

Fábio Luiz Seribeli¹¹Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP)

Interações intermoleculares: o estado da arte da pesquisa em ensino e desenvolvimento de atividades práticas experimentais sobre o tema

Intermolecular Interactions: the state of the art of research in teaching and development of experimental practical activities on the theme

Resumo. O propósito deste trabalho surgiu a partir de estudos que identificaram a importância das interações intermoleculares no ensino de química, encontrados nas principais produções relativas ao tema. No entanto, observou-se também, a necessidade de se avançar em debates que considerem as aplicações de tais interações, experimentos e estratégias de abordagem desse tema que permeia vários conteúdos da química, para uma aprendizagem significativa que supere uma abordagem classificatória na perspectiva de uma abordagem molecular. Desse modo, a metodologia utilizada foi a de elaboração de Atividades Práticas Experimentais, com o objetivo de melhorar os conceitos fundamentais e ideias chave para a aprendizagem das interações intermoleculares em um curso de ensino médio. Um levantamento bibliográfico foi realizado com o intuito de analisar a produção científica acerca do tema e também auxiliar na elaboração dos roteiros de práticas experimentais, foram selecionados 234 artigos, distribuídos nas seguintes revistas de ensino de química: 22 da CERP (Chemistry Education Research and Practice), 35 da EQ (Educación Química), 106 da JCE (Journal Chemical Education), 16 da QN (Química Nova) e 55 da QNesc (Química Nova na escola). Os artigos da QNesc foram mais explorados no presente estudo por apresentarem uma linguagem mais voltada para o ensino médio. Um simples questionário baseado na leitura das publicações selecionadas foi aplicado a dois grupos de alunos, um deles submetidos a uma abordagem tradicional do tema e outro com APEs de forma adicional. Constatou-se que, a compreensão do aluno sobre o tema, sobretudo os conceitos fundamentais e as ideias chave, melhoram o processo de ensino-aprendizagem a partir da experimentação. **Palavras-chave:** Ensino de química, Atividades práticas experimentais, Interações intermoleculares.

Abstract. The purpose of this work was based on studies that identified the importance of intermolecular interactions in chemistry teaching, found in the main productions related to the subject. However, it was also observed the need to advance in debates that consider the applications of such interactions, experiments and strategies to approach this topic that permeates various contents of chemistry, for a meaningful learning that surpasses a classificatory approach in the perspective of a molecular approach. Thus, the methodology used was the elaboration of Experimental Practical Activities, with the objective of improving the fundamental concepts and key ideas for the learning of intermolecular interactions in a high school course. A bibliographical survey was carried out with the purpose of analyzing the scientific production on the subject and also assisting in the elaboration of the experimental practice scripts, selecting 234 articles, distributed in the following chemistry teaching journals: 22 from CERP (Chemistry Education Research and Practice), 35 of the EQ (Chemical Education), 106 of JCE (Journal Chemical Education), 16 of QN (New Chemistry) and 55 of QNesc (New Chemistry in school). The QNesc articles were more explored in the present study because they presented a language more focused on secondary education. A simple questionnaire based on the reading of the selected publications was applied to two groups of students, one of them subject to a traditional approach to the subject and another with APEs in addition. It was verified that the student's understanding of the subject, especially the fundamental concepts and the key ideas, improves the teaching-learning process from experimentation. **Keywords:** Chemistry teaching, Experimental practical activities, Intermolecular interactions.

Introdução

Um dos principais objetivos do ensino de química é ensinar aos alunos a compreensão da relação entre estrutura molecular ou composição da matéria e suas propriedades. Essa relação entre molécula (estrutura) e propriedade é algo que pode ser utilizado para a elaboração de novos materiais e processos. A maior parte do que encontramos no cotidiano não é caracterizado individualmente, um átomo ou espécie molecular, mas se considera sua natureza heterogênea. Para se obter um melhor entendimento das relações estrutura-propriedade, é imprescindível uma compreensão da estrutura ou composição da matéria (ligações químicas) e da natureza das interações intermoleculares entre espécies moleculares, pois elas existem e com considerável proximidade. Um conceito universal tão importante deve aparecer com maior ênfase no currículo de um curso de química (MURTHY, 2006).

Algo tão óbvio quanto à evidência de que a maioria dos materiais existe como líquidos e sólidos é um testemunho da importância das interações intermoleculares. Essas interações são fundamentais em muitos fenômenos comuns e interessantes que observamos, das interações dos medicamentos ao tingimento de fibras. A natureza das interações intermoleculares tem sido estudada por muitos anos, e sua descrição continua a ser objeto de modelagem quantitativa (BURKHOLDER; PURSER; COLE, 2008).

As interações intermoleculares têm considerável importância no comportamento como funções químicas e biológicas. As discussões sobre essas interações demonstram a importância das mesmas na escala molecular e como elas influenciam nas propriedades que são observadas no universo macroscópico. Identificaram-se na literatura muitas dificuldades dos estudantes sobre as interações intermoleculares, como por exemplo, a influência da estrutura da molécula sobre a polaridade e as propriedades físicas das substâncias químicas. Uma interação intermolecular significa que as moléculas apresentam atração ou repulsão entre si, sem que aconteça quebra ou formação de novas ligações químicas. Estas interações já foram caracterizadas como interações não covalentes. As mesmas estão intimamente relacionadas com propriedades termodinâmicas de líquidos, sólidos e gases. Portanto, a aprendizagem de tais interações intermoleculares é de extrema relevância para se entender o comportamento de sistemas químicos a nível molecular (ROCHA, 2001).

Segundo (GOTTSCHALK; VENKATARAMAN, 2014) a literatura tem exemplos de materiais de aprendizagem que demonstram a influência das interações intermoleculares sobre o comportamento de sistemas químicos e que tentam ajudar os alunos a superar as dificuldades de aprendizagem em relação ao tema. No entanto, a maior parte dos materiais didáticos, tem focalizado nas interações entre moléculas polares, em especial, por interações do tipo ligações de hidrogênio, com menor ênfase sobre forças de dispersão. Interações de dispersão são consideradas um desafio ao entendimento dos estudantes, é um conteúdo que muitas vezes não é abordado em profundidade na graduação (GOTTSCHALK; VENKATARAMAN, 2014).

A literatura aponta também como problema recorrente, quando se explica ao aluno que a ligação de hidrogênio é o tipo mais forte de interação intermolecular, seguida da dipolo-dipolo e, finalmente, das forças de dispersão. Comumente, se dá aos estudantes a concepção errônea de que a ligação de hidrogênio terá as interações intermoleculares mais fortes e, portanto, apresentam propriedades físicas, como os pontos de ebulição, maiores. Além disso, alguns livros didáticos apresentam essa ideia através de tabelas que mostram as energias associadas a várias interações intermoleculares, o que pode facilmente levar a uma aprendizagem equivocada com

base em raciocínio perfeitamente lógico. Os valores de energia das interações e os dados nessas tabelas parecem implicar que é impossível, para uma molécula apolar, com apenas forças dispersivas, ter interações intermoleculares da mesma força, de uma molécula polar (JASIEN, 2008).

Embora os livros de química geral, mais antigos, ao explicar pontos de ebulição mais altos de moléculas apolares em relação a moléculas polares, procuram explicar este efeito em compostos apolares através da correlação com a massa molar, alguns livros texto mais novos, substituem de forma mais adequada, o tamanho da molécula por polarizabilidade elétrica. Na literatura sobre ensino de química, outras propriedades que foram utilizadas para demonstrar a relação entre o ponto de ebulição e o tamanho da molécula, tais como, o índice de refração molar, a área superficial, o volume e o número de elétrons. Embora a polarizabilidade elétrica seja a mais adequada para discutir a origem física do efeito dispersivo (JASIEN, 2008).

Na literatura, é perceptível a preocupação de apresentar modelos que podem ser úteis aos professores, na medida em que eles tentam desenvolver ferramentas pedagógicas para ajudar os alunos a compreender a importância relativa e a aditividade de vários tipos de interações intermoleculares. É necessário entender a importância aditiva dos diferentes tipos de interações intermoleculares em um mesmo sistema. As aulas e a maioria dos livros didáticos também não abordam este aspecto de maneira explícita. A energia de interação entre duas moléculas tem que ser vista como um somatório de várias parcelas sendo cada uma correspondente a um tipo de interação (JASIEN, 2008).

Alguns indicativos apresentados sobre a abordagem do tema na disciplina de química geral na graduação em química foram identificados em tese de doutoramento defendida por (JUNQUEIRA, 2017) que apontou como ideias fundamentais que precisam ser levadas em conta nos processos de ensino e aprendizagem para a compreensão das interações intermoleculares:

- ✓ O entendimento das interações intermoleculares exige compreensão da estrutura molecular.
- ✓ Devem-se superar relações simplistas entre a variação da massa molecular e as mudanças de estado físico.
- ✓ Compreender que vários tipos de interações intermoleculares podem estar atuando no mesmo sistema.
- ✓ Compreender a universalidade das forças dispersivas de London.
- ✓ Necessidade de relacionar intensidade e alcance das interações intermoleculares.
- ✓ Necessidade de saber interpretar os valores de energia típicos das interações intermoleculares.
- ✓ As definições para as ligações de hidrogênio não devem ser restritas a presença de átomos de flúor, oxigênio e nitrogênio.

Buscando contemplar os objetivos do trabalho, a investigação proposta apoia-se na importância de propostas de práticas experimentais que abordem as interações intermoleculares com o intuito de demonstrar as aplicações e importância do tema para o ensino de química.

Também é importante, realizar um levantamento do tema na literatura científica, em bases de dados e revistas específicas da área de ensino de química, para elaborar o estado da

arte do tema, tendo como pontos norteadores: I) o que é importante saber sobre o tema, II) Propostas experimentais de ensino, e III) Dificuldade dos alunos.

A partir do teste qualitativo com alunos que tiveram acesso à abordagem experimental, para verificar o que os mesmos estão aprendendo sobre o tema, pode-se comparar, em termos de organização conceitual, o conhecimento das interações intermoleculares em relação a alunos submetidos à abordagem tradicional. Tais informações são importantes e necessárias para subsidiar as futuras práticas educacionais.

Objetivos

O presente projeto de pesquisa tem como objetivo geral definir, com o auxílio de práticas experimentais, a estrutura mínima de conhecimento do tema: interações intermoleculares, que um aluno do curso de ensino médio deve conhecer. Entende-se como estrutura de conhecimento o elenco dos principais conceitos que compõe o tema, suas definições e inter-relações entre os mesmos, fundamentais para uma correta e profunda compreensão do assunto em questão. Serão apresentadas as interações intermoleculares e suas aplicabilidades através da experimentação, bem como a ênfase a alguns conceitos fundamentais do tema.

Metodologia Revisão Bibliográfica

A etapa do presente estudo a ser desenvolvida pode ser classificada como pesquisa qualitativa baseada no levantamento bibliográfico, pois o foco estará voltado para um período específico que abrange a publicação de trabalhos nas principais revistas e bases de dados da área de ensino de química no Brasil e no mundo, com o intuito de identificar e analisar as categorias citadas nos objetivos específicos.

A primeira base de dados a ser utilizada, será a Scientific Electronic Library Online - SciELO é uma biblioteca eletrônica que abrange uma coleção selecionada de periódicos científicos brasileiros. A SciELO é o resultado de um projeto de pesquisa da FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, em parceria com a BIREME - Centro Latino-Americano e do Caribe de Informação em Ciências da Saúde. A partir de 2002, o Projeto conta com o apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. O Projeto tem por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia comum para a preparação, armazenamento, disseminação e avaliação da produção científica em formato eletrônico. Com o avanço das atividades do projeto, novos títulos de periódicos estão sendo incorporados à coleção da biblioteca. A Rede SciELO é a maior provedora de periódicos indexados pelo Diretório de Periódicos de Acesso Aberto (Directory of Open Access Journals - DOAJ). A maioria dos periódicos latino-americanos indexados pela Web of Science e Scopus é de acesso aberto, sendo a maior parte deles periódicos do SciELO. Nenhuma outra região do mundo tem esse nível de adoção de periódicos de acesso aberto indexados internacionalmente.

A outra base de dados consultada no presente trabalho, a Web of Science (anteriormente conhecida como Web of Knowledge) é um serviço de indexação de citações científicas baseado em assinatura, originalmente produzido pelo Institute for Scientific Information (ISI), agora mantido pela Clarivate Analytics (anteriormente Intellectual Property e Science business da Thomson Reuters), que fornece uma pesquisa abrangente de citação. Dá acesso a múltiplos

bancos de dados que fazem referência à pesquisa interdisciplinar, que permite a exploração aprofundada de subcampos especializados dentro de uma disciplina acadêmica ou científica.

Em especial serão também pesquisados os trabalhos das revistas: JCE (Journal Chemical Education), Educación Química, Química Nova e Química Nova na Escola. A escolha destas revistas justifica-se pelo fato da pesquisa buscar uma abordagem do tema na área do ensino de química.

Serão selecionadas as pesquisas com as seguintes palavras-chave: interações intermoleculares, forças intermoleculares, interações de van der Waals, forças de van der Waals e ligações de hidrogênio, nos campos: títulos, palavras-chave e resumos.

Atividades Práticas Experimentais de Ensino de Química

As Atividades Práticas Experimentais de Ensino de Química sobre interações intermoleculares serão elaboradas utilizando-se da revisão bibliográfica e outras que serão formuladas a partir de adaptações de experimentos já conhecidos na literatura, mas que não abordam o tema como principal perspectiva.

A maioria dos recursos utilizados para a execução dos experimentos serão equipamentos e vidrarias básicas de laboratório, em especial, o uso de materiais de baixo custo.

Em cada atividade prática serão evidenciados os conceitos fundamentais do tema e suas relações e inter-relações com conteúdo teóricos abordados previamente. Haverá aplicação de questionários e testes a serem elaborados para cada experimento.

É importante ressaltar que as Atividades Práticas Experimentais (APE) serão de natureza investigativa, em que a ação do aluno não se limita ao trabalho de manipulação ou observação, mas também contém características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica (Azevedo, 2004, p. 21).

A pesquisa será desenvolvida e aplicada pelo próprio Professor/Pesquisador, com o auxílio de alunos de Iniciação Científica do IFSP – Campus Tupã, os sujeitos da pesquisa são dois grupos de 8 alunos do 3º ano do Ensino Médio de uma escola pública estadual do município de Tupã-SP. A escola está localizada em um bairro de centro e atende em média 1000 alunos de ensino fundamental ao 3º ano do ensino médio, sendo mantida com o auxílio da Secretaria Estadual de Educação do estado de São Paulo.

Serão aplicados a todos os alunos os mesmos métodos de pesquisa, utilizando-se de 6 encontros para sua execução, sendo caracterizados por um período de aula. Um dos grupos será submetido a um 2º período com atividades práticas experimentais de natureza investigativa, relacionadas ao tópico abordado em cada encontro. Um pré-teste será realizado para conhecer o perfil dos dois grupos de alunos e a cada encontro os alunos responderão a testes/questionários e também ao final dos encontros, serão submetidos a um novo teste de caráter qualitativo/quantitativo, tanto para verificação do processo de aprendizagem quanto sobre a análise individual sobre a participação na pesquisa.

Análise dos dados da revisão bibliográfica

A coleta de dados e os procedimentos de análise da revisão bibliográfica iniciarão, a priori, seguindo algumas etapas:

- a) Ler os resumos dos trabalhos para uma classificação prévia;
- b) Efetuar a classificação e análise dos trabalhos completos nas diferentes categorias:

I) O que é importante sobre o tema interações intermoleculares;

II) O que se diz a respeito do conteúdo: conceitos fundamentais, ideias-chave, organização do conhecimento, esta categoria seria caracterizada como a principal do projeto de pesquisa;

III) Aspectos do aprendizado: dificuldades;

IV) Propostas e metodologias de práticas experimentais de ensino;

Novas categorias e subcategorias podem emergir no decorrer da análise dos trabalhos obtidos.

Análise dos dados das atividades práticas desenvolvidas

A coleta de dados e os procedimentos de análise dos questionários e testes serão realizados, baseando-se nos apontamentos apresentados a partir da análise de conteúdo da revisão bibliográfica. As respostas dos alunos serão comparadas a fim de verificar a importância da abordagem do tema com atividades práticas experimentais.

As técnicas de análise de dados passaram pelo processo de observação dos alunos, durante o desenvolvimento das atividades, pró-atividade e satisfação dos mesmos perante as aulas apresentadas, assim como anotações feitas por eles, e a comparação entre a média dos testes/questionários, aplicados antes e após a realização das aulas (tradicionais para um grupo e práticas a outro grupo).

Análise da revisão bibliográfica

Durante a análise das revistas da área de ensino de química, foram catalogados 234 trabalhos, sendo que 22 correspondiam à CERP (Chemistry, Education, Research and Practice), 35 à EQ (Educación Química), 106 ao JCE (Journal of Chemical Education), 16 à QN (Química Nova) e 55 à QNEsc. Na Tabela 1 apresentamos a distribuição dos trabalhos por revista. É importante ressaltar que, muitos trabalhos foram selecionados quando a busca foi realizada nas bases de dados, sendo que os trabalhos foram contabilizados apenas uma vez. No total temos, ao longo de vários anos, trabalhos até de 1938, o que significa que para as categorias definidas a priori, o ano de publicação não é o fator determinante.

Vale destacar que, os trabalhos da revista QNEsc foram selecionados para uma análise mais aprofundada, pois apresentam aspectos conceituais mais indicados para o ensino médio em relação as outras revistas, além de apresentarem propostas de atividades práticas experimentais com materiais mais acessíveis.

Quadro 1 – Distribuição dos trabalhos por revista.

Revistas da área de Ensino de Química	Número de artigos
CERP	22
EQ	35
JCE	106
QN	16
QNEsc	55
Total	234

A maior concentração de artigos se deu entre as revistas *Journal of Chemical Education* e *Química Nova na Escola*, lembrando que foi efetuada a leitura dos trabalhos completos de todas as revistas e classificados nas seguintes categorias:

✓ *Pesquisa*: nessa categoria estão reunidos os artigos que apresentam pesquisas diversas relacionadas ao ensino das interações intermoleculares, mas não se enquadram nas demais categorias.

✓ *Conceitual*: nessa categoria estão reunidos os artigos relacionados ao conhecimento interações intermoleculares. Os conceitos fundamentais, ideias-chave, organização do tema no ensino de química.

✓ *Aprendizagem*: nessa categoria estão reunidos os trabalhos que apresentam experiências, relatos ou artigos que, em geral, tenham aspectos de aprendizagem e também dificuldades dos alunos na compreensão do tema interações intermoleculares.

✓ *Propostas*: nessa categoria estão reunidos os trabalhos que apresentam propostas metodológicas de atividades para o ensino de interações intermoleculares.

No Quadro 2, é possível observar a distribuição dos artigos de todas as revistas analisadas, nas diferentes categorias definidas.

Quadro 2 – Disposição dos artigos em cada categoria.

Categoria	Número de artigos
Pesquisa	64
Conceitual	59
Aprendizagem	38
Propostas	73

Um pouco mais de 30% dos trabalhos selecionados são representados por artigos que apresentam propostas metodológicas de ensino das forças intermoleculares, é importante ressaltar que parte considerável desses trabalhos é de revistas internacionais e que abordam atividades que necessitam de materiais/equipamentos de nível de graduação.

Levando em consideração a linguagem mais apropriada para o ensino médio, além dos trabalhos recomendarem propostas com materiais mais acessíveis e de baixo custo, foi realizada uma análise minuciosa das características encontradas nos artigos da QNEsc. No Quadro 3, são apresentadas algumas das principais propostas metodológicas para o ensino das forças intermoleculares a partir da experimentação.

Quadro 3 – Exemplos de propostas de atividades experimentais para o ensino do tema.

Título do artigo	Ano	Conceitos em destaque
Análise de Pigmentos de Pimentões por Cromatografia em Papel	2008	Polaridade; Forças de London; Ligação de Hidrogênio;
Atividades Experimentais Simples Envolvendo Adsorção sobre Carvão	2010	Interações de dispersão; Interações dipolo-dipolo; Adsorção; Cadeia Hidrofóbica;

Mesmo com um grande número de trabalhos publicados com o objetivo de apresentarem propostas de atividades práticas experimentais, existe uma demanda de atividades que enfatizem o caráter molecular das interações intermoleculares e principalmente que não abordem de maneira classificatória os tipos de interações.

O aluno termina o ensino médio com a noção equivocada da não aditividade das interações. Um exemplo corriqueiro é a afirmação de que entre moléculas de água só existe a interação por ligações de hidrogênio e não consideram que também ocorrem interações do tipo dipolo-dipolo e de dispersão entre essas moléculas.

Atividades Práticas Experimentais

Inicialmente, foram reunidos artigos científicos para o desenvolvimento de Atividades Práticas Experimentais (APE) sobre interações intermoleculares, lembrando que muitas propostas de experimento estão disponíveis na literatura, mas com ênfase em outros conceitos de química. Todas as atividades elaboradas têm em sua estrutura organizacional os seguintes tópicos: objetivo, questão prévia, introdução, materiais e reagentes, procedimento e discussão. Ressalto que a discussão é o ponto forte da proposta, uma vez que se baseia em um referencial para demonstrar os conceitos sobre as interações intermoleculares envolvidos no experimento.

A primeira Atividade Prática Experimental proposta abrange a identificação de digitais utilizando o vapor de iodo a partir das interações intermoleculares e a segunda é a determinação do teor de álcool na gasolina a partir de uma perspectiva mais molecular do que de separação de misturas:

I. IDENTIFICAÇÃO HUMANA (DIGITAL) VIA VAPOR DE IODO

OBJETIVO

Demonstrar a importância das interações intermoleculares fracas na Química Forense.

QUESTÃO PRÉVIA

Como revelar digitais em uma taça de vidro ou amostra de papel utilizando a técnica do vapor de iodo?

INTRODUÇÃO

A química sempre está presente na vida dos seres humanos, seja ela perceptível ou não. Além das transformações na natureza e no planeta, a química também desempenha grande papel de cunho social, como por exemplo, na cooperação em solucionar crimes e investigações.

Uma das áreas da química, responsável por parte das pesquisas nessa área é a química forense, que segundo o Conselho Regional de Química – IV Região (2011), pode ser definida como uma química que engloba análises orgânicas e inorgânicas, toxicologia, investigações sobre incêndios criminosos e sorologia, e suas conclusões servem para embasar e pautar decisões judiciais.

Uma das utilizações dos conhecimentos da química forense é o uso para a identificação de impressões digitais. As digitais são traços identificáveis que formam um padrão único em cada pessoa e se fixam em muitas superfícies devido a gorduras e óleos corporais excretados pela pele.

Ao se fixar em superfícies, basicamente as impressões podem ser classificadas entre dois tipos: as visíveis e as ocultas. As digitais visíveis como diz o nome, podem ser vistas geralmente por terem sido fixadas com sangue ou outro tipo de líquido passível de se enxergar a olho nu. No caso das digitais ocultas, as impressões são fixadas por meio das gorduras/óleos corporais, que normalmente não conseguem ser vistos a olho nu. (CHEMELLO, 2006, p. 5)

Nas glândulas sudoríparas, sebáceas e apócrinas presentes no corpo humano e responsáveis pela excreção de gorduras e óleos corporais encontram-se compostos orgânicos, como os cloretos, íons metálicos, a amônia, sulfatos, fosfatos, a água e o ferro, e compostos inorgânicos, que podem ser exemplificados por compostos como aminoácidos, o ácido láctico, açúcares, a creatinina, o ácido úrico, ácidos graxos, glicerídeos, hidrocarbonetos, carboidratos, entre outros. (CHEMELLO, 2006, p. 5)

Não obstante, existem vários modelos com os quais se podem identificar e coletar impressões digitais. Vale citar modelos como a “Técnica do Pó”, em que se utilizam pincéis, ou até mesmo aerossóis, associado a um pó com as características físicoquímicas necessárias para a observação das impressões em superfícies lisas, não rugosas e não adsorventes. (CHEMELLO, 2006, p. 5)

Também é importante mencionar o uso do nitrato de prata. Segundo Farias (2008, p. 74) para se identificar as impressões, utiliza-se a reação formada entre o nitrato de prata e os cloretos presentes nas digitais, que pode ser observada na **figura 1** a seguir:

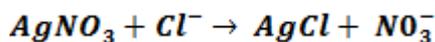


Figura 1 – Equação representante da formação do cloreto de prata. Fonte: (Elaborada pelo autor).

O cloreto de prata, insolúvel, formado na reação é reduzido à prata metálica quando em contato com a luz, e a partir desse momento se torna possível identificar as digitais registradas na superfície analisada. (FARIAS, 2008, p. 75)

Outra forma de observar as digitais impressas em determinada superfície é fazendo a utilização da Ninidrina. Esse reagente tem a característica de fornecer uma específica coloração ao produto da reação entre ele e certos componentes da gordura e dos óleos corporais, sendo estes os alfa aminoácidos, os polipeptídios e as proteínas. (CHEMELLO, 2006, p. 7)

Por último, temos o vapor de iodo, ferramenta com a qual iremos trabalhar em nosso experimento logo mais. O iodo pode sofrer o processo de sublimação, passando do estado sólido diretamente para o estado gasoso, e não necessita de temperaturas muito altas para atingir a sublimação. O vapor de iodo também é viável por, como uma de suas qualidades, sofrer o processo de adsorção física quando em contato com as digitais, e não uma reação. (CHEMELLO, 2006, p. 6)

Segundo Farias (2008, p. 73), antigamente acreditava-se que a adsorção, neste caso, ocorria devido à reação do iodo com gorduras insaturadas da impressão digital. Todavia, atualmente é mais plausível a explicação de que, na verdade, não ocorrem necessariamente reações químicas, mas sim processos como a fissorção/adsorção, derivados das forças de van der Waals e sendo este último integrante das interações intermoleculares. A partir destas descobertas e da observação da relação existente entre o processo de adsorção dos cristais de iodo sublimados com as interações intermoleculares, mostra-se necessária a discussão deste experimento na prática, para melhor aprofundamento nos conhecimentos empíricos da área, possível contribuição para a química forense e conseqüentemente, para o ramo social atingido pelas investigações criminais.

MATERIAIS E REAGENTES

Um erlenmeyer; Tira de papel; Pinça; Lamparina; Suporte; Fósforo; Iodo; Fita adesiva;

PROCEDIMENTO

Coloque o iodo no erlenmeyer. Coloque o erlenmeyer no suporte com a lamparina em baixo. Prende o dedo nas tiras de papel. Coloque as tiras no erlenmeyer e isole com fita adesiva. Aqueça até o iodo sublimar.

DISCUSSÃO

Para iniciarmos a discussão sobre as interações intermoleculares presentes na identificação humana, através das digitais “fixadas” voluntariamente no papel que, após o contato com o vapor de iodo, proveniente do aquecimento de uma amostra de iodo sólido. Temos que considerar alguns conceitos fundamentais dentro desse tema tão importante no conhecimento químico, às forças intermoleculares. O primeiro trata-se da Universalidade das Forças de London, que independentemente das moléculas serem polares ou apolares em um dado sistema, essas forças estarão atuantes. E o outro conceito fundamental, seria o da compreensão das diferentes interações que podem atuar nas moléculas, o entendimento das

interações em uma perspectiva molecular e não classificatória, que provoca equivocadamente a concepção errônea de que, em um sistema molecular, apenas um ou outro tipo de interação esteja ocorrendo. No entanto, a aditividade das interações intermoleculares é representada via equação matemática, em que cada contribuição simboliza um termo da equação da energia potencial total das interações intermoleculares (Equação 1). O primeiro termo corresponde às interações do tipo dipolo-dipolo, o segundo as forças de dispersão e o terceiro as forças de atração de indução (Glazier; Marano; Eisen, 2010). Essa equação representa as energias envolvidas nas interações intermoleculares entre duas moléculas idênticas, mas também pode ser aplicada a interações entre moléculas distintas. Uma ideia importante evidenciada na equação diz respeito à natureza aditiva das interações dipolo-dipolo e forças dispersivas de London.

$$U(r) = \frac{-2\mu^4}{3k_B T r^6} + \frac{-3b\nu_0\alpha^2}{4r^6} + \frac{-2\mu^2\alpha}{r^6} \quad (1)$$

Fonte: Glazier; Marano; Eisen, 2010, p. 1336.

A equação da energia potencial total das interações intermoleculares, também podem auxiliar na abordagem da universalidade das forças dispersivas de London, pois deixam claro que esse tipo de interação atua nos distintos sistemas.

Diante do exposto, a explicação do fenômeno de interação do vapor de iodo com as marcas de digitais deixadas no papel, na experimentação de identificação humana, exige um fator relevante a comentar, a hipótese de reação química, atualmente descartada, a conhecida reação de halogenação, que consiste na adição de iodo (I_2) (ou Br_2 , Cl_2) em compostos orgânicos insaturados, como por exemplo, ácidos graxos. Reação, inclusive, muito utilizada para determinar o grau de instauração (índice de iodo), apropriada para análises de qualidade de produtos à base de óleos, como pode ser observada na reação abaixo.

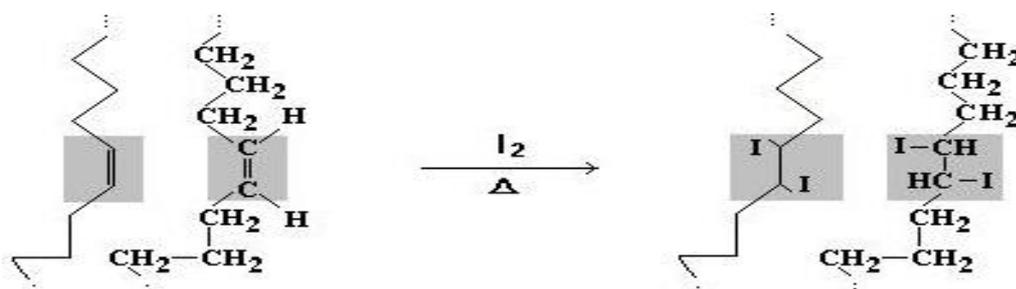


Figura 2 – Reação química entre iodo e ácidos graxos insaturados. Fonte: (UFPB) http://www.dbm.ufpb.br/DBM_bioquimica_monitoria.htm.

Todavia, as interações entre iodo e os compostos orgânicos presentes na pele humana, que podem ter origens endógenas ou exógenas, constituintes que representam quase todos os produtos químicos comuns, podem ser detectadas em impressões digitais suadas e latentes: álcoois, fenóis, aldeídos, cetonas, ésteres, hidrocarbonetos, aminas, amidas, aminoácidos e ácidos carboxílicos. Componentes endógenos comuns de óleos corporais que podem ser

detectado são esqualeno, colesterol e ácidos graxos, como o esteárico. Essas interações são caracterizadas como interações fracas e denominadas de adsorção física em uma linguagem mais técnica. O iodo (I_2), sabidamente um composto apolar, interage por interações dipolo induzido-dipolo induzido e dipolo-dipolo induzido, como podem ser observadas em caráter demonstrativo na figura abaixo.

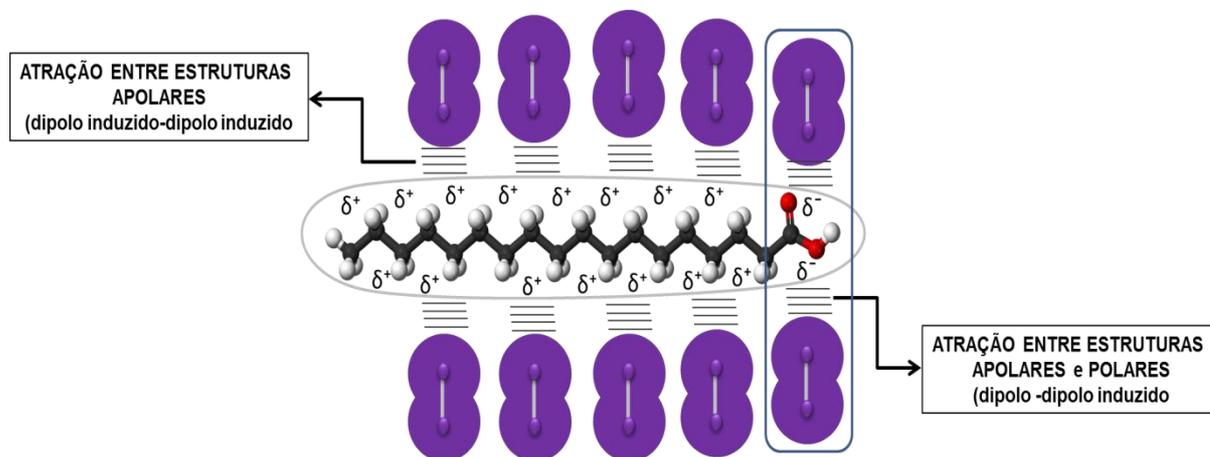


Figura 3 – Interações intermoleculares entre iodo e ácido graxo. Fonte: (Próprio autor).

Um das evidências que corrobora com esse entendimento é o desaparecimento da coloração característica do iodo no papel, onde as digitais foram identificadas.

II. TEOR DE ÁLCOOL NA GASOLINA PELA PERSPECTIVA MOLECULAR

OBJETIVO

Demonstrar, a partir do experimento, a importância das interações intermoleculares dentro de ações do cotidiano.

QUESTÃO PRÉVIA

Quais as interações intermoleculares envolvidas na determinação do teor de álcool na gasolina?

INTRODUÇÃO

A química é uma das ciências que possui total importância em nossos cotidianos, seja isso perceptível ou não. A partir disso, podemos usar a química para desempenhar questões que são impostas dentro de algumas leis, neste exemplo, temos a *determinação do teor de álcool na gasolina*.

A gasolina é obtida a partir de um processo de destilação fracionada do petróleo. Quando levada para os postos de combustíveis, sofre um processo denominado *octanagem*.

A octanagem é um processo que tem como característica indicar o quanto a mistura ar-combustível resiste a altas pressões e temperaturas. Quanto maior a octanagem, maior é a resistência a estes dois fatores, sendo que um baixo nível de octanagem pode prejudicar o motor.

Existem postos de combustíveis que para reterem um maior lucro e aumentarem a octanagem da gasolina, misturam solventes mais baratos a mistura da gasolina. Essa mistura com mais solventes, podem causar danos ao motor.

A gasolina possui obrigatoriamente 27% de álcool em sua composição, isso é definido por lei e foi anunciado em pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 4 de março de 2015 e passou a valer em 16 de março de 2015. Este valor foi definido, pois acima de 27% já apresenta um grande risco de falha e corrosão das peças.

MATERIAS E REAGENTES

Proveta com tampa (100 mL); Amostra de gasolina; Solução saturada de NaCl; Luvas e óculos de proteção.

PROCEDIMENTO

Coloque 50 mL da amostra da gasolina na proveta; Adicione a solução do cloreto de sódio até completar o volume de 100 mL da proveta; Misturas às camadas de amostra e solução por meio de 10 inversões sucessivas; Deixar em repouso por 15 minutos para que seja feito a separação completa das camadas; Anotar o aumento da camada aquosa em milímetros; A gasolina, solução amarelada, ficará na parte superior da proveta, já a solução ficará na parte inferior. Após isso, para poder ser feito o valor em percentual da quantidade de álcool devemos usar a seguinte fórmula:

$$AEAC = [(A - 50) \times 2] + 1$$

A = volume final da camada aquosa em mm (milímetros);

-50 = subtração do volume inicial da camada aquosa;

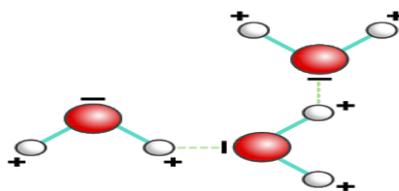
x 2 = duplicação da variação do volume da camada aquosa para que o valor possa ser empregado em porcentagem;

+1 = adição ao resultado final por conta da redução do volume da fase aquosa.

DISCUSSÃO

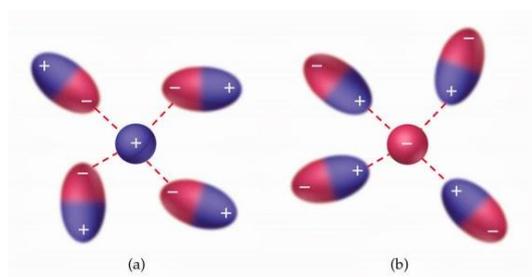
Para iniciarmos a discussão sobre as interações intermoleculares que fazem parte do experimento proposto, serão evidenciadas, as forças que ocorrem predominantemente, sendo elas: *ligação de hidrogênio, íon dipolo e dipolo induzido*.

Na ligação de hidrogênio, temos o conceito de que é um tipo de interação intensa, ocorrendo entre dipolos permanentes das moléculas, onde o polo positivo é sempre o hidrogênio e o polo negativo pode possuir variações entre os seguintes elementos: flúor, oxigênio e nitrogênio (FON). Estes três elementos os mais eletronegativos, em outras palavras, são os que mais atraem elétrons.



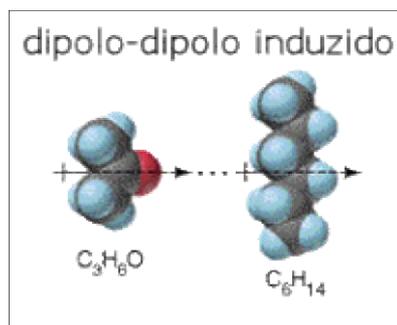
Fonte: Pinto, 2007.

Na ligação de íon dipolo, temos a interação de um íon com um dipolo, também considerada uma das mais fortes interações. Os dipolos são criados dentro da molécula por certos átomos, estes vão desempenhar a ação de distorcerem a nuvem eletrônica das mesmas, por serem mais eletronegativos que os outros que estão ligados.



Fonte: Pinto, 2007.

Por fim, na última interação abordada em nosso experimento, temos a dipolo induzido, é uma interação de fraca intensidade que ocorre entre moléculas apolares, entre gases nobres e também entre moléculas apolares e polares. É derivada de uma deformação que ocorre na nuvem eletrônica da molécula.



Fonte: Pinto, 2007.

O etanol possui uma parte polar e outra parte que é apolar, sendo que a atração da parte apolar é feita pelas moléculas da gasolina, que também são apolares, sendo assim realizada a força de dipolo-induzido.

Sua parte polar é atraída pelas moléculas de água, que também são polares, realizando a ligação de hidrogênio que é mais intensa que a ligação do tipo dipolo induzido.

Já na solução salina, se mostra presente a ligação do tipo íon dipolo, que está presente entre o NaCl e a água, reforçando o fato do etanol ser atraído pela água devido o íon dipolo ser mais forte que o dipolo induzido.

Aplicação das Atividades Práticas Experimentais

Duas turmas de oito alunos participaram das atividades propostas pelo presente estudo, a primeira turma denominada Turma A, tiveram aulas tradicionais sobre as interações

intermoleculares e em seguida responderam a seis questões relacionadas às Atividades Práticas Experimentais e assuntos concernentes ao tema interações intermoleculares de maneira geral.

A segunda turma, denominada de Turma B, tiveram aulas complementadas com Atividades Práticas Experimentais e na sequência responderam as mesmas questões aplicadas à turma A.

Na Tabela 4, estão resumidas as respostas das duas turmas, sobre as interações intermoleculares no âmbito das Atividades Práticas Experimentais e aspectos gerais. As seis questões que foram apresentadas as respectivas turmas A e B seguem:

- ✓ I. Qual a interação intermolecular existente entre as moléculas de iodo (I_2)?
(a) Dipolo-dipolo (b) forças dispersivas (c) dipolo-dipolo induzido
- ✓ II. Em quais tipos de moléculas ocorrem às forças de dispersão de London?
(a) Polares (b) Apolares (c) Todas
- ✓ III. Qual(is) a(s) interação(ões) entre as moléculas de água e etanol?
(a) Ligações de hidrogênio e dipolo-dipolo
(b) Dipolo-dipolo e forças dispersivas
(c) Ligações de hidrogênio, dipolo-dipolo e forças dispersivas
- ✓ IV. Por que a água é capaz de separar o etanol da gasolina?
(a) Por ter a mesma polaridade
(b) Devido às ligações de hidrogênio
(c) Devido às forças dispersivas
- ✓ V. Qual a função de adicionar uma pequena quantidade de sal na água?
(a) Para que ocorra ligação iônica
(b) Para que as interações íon-dipolo separem a água da gasolina
(c) Para que aumenta a magnitude das interações devido às forças íon-dipolo
- ✓ VI. Por que a gasolina é mais volátil que a água?
(a) As interações entre as moléculas de gasolina são mais fortes
(b) As interações entre as moléculas de gasolina são mais fracas
(c) As ligações de hidrogênio na água são mais fracas

O Quadro 4 estão organizadas as respostas de todos os alunos participantes referentes às seis questões elaboradas de acordo com a leitura dos artigos das revistas selecionadas, em especial os exemplares da QNesc. Para cada alternativa tem o número correspondente de estudantes que a assinalaram.

Na questão 1, que está relacionada a identificação do tipo de interação entre as moléculas de iodo (I_2), ambas as turmas apresentaram um bom desempenho, somente 2 alunos da turma não acertaram que as forças dispersivas são as únicas predominantes.

A questão 2, houve um maior n° de erros em ambas as turmas, um equívoco cometido pelos alunos apontado no trabalho de Murthy (2006), a famigerada universalidade das forças dispersivas, independente da polaridade da molécula, as mesmas estão sempre presentes.

Outra ideia chave abordada (questão 3) está relacionada a aditividade das interações intermoleculares, o maior n° de acertos da turma B pode estar vinculado a APE proposta, cujo procedimento experimental apresenta uma equação que considera as contribuições de cada

interação intermolecular na energia potencial de interação total, sugerida no trabalho de Glazier; Marano; Eisen (2010).

Quadro 4 – Respostas das turmas A e B às questões propostas.

Questões	Respostas					
	Turma A			Turma B		
	(a)	(b)	(c)	(a)	(b)	(c)
I	1	6	1	0	8	0
II	1	4	3	1	5	2
III	4	0	4	2	0	6
IV	5	3	0	6	2	0
V	3	3	2	2	3	3
VI	1	7	0	0	8	0

A questão 4, gerou certo questionamento entre os estudantes pela maioria acreditar que o fato da existência de ligações de hidrogênio entre moléculas de etanol e água serem o fator predominante para a separação desse álcool da gasolina. Mas a polaridade da molécula é o que justifica tal processo, pois em um álcool de cadeia maior também existiriam ligações de hidrogênio, mas dependendo da polaridade a separação não seria efetiva. Esta questão expõe algo comum nas publicações de ensino de química relacionadas a este tema, os estudantes considerarem a ligação de hidrogênio como a mais importante das interações (JUNQUEIRA, 2017).

Poucos alunos conseguiram identificar a importância da adição do NaCl e relacionar a interação do tipo íon-dipolo na questão 5. Muitos alunos que acertaram, admitiram ter optado pela alternativa correta devido ao termo aumento da magnitude que foi algo, segundo eles, presente nas falas do professor nas explicações.

E para finalizar, a questão 6 aborda a questão da volatilidade que obteve um bom desempenho de ambas as turmas, também segundo os alunos, foi algo bastante abordado na aula normal.

A Figura 1 apresenta a porcentagem de acertos das turmas A (abordagem tradicional) e B (abordagem tradicional + APEs) para as diferentes questões abordadas sobre as interações intermoleculares, lembrando que as questões foram elaboradas diante dos conceitos fundamentais que emergiram a partir da leitura, principalmente dos artigos da Revista Química Nova na Escola.

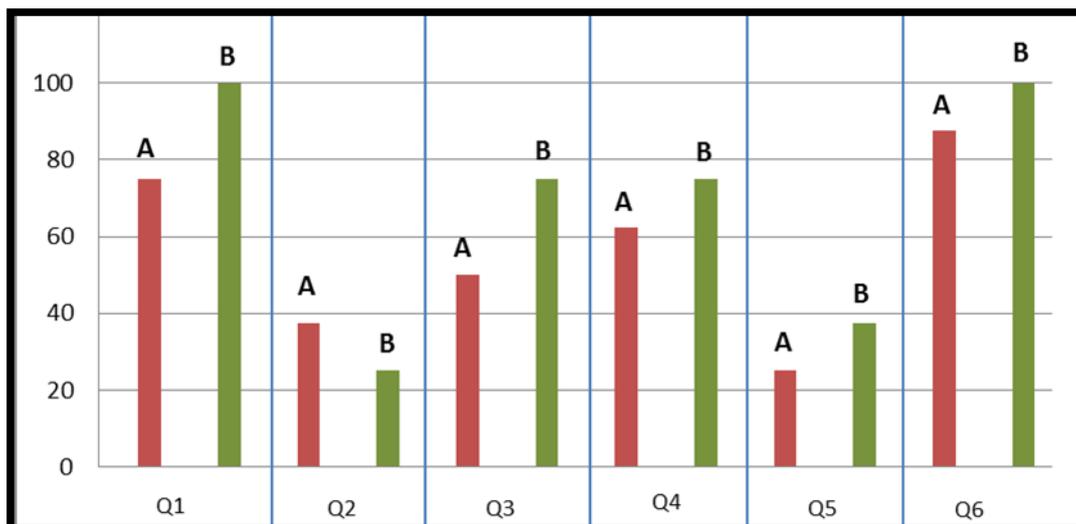


Figura 1 - Desempenho (% de acertos) de cada turma para as diferentes questões elaboradas Fonte: (Próprio autor).

A partir das respostas é possível observar que os alunos que participaram das Atividades Práticas Experimentais, obtiveram um melhor desempenho nas questões que foram formuladas.

Entretanto, é essencial comentar que alguns equívocos permanecem, levando em conta o baixo índice de acertos nas questões relacionadas à aditividade das interações, pois muitos alunos acreditam que há apenas um tipo de interação ocorrendo entre as moléculas de água e etanol. Outro erro elucidado é o de não considerar a universalidade das forças dispersivas de London, acreditando que esse tipo de interação existe apenas entre as moléculas apolares.

Em síntese geral, a partir dos trabalhos da QNesc, das APEs (Atividades Práticas Experimentais) elaboradas e aplicadas, mesmo que para um grupo pequeno de alunos e as decorrentes respostas as questões construídas baseadas nas publicações referidas. Os equívocos apresentados pelos alunos são os mesmos citados na literatura da área de ensino de química para esse tema (MURTHY, 2006).

Utilizando os dados e revisões do presente trabalho a perspectiva de conceitos fundamentais e ideias chave que devem estar presentes para a compreensão das interações intermoleculares são: estrutura molecular, polaridade das moléculas, forças dispersivas e seu caráter universal, ligação de hidrogênio e principalmente a aditividade das interações com atenção especial a energia de interação total das interações presentes em um sistema molecular.

Conclusões

Este trabalho objetivou investigar as concepções de alunos sobre conteúdos que um aluno do ensino médio deve saber sobre as interações intermoleculares, quais os conceitos fundamentais e ideias-chave desse tema, bem como identificar contribuições que ajudem a definir uma estrutura conceitual que priorize a abordagem do tema em uma perspectiva molecular e não classificatória.

Considerando que o trabalho é um estudo qualitativo, as análises e discussões desenvolvidas não viabiliza a proposição de conclusões comuns e definitivas em relação às questões expostas inicialmente. Contudo, as considerações realizadas podem ser utilizadas para reflexão sobre como as forças intermoleculares estão sendo abordadas nos currículos, livros didáticos e nas próprias aulas em cursos de graduação em química, bem como oferecer subsídios para futuras pesquisas.

De maneira geral, esta investigação demonstrou que os alunos entrevistados foram relativamente bem nas questões propostas, mas alguns equívocos relacionados ao tema permanecem. Aditividade das interações intermoleculares e a universalidade das forças dispersivas de London são tópicos que estão inseridos no conhecimento químico sobre as interações intermoleculares que merecem maior atenção

Conquanto, mais relevante ainda é oportunizar aos discentes, a partir de suas perspectivas e experiências concretas opinar sobre o que realmente desse tema deve estar consolidado pelos formandos no ensino médio em nível de conhecimento químico.

Referências bibliográficas

CHEMELLO, Emiliano. Ciência Forense: impressões digitais. *Química Virtual*, Internet, 01 dez. 2006.

FARIAS, R. F. *Introdução à química forense*. 2.ed. Campinas: Ed. Átomo, 2008.

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*, 87, 12, 1336-1341, 2010.

GOTTSCHALK, E.; VENKATARAMAN, B. Visualizing Dispersion Interactions. *Journal of Chemical Education* 91, 666-672, 2014.

JASIEN, P.G. Helping students assess the relative importance of different intermolecular interactions. *Journal of Chemical Education*, 85, 9, 1222-1225, 2008.

JUNQUEIRA, M. M. Um estudo sobre o tema interações intermoleculares no contexto da disciplina de química geral: a necessidade da superação de uma abordagem classificatória para uma abordagem molecular. Tese (Doutorado em Química) Universidade de São Paulo, Instituto de Química, São Paulo, 2017.

MURTHY, P. S. Molecular handshake: recognition through weak noncovalent interactions. *Journal of Chemical Education*, 83, 7, 2006.

PINTO, J.R.A.; *Determinação da energia de tack e da melhor condição de adesão dos revestimentos poliuretânicos para propelente sólido compósito utilizado em motores-foguete*. 80 f. Tese (Mestrado ITA), Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

PURSER, G. H., BURKHOLDER, P. R., COLE, R. S. Using molecular dynamics simulation to reinforce student understanding of intermolecular forces. *Journal of Chemical Education*, 85, 8, 2008.

ROCHA, W. R. Interações intermoleculares. *Cadernos temáticos de Química Nova na Escola*, 4, 31 – 36, 2001.

¹Fábio Luiz Seribeli. Doutorando em Química pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP); Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Câmpus Tupã; Instituto Federal de Educação, bCiência e Tecnologia de São Paulo – IFSP, Rua Othon Guedes Júnior, 175 - Parque dos Universitários/Tupã-SP.; fabioseribeli@ifsp.edu.br.

Este artigo:

Recebido em: 15/02/2019

Aceito em: 30/04/2019

Como citar este artigo:

SERIBELI, Fábio Luiz. Interações intermoleculares: o estado da arte da pesquisa em ensino e desenvolvimento de atividades práticas experimentais sobre o tema. *Scientia Vitae*, v.7, n.23, p. 18-36, jan./mar. 2019.