de hidrogênio sendo que está ligação só ocorre quando o hidrogênio liga a F, O e N. (A9/A10)

...apenas NH₃ possui ligação de hidrogênio, pois é a única que contém um dos elementos de F, O, N. (A17/A18)

Tanto nas questões do teste quanto na avaliação bimestral, as ligações de hidrogênio parecem ser o tipo de interação que os estudantes identificam com mais facilidade. Apenas dois alunos afirmaram que as ligações de hidrogênio estavam presentes também entre moléculas de H₂ e HCl.

A terceira questão da atividade sobre as forças intermoleculares das moléculas de H₂, HCl e NH₃ serem tão fortes quanto as forças intramoleculares (ligações químicas), as respostas da maioria dos estudantes foram reconhecendo as ligações químicas como mais fortes que as interações intermoleculares, mas com bastante diversidade em suas justificativas. Alguns descreveram apenas a ideia de comparar a dificuldade de separar moléculas em relação a quebrar ligações químicas.

...não, pois é mais fácil separar as moléculas (forças intermoleculares) do que separar os átomos que formam as moléculas (ligação química), ou seja, a ligação química é mais forte do que as forças intermoleculares (A45/A46)

...as forças intermoleculares são mais fracas que as forças intramoleculares, pois é mais fácil separar moléculas do que átomos (A41/A42)

Apenas dois dos estudantes consideraram as ligações químicas como sendo mais fortes que as interações intermoleculares e optaram por uma representação na justificativa (Figura 2).

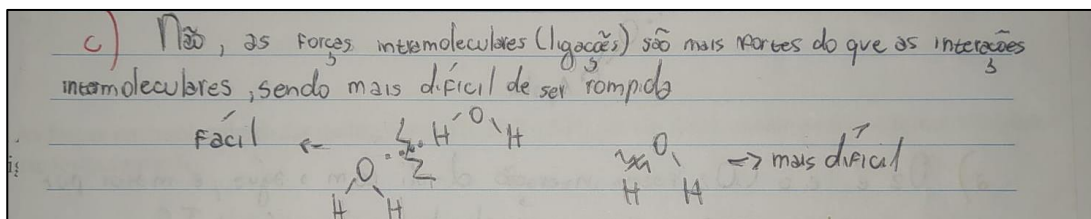


Figura 2: Representação dos estudantes durante explicação sobre a força das ligações químicas e das interações.

Dez estudantes apresentaram em suas respostas o conceito de energia para justificar o fato de as ligações químicas serem mais fortes que as interações intermoleculares como pode ser observado



nos trechos de algumas respostas selecionadas.

...na verdade as ligações são mais fortes que as interações, visto que precisa de mais energia para separá-las (A35/A36)

...não, pois para separar ligações químicas é necessário muito mais energia do que para separar ligações intramoleculares. Exemplo: para separar moléculas de água é necessário apenas ferver, passando a água para o estado gasoso...(A9/A10)

Outros quatro estudantes apresentaram em suas concepções a ideia de comparação de intensidade, alegando que as ligações químicas são mais intensas que as interações. Todas essas justificativas mostram que o foco desses estudantes foi enfatizar a diferença de magnitude da energia envolvida nas forças intermoleculares e intramoleculares.

Já para quatro dos estudantes as justificativas foram fundamentadas na natureza da ligação/interação, uma vez que houve uma tentativa de diferenciar as ligações químicas das interações intermoleculares por meio da natureza do processo interativo.

...não, as ligações químicas são mais fortes que as ligações intermoleculares, devido a atração eletrostática ser mais fraca que os elétrons compartilhados... (A19/A20)

...é mais fácil separar 2 moléculas do que os átomos de uma molécula, pois a molécula tem dois átomos ligados por um par de elétrons, já a molécula com outra é só + e -... (A51/A52)

Por mais que em suas respostas possam ter equívocos, foi interessante perceber que houve a busca por explicações através da natureza elétrica tanto das interações inter e intramoleculares. No último item dessa questão (Q2.d.), os estudantes foram indagados sobre a aditividade e universalidade das forças dispersivas por meio da afirmativa sobre se “as moléculas de HCl e NH₃ têm forças de dispersão de London ao lado das forças dipolo-dipolo”. A maior parte dos alunos deram ênfase ao tipo de interação dominante entre as moléculas e destacaram as interações dipolo-dipolo entre as mesmas como pode ser observado nos trechos abaixo.

...as duas moléculas, HCl e NH₃ têm elétrons sobrando, então são polares, as interações são dipolo-dipolo (A39/A40)

...as duas têm dipolo-dipolo, pois as duas polarizam para um lado (A55/A56)

...HCl tem dipolo-dipolo, NH₃ dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio (A25/A26)

Aparentemente entre esses alunos a ideia era identificar o tipo de interação e a ideia ficava restrita à polaridade, apesar de o último trecho destacar a ideia de aditividade entre interações dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio. Apenas dezoito estudantes reconheceram a existência de interações dispersivas ao lado das forças dipolo-dipolo, os três excertos abaixo representam as concepções apresentadas por esses alunos.

...sim, como forças de dispersão são universais estão em todas as moléculas e por serem polares possuem interações dipolo-dipolo (A9/A10)

...sim, pois a di-di é universal, ocorre em todas as moléculas por conta de uma deformação na nuvem de elétrons (A37/A38)

...sim, pois todas as moléculas tem dipolo induzido-dipolo induzido e ambas as moléculas são polares, fazendo com que tenham dipolo-dipolo (A17/A18)

A questão da universalidade das interações dispersivas foi amplamente discutida pelo professor e muitos adotaram o próprio conceito em suas respostas, quatro desses alunos destacaram a ideia de deformação da nuvem eletrônica, mas não citaram a polarizabilidade, superficialmente abordado

pelo professor na explicação da equação de energia de interação. Assim, faz-se necessário abordar melhor este conceito definindo-o como a possibilidade de distorção da distribuição eletrônica na molécula e relacionando isto com o volume molecular.

Sobre a existência de ligações de hidrogênio entre moléculas de água e entre moléculas de metano, os alunos não apresentaram dificuldade em responder e a maioria dos estudantes identificou as ligações de hidrogênio somente entre as moléculas de água e a justificativa predominante foi o fato do hidrogênio ligado a um átomo de oxigênio na molécula. Assim como na questão anterior, não houve muitos equívocos sobre a existência de interações dipolo-dipolo nas moléculas de N_2 , HCl e NH_3 , porém, a ideia de atribuir apenas um tipo de interação, a mais dominante para cada sistema molecular, permaneceu na maior parte das respostas, sendo as interações dipolo induzido-dipolo induzido presentes nas moléculas de N_2 , dipolo-dipolo entre moléculas de HCl e ligações de hidrogênio entre moléculas de NH_3 . Vinte e quatro alunos reconheceram a ocorrência de interações dipolo-dipolo apenas entre moléculas de HCl e NH_3 , as respostas apresentavam justificativas em função da polaridade na maioria dos casos.

...apenas em HCl e NH_3 , pois as interações d-d acontecem apenas em moléculas polares (A37/A38)

...apenas HCl e NH_3 , pois elas são moléculas polares (A1/A2)

...HCl e NH_3 , por serem polares, mesmo que hajam outras ligações, como a ligação de hidrogênio, por exemplo, ainda há mais de uma interação... (A15/A16)

Sobre as questões relacionadas à solubilidade, a primeira abordou o exemplo presente nos conteúdos da aula ministrada pelo professor no âmbito do tema, o processo interativo que explica a solubilidade do oxigênio em água, a questão apresentou a possibilidade de o aluno representar microscopicamente o fenômeno. Oito estudantes não responderam a essa questão e doze estudantes afirmaram que a solubilidade do gás oxigênio em água estava relacionada com a formação de ligações de hidrogênio entre as moléculas de O_2 e as moléculas de água como representada na Figura 3 (respostas de um dos estudantes).

Os quarenta e dois estudantes restantes apresentaram respostas cuja principal justificativa era a interação dipolo-dipolo induzido entre as moléculas de oxigênio e as moléculas de água, sendo que muitos optaram por não representar as interações. Alguns excertos foram selecionados para demonstrar a argumentação desses estudantes.

...pois há interação dipolo-dipolo induzido entre a água e o oxigênio (A45/A46)

...pois acontecem interações do tipo dipolo-dipolo induzido (A3/A4)

...pois há ligação d-di isso faz com que tenha solubilidade (A21/A22)

...semelhantes tendem a dissolver semelhantes, mas não é sempre assim, no caso da água e oxigênio há uma interação d-di sendo possível O_2 dissolver em H_2O devido a interação entre eles (A19/A20)

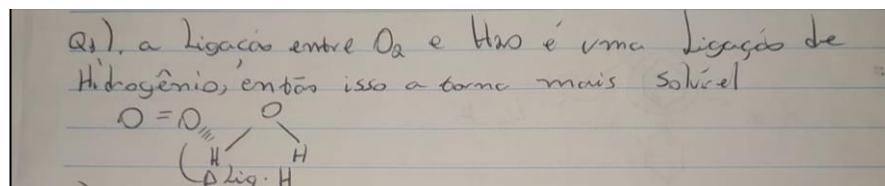


Figura 3 Resposta equivocada de um dos estudantes sobre a solubilidade do oxigênio em água.

O fato de o professor ter utilizado esse fenômeno como exemplo da interação dipolo-dipolo induzido pode ter influenciado nas respostas, apesar de muitos explorarem conceitos também relacionados à solubilidade. A Figura 4 traz alguns dos desenhos utilizados pelos estudantes para representar as



...na água salgada, pois há sais, que possuem íons, que deixam o O_2 mais solúvel (A33/A34)

...maior solubilidade será na água salgada por conta que vai ocorrer uma maior polarização das moléculas de O_2 (A23/A24)

Conclusão

Analisando a abordagem com uma sequência de aulas com ênfase em princípios fundamentais do tema interações intermoleculares aos estudantes de ensino médio foi possível perceber que muitos dos aspectos e conceitos que geram dificuldades/equívocos no ensino superior em química, podem ser parcialmente trabalhados ainda no ensino básico.

A partir de adaptações, inserção de exemplos, detalhamento de conceitos e ideias mais bem exploradas, muitos conceitos fundamentais ao tema podem ser melhores apropriados pelos estudantes. Além da incorporação de equações, gráficos e quadros presentes em livros de química geral com foco nos conceitos básicos podem ser viáveis para uma abordagem mais completa do tema.

A maior parte dos estudantes apresentou bom desempenho em relação a questões, cujas respostas são acompanhadas de erros conceituais em publicações da área de ensino de química, como a capacidade de diferenciar a magnitude entre interações intermoleculares e ligações químicas, o fato de não ocorrer quebra de ligações químicas em mudanças de estado físico, o domínio do conceito de universalidade das forças dispersivas, a ocorrência de interações dipolo induzido-dipolo induzido em todos os tipos de moléculas independentemente da polaridade, a ideia de aditividade das interações, com a contribuição de mais de um tipo de interação para muitos sistemas moleculares.

Mesmo que as explicações sobre o processo do oxigênio dissolvido em água foram apresentadas de maneira correta por boa parte dos estudantes, o conceito de solubilidade precisa ser mais bem explorado em uma perspectiva da ocorrência e representação de processos interativos na interpretação deste fenômeno, pois ainda é recorrente o uso da regra “semelhante dissolve semelhante”. Isto indica que a transferência de um conceito para outro domínio, solubilidade no caso, não é direta e, portanto, precisa ser abordada explicitamente. Uma possibilidade seria mostrar as diferenças entre os estados iniciais e finais do processo, onde, antes da dissolução, há interações entre as partículas soluto-soluto e solvente-solvente em sistemas separados e, após a dissolução, tomam parte também interações entre as partículas soluto-solvente, com consequente a análise dos tipos de interação envolvidos e suas energias relativas.

Outro equívoco ainda constante é uma visão simplificada das ligações de hidrogênio, uma vez que as concepções dos alunos ficam restritas à identificação dessas interações através da fixação em relação aos elementos químicos flúor, oxigênio e nitrogênio. Isso resulta em erros de interpretação quando tais elementos estão em estruturas moleculares que não formam tais ligações.

Em resumo, a proposta de uma abordagem mais conceitual, aqui apresentada, que busque abordar explicitamente as ideias centrais do tema interações intermoleculares, demonstra ser um caminho importante para um melhor aprendizado do tema, servindo de base para futuras adaptações e novas propostas metodológicas.

Referências

BURROWS, A., HOLMAN, J., PARSONS, A., PILLING, G. E PRICE, G. **Chemistry³**: introducing inorganic, organic and physical chemistry, Oxford University Press, 2009.



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.

GLAZIER, S.; MARANO, N.; EISEN, L. 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**, v. 87, n. 12, p. 1336-1341, 2010.

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

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, 2020.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química Geral e Reações Químicas**, 1-2. 6ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

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

RODRIGUES, S. B. V.; DA-SILVA, D.C.; QUADROS, A. L. O ensino superior de química: reflexões a partir de conceitos básicos para a química orgânica. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1840-1845, 2011.

SMITH, C, NAKHLEH, M. B. University students' conceptions of bonding in melting and dissolving phenomena. **Chemistry Education Research and Practice**, n. 12, p. 398–408, 2011.

TARHAN, L.; AYAR-KAYALI, H.; UREK, R. O.; ACAR, B. Problem based learning in 9th grade chemistry class: “intermolecular forces”. **Research in Science Education**, Dordrecht, v. 38, n. 3, p. 285–300, 2008.