

Tendências do ensino e aprendizagem de forças intermoleculares a partir da análise de publicações em periódicos nacionais e internacionais

Ana Carolina Gomes Miranda^{1,2}, Mara Elisa F. Braibante¹ e Maurícius Selvero Pazinato³

¹Programa de Pós-Graduação Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. ²Universidade Federal do Pampa, Dom Pedrito, Rio Grande do Sul, Brasil. ³Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, Porto Alegre, Brasil. E-mails: carolinamiranda.ufsm@gmail.com, maraeffb@gmail.com, mauriciuspazinato@gmail.com.

Resumo: O objetivo deste estudo foi identificar as principais tendências do ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares por meio de uma pesquisa bibliográfica em artigos publicados na área de ensino. Foi realizado um levantamento em periódicos nacionais e internacionais da área de Ensino de Química e Ciências entre 1991 e 2015. A investigação foi desenvolvida em quatro estágios: 1) Seleção dos periódicos nacionais e internacionais para estudo; 2) Coleta dos dados por meio do levantamento de artigos que abordam o tema; 3) Triagem a partir da leitura integral dos artigos encontrados e exclusão dos que não versam sobre o tema; 4) Análise dos artigos, que foi baseada nos seguintes critérios: Caracterização, Aspectos metodológicos, Base teórica e Resultados. Ao total foram identificados 51 artigos em 11 periódicos e os resultados revelam: uma predominância de trabalhos internacionais, sendo que o aumento da produção científica sobre o tema se intensificou nos últimos dez anos, enquanto que no Brasil, essa tendência foi observada nos últimos cinco anos; a maior parte dos artigos é de natureza empírica, com abordagem qualitativa e priorizam a Educação Superior; a teoria construtivista foi a base teórica mais utilizada pelos autores dos artigos avaliados; as concepções alternativas mais recorrentes foram a confusão entre as forças intermoleculares e as ligações químicas, e a dificuldade de interpretar as propriedades das substâncias por meio das forças intermoleculares; uma diversidade de propostas para a abordagem do conteúdo nos diversos níveis de ensino; a importância de estabelecer relações entre níveis de representação da matéria para a compreensão do tema em estudo. Portanto, conhecer os equívocos apresentados pelos estudantes é o ponto de partida para que professores e pesquisadores possam elaborar e desenvolver estratégias didático-pedagógicas que contribuam com a evolução conceitual deste tópico. Com base na análise dos resultados apresentados nos artigos, este trabalho traz também algumas implicações para o ensino de forças intermoleculares.

Palavras-chave: interações intermoleculares, pesquisa bibliográfica, ensino e aprendizagem.

Title: Trends in teaching and learning of the intermolecular forces from the analysis of publications in national and international journals.

Abstract: The goal of this study was to identify the main trends in teaching and learning the content of intermolecular forces by means of a bibliographical research in published articles in the area of science education. A survey was carried out in national and international journals of the Teaching of Chemistry and Sciences area between 1991 and 2015. The research was developed in four stages: 1) Selection of the national and international journals for study; 2) Data collection through the survey of articles that approach the theme; 3) Screening from the full reading of the articles found and exclusion of those who do not deal about theme; 4) Analysis of articles, which was based on the following criteria: Description, Methodological aspects, Theoretical basis and Results. In overall, 51 articles were identified in 11 periodicals and the results reveal: a predominance of international papers and the increase in scientific production on the subject has intensified in the last ten years, while in Brazil this trend has been observed in the last five years; most articles are empirical in nature with a qualitative approach and prioritize Higher Education; the constructivist theory was the theoretical basis most used by the authors of the evaluated articles; the most recurrent alternative conceptions were the confusion between intermolecular forces and chemical bonds and the difficulty of interpreting the properties of substances through of the intermolecular forces; a diversity of proposals for approaching content at the various levels of education; the importance of establishing relations between levels of representation of matter to understand the subject under study. Therefore, to know the mistakes made by the students is the starting point in order that teachers and researchers can design and develop pedagogical strategies that contribute to the conceptual evolution of this topic. From the analysis of the results presented in the articles, the present research also presents some implications for the teaching of intermolecular forces.

Keywords: intermolecular interactions, bibliographic research, teaching and learning.

Introdução

Estrutura atômica, ligações químicas e forças intermoleculares constituem tópicos fundamentais da Química, visto que elucidam a natureza íntima da matéria e suas transformações. Para compreender fatos e acontecimentos do dia a dia, sob a óptica da Ciência, é necessário entender os conceitos relacionados aos átomos e suas formas de interação (Pazinato, 2016).

Em específico, o conteúdo de interações intermoleculares proporciona a compreensão das propriedades dos materiais, tais como: temperatura de fusão e ebulição, solubilidade, densidade e viscosidade, além de permear diversos campos do conhecimento alicerçados ao entendimento dos fenômenos do dia a dia. No Brasil, esse conteúdo geralmente é desenvolvido no ensino médio, etapa da educação básica cursada após o ensino fundamental por estudantes com faixa etária entre 14 e 17 anos em situação regular. Segundo os documentos oficiais da educação brasileira, o

estudante do nível médio deve compreender: as propriedades das substâncias e dos materiais em função das interações entre átomos, moléculas ou íons; os conceitos de temperatura de ebulição e fusão e suas relações com a natureza das substâncias; o conceito de densidade e solubilidade e a sua dependência com a temperatura e com a natureza do material; que as aplicações tecnológicas das substâncias e materiais estão relacionadas às suas propriedades (Ministério da Educação do Brasil, 2006).

Todavia, muitas pesquisas revelam que o desenvolvimento do conteúdo de forças intermoleculares no nível médio não tem atendido a expectativa descrita pelos documentos oficiais. Em termos gerais, alguns resultados apontam que o ensino é ministrado sem o devido questionamento sobre a natureza e origem das diferentes interações e não são apresentados parâmetros energéticos para comparação entre interações e ligações químicas (Gilbert, 1993; Nakhleh, 1992; Peterson e Treagust, 1989). Além disso, os estudantes não conseguem interpretar situações cotidianas relacionadas com as forças intermoleculares (Schmidt, Kaufmann e Treagust, 2009).

Diante desta problemática, considera-se oportuno o desenvolvimento de estudos descritivos e analíticos que incidam sobre a produção acadêmica e versem sobre o conteúdo de forças intermoleculares a fim de delinear as perspectivas e as tendências atuais das pesquisas desenvolvidas neste campo de estudo. Assim, o presente estudo possui como objetivo identificar as principais tendências do ensino e aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares por meio da análise bibliográfica de artigos publicados na área de ensino.

Fundamentação teórica

Quando há aproximação entre átomos, moléculas ou íons podem ocorrer dois fenômenos distintos, uma reação ou uma interação. Em uma reação química, ocorre a conversão de uma ou mais substâncias em outras, consequência da formação ou ruptura de ligações químicas. Uma interação química está relacionada com a atração ou repulsão entre moléculas ou íons entre si, sem que ocorra quebra ou formação de novas ligações químicas. A energia envolvida nesse processo é, em geral, bem menor que aquela envolvida em uma reação química.

Dentro deste contexto, as forças que se estabelecem entre as moléculas são designadas forças intermoleculares, as quais, assim como as forças intramoleculares, podem ser explicadas pela natureza eletrostática entre as espécies envolvidas. A Figura 1 ilustra a diferença entre forças intermoleculares e intramoleculares (Chang, 2010).

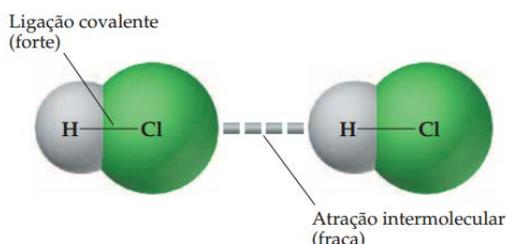


Figura 1.- Ligações intramoleculares e ligações intermoleculares em moléculas de HCl.

As forças intramoleculares estabilizam as moléculas individuais, enquanto as forças intermoleculares são as principais responsáveis pelas propriedades físicas da matéria. Em geral, as forças intermoleculares são mais fracas do que as forças intramoleculares. Por exemplo, a vaporização de um líquido requer muito menos energia do que a quebra das ligações de seus átomos, sendo necessário 41 kJ de energia para vaporizar um mol de água à sua temperatura de ebulição, enquanto que é preciso 930 kJ para quebrar as duas ligações O-H de um mol da molécula de água (Canham e Overton, 2003).

A compreensão desses conceitos implica que os estudantes transitem entre os diferentes níveis de representação da matéria: macroscópico, submicroscópico e simbólico.

Johnstone (1982) foi um dos primeiros autores que propôs um modelo para explicar esses diferentes níveis de representação. Ao longo dos anos, essas representações passaram por modificações, sendo reorganizadas. Atualmente esses níveis são definidos por Johnstone (2009) como:

Macroscópico/tangível: parte "observável" por meio dos sentidos mensuráveis, que pode ser descrita por intermédio de suas propriedades: cor, odor, densidade, efervescência, etc.;

Submicroscópico/Molecular/invisível: se refere a como os fenômenos e propriedades observados no primeiro nível são explicados pela Ciência, utilizando conceitos abstratos, tais como: átomos, íons, moléculas, ligações químicas, interações intermoleculares de modo a fornecer um modelo para se racionalizar e entender esses fenômenos;

Simbólico/matemático: forma utilizada pelos químicos para representar as substâncias e transformações por meio de símbolos e equações convencionados pela comunidade científica.

A utilização desses níveis no ensino de química é inerente ao processo de aprendizagem e as relações entre o macroscópico, submicroscópico e simbólico são essenciais para que o estudante tenha embasamento teórico suficiente para interpretar a natureza e seus fenômenos, bem como para a compreensão do processo de construção da Ciência. Estudos (Torres, Landau, Baumgartney, Monteserin, 2010) revelam que muitos estudantes possuem dificuldades em transitar entre esses três níveis, principalmente se os conceitos envolvidos são abstratos, como é o caso das forças intermoleculares.

O alto nível de abstração deste conteúdo torna o assunto complexo e com potencial para gerar concepções alternativas aos modelos científicos. As concepções alternativas são ideias trazidas por qualquer indivíduo em situação de aprendizagem, independente do nível de escolaridade, estando em desacordo com os conhecimentos científicos (Campanario e Otero, 2000). Além disso, segundo Wandersee, Mintzes e Novak (1994, p. 125) são "os produtos da aprendizagem individual dos estudantes, de seu esforço intelectual para dar sentido e organizar uma visão de mundo". Além disso, caracterizam-se por apresentarem natureza pessoal, estruturada, pouco

consistente e resistente a mudanças. De acordo com Taber (2001), no caso específico da Química, a maioria das concepções alternativas não só deriva da experiência cotidiana dos estudantes, mas também da compreensão de conceitos anteriormente aprendidos.

Desde a década de 70, o estudo das concepções alternativas tem estimulado o desenvolvimento de pesquisas sobre a influência que elas exercem no processo de ensino e aprendizagem de conceitos químicos (Driver, 1988). A identificação dessas concepções pode contribuir para que os professores tenham condições de desenvolver atividades diferenciadas em sala de aula, com o intuito de evitá-las e promover a evolução conceitual dos estudantes.

Metodologia

A orientação metodológica adotada por este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, pois destina-se a quantificar, identificar, analisar e descrever uma série de padrões sobre a produção do conhecimento científico em relação ao ensino e aprendizagem de forças intermoleculares. Para isso, realizou-se um levantamento dos artigos publicados na área de Ensino de Química e Ciências em periódicos nacionais e internacionais entre 1991 e 2015. Esse período foi delimitado em decorrência da primeira publicação encontrada nas revistas analisadas datar de 1991, contemplando a produção bibliográfica sobre o assunto desenvolvida durante 25 anos.

A investigação foi desenvolvida em quatro estágios:

1) Seleção dos periódicos nacionais e internacionais para estudo

Foram selecionados periódicos nacionais e internacionais que constituem as fontes bibliográficas de pesquisadores da área de ensino de Química e Ciências. Esses periódicos foram escolhidos por possuírem um número expressivo de publicações científicas em seus acervos, além de serem indexados pelo sistema WebQualis disponibilizado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os periódicos brasileiros e de outros países podem ser classificados em mais de uma área do conhecimento e possuir estratos diferentes em cada uma. A indexação dos periódicos está dividida em oito estratos, que são: A1, A2, B1, B2, B3, B4, B5 e C, sendo o primeiro citado o de maior impacto e o último o de menor (CAPES Brasil, 2016). Essa classificação foi utilizada como critério para delimitação dos periódicos investigados, visto que o Qualis da CAPES é o principal indicador de qualidade dos periódicos nacionais e internacionais do Brasil (Fernandes e Campos, 2017).

Os periódicos escolhidos para análise foram indexados no quadriênio 2013-2016 e classificados com estratos entre A1 e B5. A relação desses periódicos é apresentada na Tabela 1.

2) Coleta dos dados por meio do levantamento de artigos que abordam o tema

A partir da seleção dos periódicos, foi realizado o levantamento dos artigos que abordam o tema em estudo por meio da busca dos termos: forças intermoleculares, interações intermoleculares, ligação hidrogênio, interação de Van der Waals, forças de London e forças de dispersão, no

título, palavras-chave ou resumo. Além disso, realizou-se a busca destas palavras na língua inglesa e espanhola.

3) *Triagem a partir da leitura integral dos artigos encontrados e exclusão dos que não versam sobre o tema*

Um considerável número de artigos foi localizado e a partir da leitura integral do texto das pesquisas foram descartados os trabalhos que não abordaram o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares. Ao final deste estágio, foram selecionadas 51 publicações em revistas nacionais e internacionais (Anexo 1).

Periódicos nacionais		
Periódico	Classificação Qualis	Código
Ciência e Educação	A1	CeE
Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências	A1	EPEC
Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências	A2	RBPEC
Investigações em Ensino de Ciências	A2	IEC
Revista de Ensino de Ciências e Matemática (Acta)	A2	ARECM
Alexandria	A2	A
Química Nova na Escola	B1	QNEsc
Revista Brasileira de Ensino de Química	B1	RBEQ
Experiência em Ensino de Ciências	B1	EEC
Ciência e Natura	B2	CN
Química Nova	B3	QN
Periódicos internacionais		
Periódico	Classificação Qualis	Código
International Journal of Science Education	A1	IJSE
Formación Universitaria	A1	FU
Enseñanza de las Ciencias	A1	E cien
Research in Science Education	A1	RSE
Chemistry Education Research and Practice	A1	CERP
Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	A2	REEC
Science Education International (Online)	B1	SEI
Educació Química	B1	EQ
Education in Chemistry	B1	EChe
Journal of Chemical Education	B5	JCE

Tabela 1.- Relação de periódicos nacionais e internacionais analisados, bem como seus respectivos Qualis para a área de Ensino.

4) *Análise dos artigos*

Cada artigo foi lido e examinado a partir de um roteiro previamente elaborado (Anexo 2), que considerou os seguintes critérios de análises: *Caracterização, Aspectos metodológicos, Base teórica e Resultados das pesquisas.*

Em relação à *Caracterização*, os artigos foram analisados a partir das categorias a priori: revista, título, ano, instituição e país de origem. A caracterização dos artigos contempla informações importantes, pois revela sua origem e período. Esses dados possibilitam avaliar as condições de produção por país e o acesso a pesquisas que estavam sendo produzidas no

campo da Didática das Ciências em determinado período (Fernandes e Campos, 2017).

No critério *Aspectos metodológicos* buscou-se descrever o perfil metodológico dos estudos, os quais foram analisados, por meio de categorias já descritas na literatura (Costa e Moreira, 1996; Hoppen e Meireles, 2005), tais como: i) Natureza da pesquisa; ii) Abordagem da pesquisa; iii) nível de ensino.

Em relação à categoria Natureza da pesquisa, os artigos foram classificados em teórico ou empírico. Segundo Demo (2000), as pesquisas teóricas são dedicadas a reconstruir a teoria, conceitos e aprimorar fundamentos teóricos. Já as pesquisas empíricas, dedicam-se ao tratamento experimental da realidade, produzem e analisam dados que conferem maior concretude as argumentações, principalmente pela aproximação prática.

A Abordagem da pesquisa refere-se aos métodos empregados pelos autores dos artigos referentes à coleta e análise dos dados. As publicações foram classificadas em:

- *pesquisa qualitativa*, quando envolve análises descritivas que enfatizam a subjetividade do sujeito e possui o ambiente natural como fonte de dados;

- *pesquisa quantitativa*, mensura os dados, por meio de métodos estatísticos e busca generalizar os resultados para uma determinada população estudada;

- *pesquisa mista*, mescla os aspectos qualitativos e quantitativos.

No que se refere ao Nível de ensino, os artigos foram organizados de acordo com as etapas da educação brasileira, das quais podem ser: Ensino Fundamental (1º ao 9º anos), Ensino Médio (1ª a 3ª séries) e Educação Superior.

No critério *Base teórica* foi identificada a fundamentação dos artigos analisados. Essa análise é importante porque permite avaliar os pressupostos teóricos assumidos pelos autores dos estudos e a sua pertinência para a pesquisa desenvolvida (Fernandes e Campos, 2017). Nesse critério as categorias emergiram a posteriori.

Por fim, o critério Resultados apresenta uma análise das contribuições dos artigos avaliados para o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares. As categorias deste critério são emergentes (a posteriori).

Na Figura 2 é apresentado o desenho da pesquisa, o qual sintetiza os estágios de análise dos artigos.

O método de análise dos artigos foi a triangulação por meio da avaliação individual de três pesquisadores da área de ensino de Química. Esta equipe de avaliadores é composta por dois professores doutores de diferentes universidades federais e uma doutoranda em Educação em Ciências, autora principal deste artigo. Em alguns casos, ocorreram divergências nas classificações propostas pelos pesquisadores, as quais foram novamente discutidas até existir um acordo. Isso diminuiu a parcialidade das análises e possíveis equívocos, o que conferiu maior confiabilidade aos resultados.

Resultados e discussões

Os resultados serão apresentados conforme os critérios de análise estabelecidos no quarto estágio da metodologia.

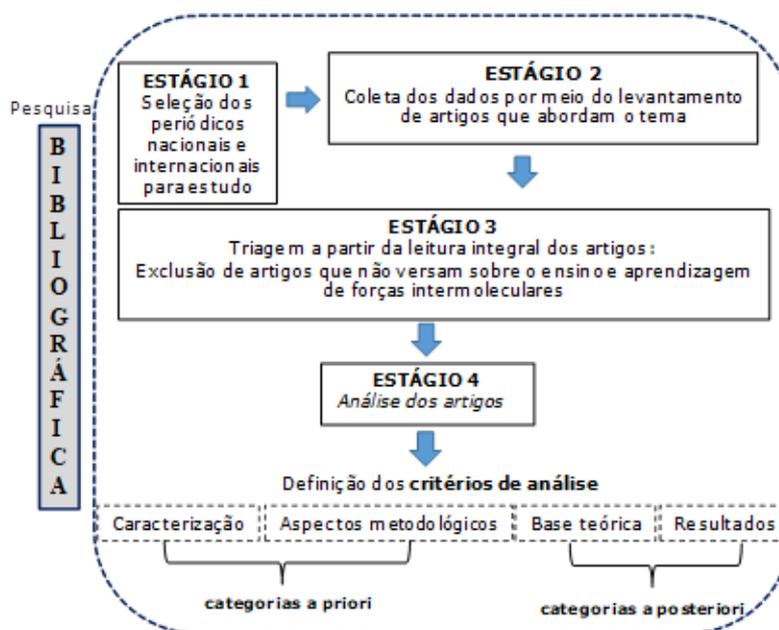


Figura 2.- Desenho da pesquisa.

Caracterização

Dos 21 periódicos investigados, em 11 foram localizados artigos que abordam o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares, dentre os quais, cinco são nacionais e seis internacionais. No período estipulado foram selecionados 51 artigos que versam sobre o tema, sendo 12 trabalhos (23,5%) publicados em revistas de nacionalidade brasileira e 39 (76,5 %) em periódicos internacionais (Tabela 2).

Periódico/Código	1991 a 1995	1996 a 2000	2001 a 2005	2006 a 2010	2011 a 2015	Total	%
RBPEC			1		1	2	3,9
IEC					1	1	2,0
QNEsc			2	1	4	7	13,7
QN					1	1	2,0
EEC					1	1	2,0
Total nacional	0	0	3	1	8	12	23,5
REEC			1	4		5	9,8
EQ			2	1	1	4	7,8
JCE	3	6	3	4	4	20	39,2
RSE				1		1	2,0
CERP			1	2	5	8	15,7
FU					1	1	2,0
Total internacional	3	6	7	12	11	39	76,5
Total geral							100

Tabela 2.- Relação dos periódicos e número de artigos publicados no período de cinco anos.

Poucos periódicos englobam a maior parte das publicações sobre o tema. Destacam-se as revistas específicas do ensino de Química, como é o caso do *Journal of Chemical Education* (JCE), *Chemistry Education Research and Practice* (CERP) e *Química Nova na Escola* (QNEsc). Dentre os periódicos voltados para a Educação em Ciências, a *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (REEC) apresentou uma considerável produção (9,8%) sobre o tema, apesar de não ser um periódico exclusivo para o Ensino de Química.

Observa-se na Tabela 2 que houve um aumento significativo na produção internacional sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares na última década (2006-2015). Em relação aos periódicos nacionais observa-se um aumento significativo de publicações somente nos últimos cinco anos analisados (2011-2015). Esse aumento no interesse dos pesquisadores é justificado nos artigos pela importância do tema para a continuidade dos estudos em Química ou pela necessidade de sua compreensão para interpretação de fatos e fenômenos cotidianos, o que sinaliza mudanças no processo de ensino e aprendizagem de Química (Domínguez, Toro e Serrano, 2015; Galagovsky e Bekerman, 2009; Imbraim, Mendonça e Justi, 2013).

Com o propósito de identificar a origem das instituições que os autores das publicações pertencem, a Figura 3 apresenta o número de artigos publicados por país no período estipulado.

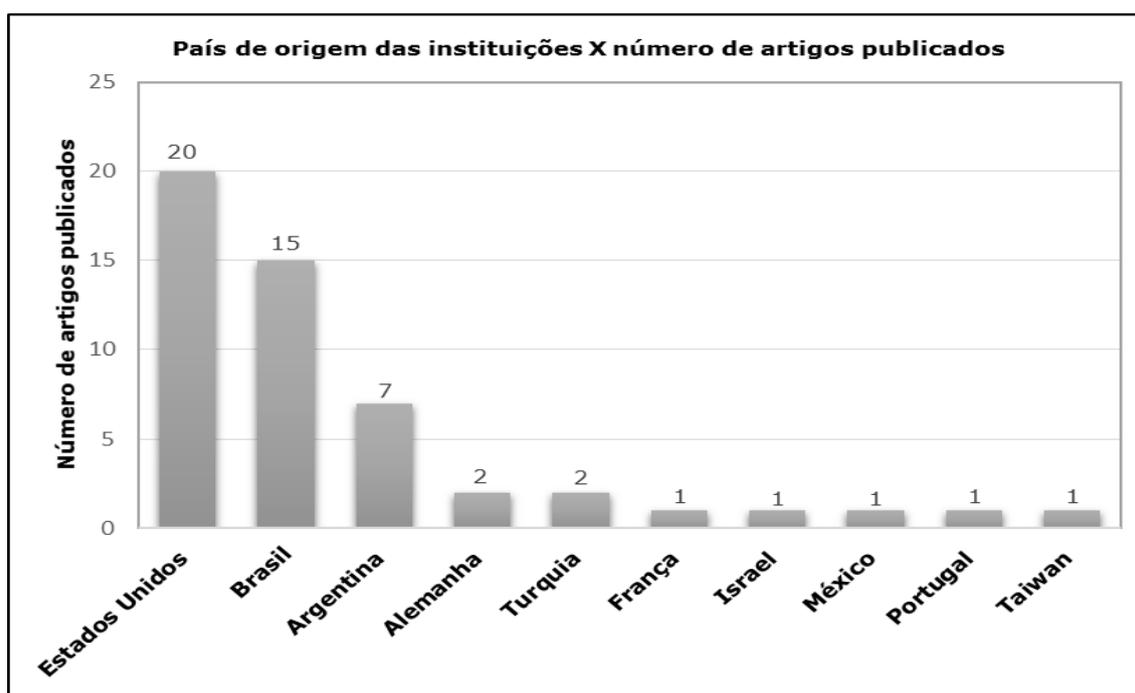


Figura 3.- País de origem das instituições e número de artigos publicados.

Por meio da análise da Figura 3, percebe-se que 39,2% das publicações foram desenvolvidas em instituições localizadas nos Estados Unidos da América (EUA), sendo publicadas em revistas internacionais. Além disso, foram encontrados estudos realizados em países da Europa, Ásia e outros países da América.

Ressalta-se que o número de artigos publicados por autores brasileiros é superior ao encontrado em periódicos nacionais, pois autores como Santos e Greca (2005), Nery, Liegel e Fernandez (2007) e Antunes, Pacheco e Giovanela (2012) publicaram suas pesquisas em revistas internacionais. Entretanto, o mesmo não foi observado em periódicos brasileiros com autores de outras nacionalidades. Em termos de quantidade, as pesquisas nacionais possuem razoável produtividade em relação ao tema proposto, 23,5% do total de publicações. Considerando apenas o cenário internacional, foram encontrados 3 artigos, o que corresponde a 7,7 % das produções.

Aspectos metodológicos

Em relação aos aspectos metodológicos, foram consideradas as seguintes categorias: a) Natureza da pesquisa; b) abordagem da pesquisa; c) nível de ensino. O resultado dessa análise é apresentado na Tabela 3.

	Frequência	Porcentagem (%)
Natureza da pesquisa		
Teórico	17	33
Empírico	34	67
Abordagem da pesquisa		
Qualitativa	33	65
Quantitativa	7	14
Mista	11	21
Nível de ensino		
Ensino Fundamental	1	2
Ensino Médio	13	25
Educação Superior	28	56
Ensino Médio e Superior	9	17

Tabela 3.– Resultados referentes aos aspectos metodológicos dos artigos analisados.

A análise da Tabela 3 permite inferir que 33% dos artigos retratam sobre os pressupostos teóricos relacionados às forças intermoleculares no ensino de Química. Tais pesquisas se estruturam dentro de um quadro teórico que visa apresentar e fundamentar os conceitos científicos trabalhados na educação formal, bem como abordar as implicações conceituais e pedagógicas no desenvolvimento inadequado do conteúdo em questão.

A maior parte dos trabalhos possui abordagem empírica (67%), cujas fontes de dados foram questionários diagnósticos, testes, registros pictográficos, entrevistas, exercícios e relatórios. Segundo Megid (1999), esse tipo de abordagem metodológica visa à comprovação prática de um determinado fenômeno em estudo, seja por meio de experimentos ou observação de contextos para a coleta de dados.

Observou-se que muitas pesquisas empíricas se dedicaram em investigar as implicações pedagógicas da utilização de diferentes estratégias de ensino na abordagem do conteúdo de forças intermoleculares. É possível citar o estudo de Imbraim, Mendonça e Justi (2013), que propuseram atividades de modelagem para avaliar a evolução conceitual de 38 estudantes da 2ª série do ensino médio. Os dados foram coletados por meio de entrevistas e

representações pictográficas elaboradas pelos sujeitos da pesquisa. As autoras afirmaram que a participação em atividades de modelagem influencia a argumentação científica, bem como favorece o desenvolvimento de conhecimentos coerentes com os modelos científicos de ligações químicas e forças intermoleculares.

Ayres e Arroio (2015) investigaram se as atividades de simulação computacional favoreceriam a evolução conceitual do tópico de forças intermoleculares por parte dos alunos da 2ª série do ensino médio, bem como a compreensão das representações macroscópicas, submicroscópicas e simbólicas de fenômenos observáveis. Os autores perceberam que a inserção de recursos multimídias favoreceu a elaboração de conceitos sobre as forças intermoleculares. Entretanto, eles identificaram muitas dificuldades na distinção entre os níveis de representação da matéria, pois a interpretação de fenômenos macroscópicos por meio das representações submicroscópicas e simbólicas exige um alto grau de abstração.

Quanto à natureza das pesquisas, há predominância (65%) de investigações de caráter qualitativo dentre os artigos nacionais e internacionais analisados. Nas últimas duas décadas, as pesquisas qualitativas se intensificaram no ensino de química e umas das razões, segundo Neri de Souza (2006), encontra-se nas especificidades dessa área, que exige uma abordagem mais holística e interpretativa de suas problemáticas.

Apenas 14% dos artigos analisados desenvolveram uma abordagem de cunho quantitativo. Esse resultado corrobora com as concepções de Lüdke e André (1986), na afirmação de que a abordagem quantitativa por si só não explica a complexa realidade do fenômeno educacional. Não há como prever, manipular, nem controlar as variáveis encontradas dentro do contexto escolar. Ou seja, a pesquisa educacional, segundo, Gallagher (2002) não possui enfoque somente no mundo físico, químico ou biológico, mas principalmente no mundo social e comportamental, em que as variações contextuais possuem um papel fundamental.

Em relação ao nível de ensino, verificou-se predominância de trabalhos voltados para a educação superior (ES), 56% das investigações, demonstrando um forte interesse acadêmico em contribuir com a qualidade da formação superior. Detectou-se que 25% das pesquisas são voltadas exclusivamente para o ensino médio (EM) e um índice considerável de publicações (17%) que associa este nível ao ES. Apenas um trabalho destinado ao ensino fundamental (EF) foi encontrado, evidenciando que há pouco interesse dos pesquisadores em relação ao tema neste nível de escolarização. Ainda, foram encontrados 2 trabalhos dedicados à Educação de Jovens e Adultos (EJA), classificados na categoria EM.

Em termos da ES, muitos dos trabalhos investigaram as dificuldades e propuseram estratégias para o desenvolvimento das forças intermoleculares neste nível. Muitas das pesquisas (Bruist, Smith e Mell, 1998; Livney, 2005; Torres et al., 2010) destacaram que este conteúdo é a base para que os estudantes compreendam, por exemplo, métodos analíticos, bioquímica, propriedades físicas e reatividade dos compostos orgânicos. O elevado número de trabalhos voltados à ES pode estar relacionado a problemas conceituais sobre forças intermoleculares originados na educação básica.

Muitos estudantes chegam ao nível superior com distorções conceituais e modelos inadequados, o que dificulta a compreensão deste conteúdo. Em relação a isso, por exemplo, Nery, Liegel e Fernandez (2007) analisaram as respostas de estudantes do ensino médio, em uma questão do exame de ingresso de uma universidade brasileira. Das 525 respostas analisadas, 321 apresentaram confusões entre interações intermoleculares e ligações químicas.

Base teórica

Referente à base teórica emergiram quatro categorias, as quais se encontram sistematizadas na Tabela 4.

Base teórica			
Categoria	Subcategorias	Nº artigos	Ocorrência
<i>Construtivismo</i>	Construtivismo explícito	9	60,8%
	Citação de autores construtivistas	5	
	Investigam concepções alternativas	17	
	Total	31	
<i>Teoria sobre forças intermoleculares</i>	Teoria geral sobre forças intermoleculares	4	33,2%
	Teoria sobre ligações hidrogênio.	10	
	Teoria sobre forças de dispersão de London.	3	
	Total	17	
<i>Modelos mentais</i>	-	2	4,0%
<i>Aprendizagem cooperativa</i>	-	1	2,0%

Tabela 4.– Resultados encontrados referentes à base teórica dos artigos analisados.

A teoria de aprendizagem predominante nas pesquisas foi o construtivismo, somando 31 investigações (60,8%). Desses artigos, 9 (17,6%) retratam o construtivismo de forma explícita, 5 trabalhos (9,8%) referenciam autores construtivistas nas fundamentações teóricas e 17 investigações (33,3%) não referenciam explicitamente, no entanto, investigaram as concepções alternativas dos estudantes, linha de pesquisa vinculada à teoria construtivista.

O construtivismo possui uma influência significativa no ensino contemporâneo, principalmente na educação Química. De acordo com Cachapuz (2011), o consenso construtivista no ensino de Química tem a sua origem em muitas investigações específicas relativas a diferenciadas estratégias no processo de ensino e aprendizagem, como a resolução de problemas, estudos de caso, mudança do modelo conceitual e atividades experimentais investigativas. O crescente número de investigações com essa perspectiva tem se fortalecido, principalmente, como forma de superar o paradigma da aprendizagem por transmissão-recepção. Desta forma, o construtivismo se apresenta como uma proposta que contempla a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento e não a

simples assimilação e acumulação do conhecimento adquirido, por meio do professor ou livros didáticos.

Observou-se uma tendência na análise das concepções alternativas (Earles, 1995; Galagovsky e Bekerman, 2009; Henderleiter, Smart, Anderson e Elian, 2001; Nery et al., 2007). De maneira geral, os autores enfatizaram a importância das concepções alternativas no processo de construção do conhecimento. O modelo que possivelmente teve maior influência na pesquisa em educação científica foi o chamado modelo de mudança conceitual (MMC), embasado epistemologicamente nos trabalhos de Kuhn, Lakatos e Toulmin (Posner, Strike, Hewson e Gertzog, 1992).

Em relação à categoria "Teoria sobre as forças intermoleculares", encontrou-se 17 trabalhos (33,2%), sendo que quatro deles (7,8%) retrataram aspectos gerais, sem distinguir os diferentes tipos de interações, 10 (19,6%) e três (5,8%) abordaram, respectivamente, as ligações hidrogênio e forças de London. O forte interesse pelas ligações hidrogênio pode estar relacionado à importância desse conceito como um princípio básico de todas as áreas da Química.

Também foram detectados dois trabalhos (4%) que utilizaram a teoria dos modelos mentais como fundamentação de suas pesquisas. A pesquisa de Giacomo, Galagovsky e Castelo (2009) investigou os modelos mentais de professores sobre os fenômenos de solubilidade, insolubilidade e formação de emulsão para identificar suas dificuldades na construção de modelos explicativos sobre as forças intermoleculares, bem como os possíveis obstáculos à aprendizagem. A aprendizagem Cooperativa foi identificada como sendo a base teórica de apenas uma investigação.

Resultados

Em relação aos principais resultados apresentados nos artigos, os mesmos foram sistematizados em duas categorias: *Concepções alternativas mais recorrentes* e *Propostas para o ensino de forças intermoleculares*.

- Concepções alternativas mais recorrentes

Estudos sobre as concepções alternativas foram identificados em artigos com uma diferença temporal de aproximadamente 17 anos (Wenwik, McManaman, Anderson e Carroll, 1998; Cooper, Williams e Underwood, 2015) e muitas pesquisas evidenciaram que elas estão presentes tanto no nível básico como no superior (Williams, Cooper e Underwood, 2015). A seguir, são apresentadas as concepções alternativas mais recorrentes sobre as interações intermoleculares:

(i) Não há diferenças significativas entre as forças intermoleculares e as ligações químicas (Cooper et al., 2015; Wedvik, 1998);

(ii) As forças intermoleculares são mais fortes que as ligações intramoleculares (Tarhan, Ayar-Kayali, Urek e Acar, 2008);

(iii) Existe ligação hidrogênio em todas as moléculas que possuem hidrogênio e a força dessa interação é medida pela quantidade de hidrogênios que a molécula possui, por exemplo, as interações entre as moléculas do CH₄ são mais intensas do que as do NH₃ (Galagovsky et al., 2009);

(iv) Quando um sólido funde, ocorrem rupturas das ligações químicas (Sendur, 2014; Smith e Nakhle, 2011;);

(v) No processo de ebulição, as moléculas de água são quebradas e as bolhas observadas são efeitos dos átomos de oxigênio e hidrogênio (Barbosa, Mafezoli e Lima, 2015; Schmidt et al., 2009);

(vi) A agitação e aquecimento são requisitos essenciais para o processo de dissolução (Weinhold e Klein, 2014);

(vii) A interação molecular, por exemplo, no CF_4 é maior que no OF_2 , pois há quatro ligações polares no CF_4 (Wang e Barrow, 2013).

Um dos maiores problemas detectados é a confusão existente entre as interações intermoleculares e as ligações químicas, como observado nas concepções alternativas apresentada nos itens (i), (ii), (iv) e (v). A fim de ilustrar tal dificuldade, destaca-se a pesquisa desenvolvida por Cooper et al. (2015), os quais aplicaram uma atividade em que os estudantes deveriam desenhar e explicar as forças que atuam entre as moléculas do etanol. A Figura 4 apresenta parte dos resultados obtidos pelos autores.

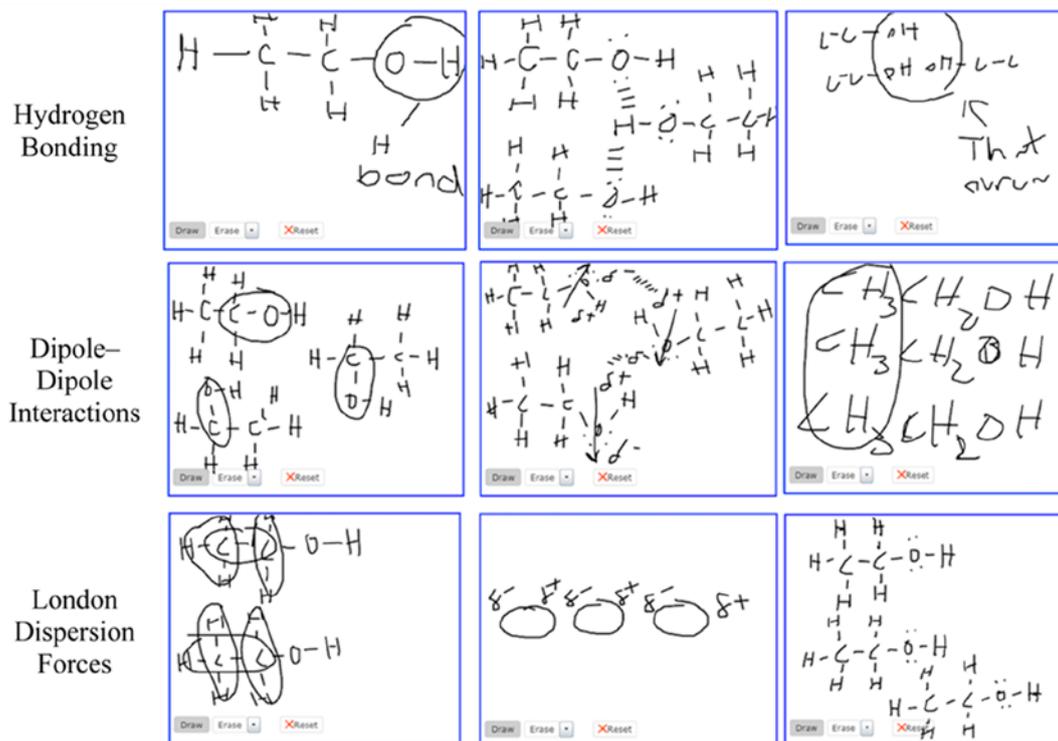


Figura 4. – Resultados do estudo desenvolvido por Cooper et al. (2015).

Segundo os autores, dos 94 estudantes universitários investigados, apenas 14 (15%) identificaram que a ligação hidrogênio ocorre entre moléculas distintas. Desses acadêmicos, apenas 09 (9,6%) descreveram que a ligação hidrogênio ocorre entre o átomo de hidrogênio de uma determinada molécula e o oxigênio da outra. Entretanto, 68 estudantes (72%) representaram essa interação por meio da ligação entre os átomos de oxigênio e hidrogênio (O-H) dentro de uma única molécula de etanol. O mesmo ocorreu com as representações das interações dipolo-dipolo e forças

de London, evidenciando que a confusão entre as interações intermoleculares e as ligações químicas prevalece.

Além disso, alguns resultados, itens (iv) e (v), revelaram que os estudantes não relacionam as transformações físicas com as interações intermoleculares. Geralmente atribuem às ligações químicas a responsabilidade por esses fenômenos.

Nos itens (iv), (v), (vi) e (vii) observam-se generalizações em relação à ligação hidrogênio, evidenciando a falta de pré-requisitos para o entendimento desse conceito, tais como carga, força eletrostática e polaridade. Segundo Wang e Barrow (2013), lacunas conceituais podem resultar em equívocos e deficiências no entendimento de forças intermoleculares, enaltecendo que as concepções alternativas fornecem aos professores informações sobre como os conceitos estão interligados na estrutura cognitiva do estudante.

O item (vi) revela dificuldades dos estudantes em relação ao processo de dissolução, os quais desconsideram as interações entre soluto e solvente para explicar esse processo. Smith e Nakhle (2011) relataram que alguns deles, ao preverem a dissolução de certos compostos orgânicos em água, não levaram em consideração as interações provocadas pelos grupos funcionais (tais como grupos -OH ou -NH), em vez disso, se preocuparam com elementos específicos, tais como o oxigênio, carbono ou hidrogênio. A respeito das concepções sobre a agitação e o aquecimento, o autor detectou que alguns estudantes consideraram esses procedimentos requisitos essenciais para a dissolução de uma substância em outra e afirmaram que as forças intermoleculares são quebradas pelas colisões entre as partículas do soluto e solvente causada pela agitação e aquecimento, pois o calor é um catalisador para a reação.

Apesar de muitos autores apontarem as concepções equivocadas dos estudantes, há também relatos de propostas de superação dessas concepções.

- Propostas para o ensino de forças intermoleculares

No que se refere aos artigos que apresentaram estratégias de ensino, encontrou-se uma diversidade de propostas para o desenvolvimento de forças intermoleculares: 09 trabalhos (17,8%) utilizaram software computacionais como ferramenta de ensino; 06 (11,8%) desenvolveram atividades experimentais de caráter investigativo e 03 (5,9%) de caráter demonstrativo; 07 (13,7%) desenvolveram atividades de modelagem; 05 (9,8%) utilizaram atividades baseadas em problemas; 02 (4%) apresentaram propostas contextualizadas; e, apenas, um utilizou jogos didáticos.

Além disso, ressalta-se que diversas estratégias de ensino vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de minimizar as dificuldades dos estudantes em transitar entre os níveis de representação da matéria durante o estudo do conteúdo de forças intermoleculares.

Burkholder e Purser (2008) desenvolveram um estudo utilizando ferramentas de simulação computacional. Segundo os autores, os softwares utilizados permitiram a visualização do comportamento cinético molecular

de diferentes sistemas químicos. Os modelos tridimensionais gerados por computador, ou seja, as representações pictóricas de moléculas fornecem a distribuição da densidade eletrônica. Isso permite a visualização de conceitos como polaridade, eletronegatividade e propriedades físicas dos compostos, bem como sua relação com as interações intermoleculares. Os resultados indicaram que o uso de simulações computacionais promove aprendizagem conceitual e apropriação representacional (simbólica e submicroscópica) por parte do estudante, bem como fornece representações visuais para a resolução de problemas e explicações dos fenômenos macroscópicos.

Broman e Parchmann (2014), com o objetivo de sanar os equívocos relacionados aos conceitos de forças intermoleculares, propõem a utilização de *kits* de modelo atômico para ilustrar, em nível submicroscópico, os tipos de interações existentes entre as moléculas. No nível macroscópico, os professores podem utilizar estruturas de Lewis com o intuito de discutir as propriedades, tais como pontos de ebulição e fusão, eletronegatividade e polaridade, para demonstrar os efeitos que forças intermoleculares exercem nas propriedades físicas dos compostos.

Domínguez, Toro e Serrano (2015) desenvolveram sequências de atividades experimentais para abordar a tensão superficial de diferentes substâncias e relacioná-las com a natureza das interações entre as moléculas. Os autores comentam que para o ensino de Química Geral, em nível universitário, é essencial a busca de novas estratégias que auxiliem na aprendizagem de conceitos complexos e abstratos, como é o caso das forças intermoleculares. Fundamentados nas ideias de Johnstone (1982), os autores afirmam que é necessária a transição entre os níveis de representação da matéria para a compreensão do fenômeno em estudo. Isso requer a relação entre o nível macroscópico, correspondente aos aspectos descritivos e observáveis da tensão superficial, e os níveis submicroscópico (dimensão atômico-molecular) e representacional (expresso por códigos e símbolos), relacionados ao conteúdo de forças intermoleculares. Por fim, os resultados obtidos pelos autores revelam que as atividades experimentais desenvolvidas favoreceram esse processo, quando comparado aos resultados obtidos com estudantes que aprenderam o conteúdo por meio da metodologia tradicional.

Conclusões

Por meio da presente investigação detectou-se a predominância de pesquisas internacionais sobre o ensino e aprendizagem de forças intermoleculares (76,5 %). As investigações brasileiras somaram 23,5 % do total de publicações analisadas. Também se observou que, em nível nacional, as publicações se intensificaram nos últimos cinco anos e as internacionais na última década. Isso evidencia que há muitos trabalhos recentes sobre o tema, decorrente do interesse que o mesmo vem despertando nos pesquisadores da área.

Quanto aos aspectos metodológicos, 33% dos trabalhos são teóricos e preocuparam-se em fornecer subsídios para o desenvolvimento conceitual do conteúdo. Dentre os trabalhos empíricos (67%), os quais buscaram intervir diretamente no âmbito escolar, tanto em nível básico como

superior, se fundamentaram, em sua maioria, em referenciais construtivistas. Isso mostra que existe uma preocupação em desenvolver metodologias de ensino que posicionem o aluno no centro do processo educativo, bem como que favoreçam construção do seu conhecimento. Além disso, para a análise dos resultados, prevalece uma abordagem qualitativa. O nível superior foi priorizado pelos estudos, contabilizando 73% dos trabalhos, sendo 56% destinados apenas a este nível. O interesse pela educação superior deve-se aos problemas conceituais detectados em acadêmicos que, segundo as pesquisas, podem ser decorrentes de lacunas na aprendizagem durante a educação básica. Desta forma, alerta-se para a necessidade de desenvolver novas alternativas para o ensino e aprendizagem das forças intermoleculares no ensino médio.

Uma das principais contribuições dos trabalhos refere-se à tendência de investigações sobre as concepções alternativas dos estudantes de diferentes níveis de ensino, que abordaram vários aspectos conceituais sobre o conteúdo de forças intermoleculares. Conhecer os equívocos apresentados pelos estudantes, segundo Fernandes e Campos (2012), constitui o ponto de partida para que os professores e pesquisadores da área do ensino de Química possam elaborar e desenvolver estratégias didático-pedagógicas que contribuam com a evolução conceitual deste tópico pelos estudantes. Além disso, muitas pesquisas detectaram que uma das maneiras para favorecer o processo de aprendizagem de forças intermoleculares é por meio da abordagem concomitante dos três níveis de representação da matéria, macroscópico, submicroscópico e simbólico.

Por fim, apesar das muitas contribuições apresentadas pela pesquisa realizada, acredita-se na necessidade de desenvolver novas investigações, que somadas à literatura existente, esclareçam o percurso para a construção do conhecimento do tópico nos diversos níveis de ensino.

Implicações

Por meio da análise dos resultados apresentados nos artigos, destacam-se algumas implicações para o ensino de forças intermoleculares:

- Considerando que o desenvolvimento de pesquisas está diretamente relacionado com a qualidade do ensino, é necessário o desenvolvimento de mais produções brasileiras dedicadas ao ensino e aprendizagem deste conteúdo, visto que foi detectada uma predominância de trabalhos internacionais. Conforme Tarhan et al. (2008), o conteúdo de forças intermoleculares tem recebido pouca atenção de pesquisadores da Educação Química, dificultando a aprendizagem em todos os níveis de conceitos que são fundamentais, tais como: propriedades físicas, conformação molecular, solubilidade, adsorção, tensão superficial, ação capilar, pressão de vapor entre outros.

- As pesquisas empíricas, maioria dentre os artigos analisados, assumem um papel importante para o ensino, pois por meio delas, é possível delinear as principais dificuldades decorrentes do processo de ensino e aprendizagem, concepções alternativas, obstáculos à aprendizagem, estratégias de ensino eficazes, bem como possíveis soluções para favorecer a Educação Química.

- As distorções conceituais e os modelos inadequados detectados no nível superior são consequência do desenvolvimento do tópico na educação básica. Neste contexto, estratégias de ensino que visem minimizar concepções alternativas, bem como evitar a memorização de conceitos na interpretação de fenômenos, são propostas viáveis para o nível médio. Dentre elas destacam-se: softwares computacionais, atividades experimentais investigativas, atividades de modelagem, resolução de problemas e jogos didáticos.

- O viés construtivista é o fundamento teórico predominante, utilizado com o intuito de superar o paradigma da aprendizagem por transmissão-recepção. A teoria construtivista se apresenta como uma proposta que contempla a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento e não a simples assimilação por meio do professor ou livros didáticos. O aluno ganhou mais espaço, tendo suas concepções valorizadas, tornando-se sujeito ativo no processo de aprendizagem.

- As concepções alternativas evidenciaram um obstáculo significativo na aprendizagem do conteúdo de forças intermoleculares. A adoção de metodologias diferenciadas que favoreceram a compreensão do conhecimento químico por intermédio dos níveis de representação da matéria é recomendada.

Referências bibliográficas

Antunes, M., Pacheco, M. A. R., e Giovanela, M. (2012). Design and Implementation of an Educational Game for Teaching Chemistry in Higher Education. *Journal of Chemical Education*, 89(5), 517-521.

Ayres, C., e Arroio, A. (2015). Aplicação de uma sequência didática para o estudo de forças intermoleculares com uso de simulação computacional. *Revista Experiências em Ensino de Ciências*, 10(2), 164-185.

Barbosa, F. G., Mafezoli, J., e Lima, M. A. S. (2015). Interactions: design, implementation and evaluation of a computational tool for teaching intermolecular forces in higher education. *Revista Química Nova*, 38(10), 1351-1356.

Broman, K., e Parchmann, I. (2014). Students' application of chemical concepts when solving chemistry problems in different contexts. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 516-529.

Bruist, M. F., Smith, W. L., e Mell, G. (1998). A simple demonstration of How Intermolecular Forces Make DNA helical. *Journal of Chemical Education*, 75(1), 52-55.

Burkholder, P. R., e Purser, G. H. (2008). Using Molecular Dynamics Simulation to Reinforce Student Understanding of Intermolecular Forces. *Journal of Chemical Education*, 85(8), 1071-1077.

Cachapuz, A. (2011). *A necessária renovação do ensino de ciências*. São Paulo: Cortez.

Campanario, J. M., e Otero, J. C. (2000). Más allá de las de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155-169.

Canham, G. R., e Overton, T. (2003). *Descriptive Inorganic Chemistry*, 3ª Edição, Freeman.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES Brasil. (2016). Plataforma Sucupira. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/index_consultas.jsf

Chang, R. (2010). *Química Geral – Conceitos Essenciais*. Editora Rabelo, São Paulo.

Cooper, M. M., Williams, L. C., e Underwood, S. M. (2015). Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study. *Journal of Chemical Education*, 92(4), 1288-1298.

Costa, S. S. C., e Moreira, J. P. (1996). Resolução de problemas I: diferenças entre novatos e especialistas. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(2), 176-192.

Demo, P. (2000). *Metodologia do conhecimento científico*. São Paulo, Atlas, 15-23.

Domínguez, O. J., Toro, M. A., e Serrano, E. M. (2015). Enseñanza del Concepto de Fuerzas Intermoleculares em Ingeniería Química: su Relación con Propiedades Medibles. *Formación Universitaria*, 7(5), 15-22.

Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.

Earles, T. T. (1995). Can London Dispersion Forces Be Stronger than Dipole-Dipole Forces, Including Hydrogen Bonds? *Journal of Chemical Education*, 72(8), 727.

Fernandes, L. S., e Campos, A. F. (2012). Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 12(2), 153-172.

Fernandes, L. S., e Campos, A. F. (2017). Tendências de pesquisa sobre a resolução de problemas em Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 16(3), 458-482.

Gallagher, J. J. (2002). What Next for OERI? *Education Week*, 21(28), 52-54.

Galagovsky, L., e Bekerman, D. (2009). La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(3), 952-975.

Giacomo, A., Galagovsky, L., e Castelo, V. (2009). Modelos vs. Dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1).

Gilbert, J. (1993). Models & Modelling in science education. Hatfield. *The Association for Science Education*, 11, 1-13.

Henderleiter, J., Smart, R., Anderson J., e Elian, O. (2001). How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? *Journal of Chemical Education*, 78(8), 1126-1130.

Hoppen, N., e Meirelles, F. S. (2005). Sistemas de Informação: um panorama da pesquisa científica entre 1990 e 2003. *Revista de Administração de Empresas*, 45(1), 24-35.

Imbraim, S. S., Mendonça, P. C. C., e Justi, R. (2013). Contribuições dos Esquemas Argumentativos de Walton para análise de argumentos no contexto do Ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(1), 159-185.

Johnstone, A. H. (1982). Macro and microchemistry. *The School Science Review*, 64(227), 377-379.

Johnstone, A. H. (2009) You Can't Get There from Here. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22-29.

Livneh, M. (2005). Experiments in Dyes and Dyeing Means to better understand the nature of intermolecular forces. *Educación Química*, 16(4), 534-539.

Lüdke, M., e André, M. E. D. A. (1986). *Pesquisa em Educação: Abordagens Qualitativas*, São Paulo, SP, 23-26.

Megid, J. (1999). *Tendência da pesquisa acadêmica sobre o ensino de ciências no nível fundamental* (Tese Doutorado). UNICAMP, Campinas.

Ministério da Educação do Brasil (2006). Secretaria de Ensino Básico. *Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília.

Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn Chemistry? - Chemical Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 191-196.

Neri de Souza, F. (2006). *Perguntas na Aprendizagem de Química no Ensino Superior* (Tese Doutorado). Universidade de Aveiro, Aveiro.

Nery, A. L. P., Liegel, R. M., e Fernandez, C. (2007). Um olhar crítico sobre o uso de algoritmos no Ensino de Química no Ensino Médio: a compreensão das transformações e representações das equações químicas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 587-600.

Pazinato, M. S. (2016). *Ligações Químicas: Investigação da construção do conhecimento no ensino médio* (Tese Doutorado). UFSM, Santa Maria.

Peterson, R. F., e Treagust, D. F. (1989). Grade-12 student's misconceptions of covalent bonding and structure. *Journal of Chemical Education*, 66(2), 459-460.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P., e Gertzog, W. (1992). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change'. *Science Education*, 66, 211-227.

Santos, M. T., e Greca, I. M. (2005). Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 01-25.

Schmidt, H. J., Kaufmann, B., e Treagust, D. F. (2009). Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. *Chemistry Education Research and Practice*, 10, 265-272.

Sendur, G. (2014). Are creative comparisons developed by prospective chemistry teachers evidence of their conceptual understanding? The case of inter- and intramolecular forces. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 689-719.

Smith, K. C., e Nakhle, M. B. (2011). University students' conceptions of bonding in melting and dissolving phenomena. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 398-408.

Taber, K. S. (2000). Chemistry lessons for universities?: a review of constructivist ideas. *University Chemistry Education*, 4(2), 63-72.

Tarhan, L., Ayar-Kayali, H., Urek, R. O., e Acar, B. (2008). Problem-Based Learning in 9th Grade Chemistry Class: Intermolecular Forces. *Research in Science Education*, 3(1) 01-16.

Torres, N., Landau, L., Baumgartney, E., e Monteserin, H. (2010). Fuerzas intermoleculares y su relación com propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo. *Educación Química*, 21(3), 212-218.

Wandersee, J., Mintzes, J., e Novak. (1994). Research on alternative conceptions in science. Em Gabel, D. L. (Ed.) *Handbook of research on science teaching and learning* (pp. 177-210). New York: MacMillan.

Wang C., e Barrow, L. H. (2013). Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity: a comparison of undergraduate general chemistry students with high and low levels of content knowledge. *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 130-146.

Wedvik, J. C., McManaman, C., Anderson, J. S., e Carroll, M. K. (1998). Intermolecular Forces in Introductory Chemistry Studied by Gas Chromatography, Computer Models, and Viscometry. *Journal of Chemical Education*, 75(7), 885-888.

Weinhold, F., e Klein, R. A. (2014). What is a hydrogen bond? Resonance covalency in the supramolecular domain. *Chemistry Education Research and Practice*, 15, 276-285.

Williams, L. C., Cooper, M. M., e Underwood, S. (2015). Are Noncovalent Interactions an Achilles Heel in Chemistry Education? A Comparison of Instructional Approaches. *Journal of Chemical Education*, 92(6), 124-143.

Anexo 1.– Autores, ano, título, periódico e volume dos artigos analisados em ordem cronológica.

Autores	Ano	Título do Artigo	Periódico	Volume (Número)
Diogo, H. P., Minas da Piedade, M. E., Ramos, J. J. R.	1991	Intermolecular forces in solution and lattice energies of ionic crystals: Calorimetric experiments for the physical chemistry undergraduate laboratory.	JCE	68(6)
Berka, H. L., Kildah, N.	1994	Experiments for Modern Introductory Chemistry: Intermolecular Forces and Raoult's Law.	JCE	71(7)
Earles, T. T.	1995	Can London Dispersion Forces Be Stronger than Dipole-Dipole Forces, Including Hydrogen Bonds?	JCE	72(8)
Bruist, M. F, Smith, W. L., Mell, G.	1998	A simple demonstration of How Intermolecular Forces Make DNA helical.	JCE	75(1)
Silverstein, T. P.	1998	Why Do Alcoholic Beverages Have "Legs.	JCE	75(6)
Wedvik, J. C., McManaman, C., Anderson, J. S.	1998	Intermolecular Forces in Introductory Chemistry Studied by Gas Chromatography, Computer Models, and Viscometry.	JCE	75(7)
Wilcox, C. J.	1998	London Dispersion Forces and "The Wave".	JCE	75(10)
Kimbrough, D. R., Delorenzo, D.	1998	Solving the Mystery of the Fading Fingerprints with London Dispersion Forces.	JCE	75(10)
Hessley, R. K.	2000	Computational Investigations for Undergraduate Organic Chemistry: Modeling a TLC Exercise to Investigate Molecular Structure and Intermolecular Forces.	JCE	77(2)
Henderleiter, J., Smart, R., Anderson J., Elian, O.	2001	How Do Organic Chemistry Students Understand and Apply Hydrogen Bonding? Journal of Chemical Education	JSE	78(8)
Canning, D. R., Cox, J. R.	2001	Teaching the structural nature of biological Molecules: molecular visualization in the Classroom and in the hands of students.	CERP	2(2)
Fraga, C. A. M.	2001	Razões da atividade Biológica: interações micro.	QNEsc	13(3)
Rocha, W.R.	2001	Interações intermoleculares.	QNEsc	13(4)
Santos, F., Greca, I. e Serrano, A.	2003	Uso do software DICEWIN na química geral.	RPBEC	3(1)
Cody, J. A.,	2003	Laboratory Sequence in	JCE	80(7)

Wiser, D. C.		Computational Methods for Introductory Chemistry.		
Santos, M. T., Greca, I. M.	2005	Promovendo aprendizagem de conceitos e de representações pictóricas em Química com uma ferramenta de simulação computacional.	REEC	4(1)
Livneh, M.	2005	Experiments in Dyes and Dyeing Means to better understand the nature of intermolecular forces.	EQ	16(4)
Casey, R. E., Pittman, F. A.	2005	Intermolecular Forces as a Key to Understanding the Environmental Fate of Organic Xenobiotics.	JCE	82(2)
Torres, N., Landau, L., Baumgartney	2005	Fuerzas intermoleculares y propiedades físicas de compuestos orgánicos: una estrategia didáctica.	EQ	16(4)
Curi, D.	2006	Polímeros e Interações intermoleculares.	QNEsc	23(3)
Nyasulu, F. W., Macklin, J.	2006	Intermolecular and Intramolecular Forces: A General Chemistry Laboratory Comparison of Hydrogen Bonding in Maleic and Fumaric Acids.	JCE	83(5)
Erny, C., Bouvier, D., Bloch, G., Laemmel, C., Leseney, A. M.	2006	Assessing the educational effectiveness of a CAL tutorial. Structure and molecular dynamics in biology; Part 1: water and molecular interactions.	CERP	7 (4)
Nery, A. L. P., Liegel, R. M., Fernandez, C.	2007	Um olhar crítico sobre o uso de algoritmos no Ensino de Química no Ensino Médio.	REEC	6(3)
Mundell, D. W.	2007	Dancing Crystals: A Dramatic Illustration of Intermolecular Forces.	JCE	84(11)
Giudice, J., Galagovsky, L.	2008	Modelar la naturaleza discontinua de la materia: unapropuesta para la Escuela Media.	REEC	7(3)
Burkholder, P. R.	2008	Using Molecular Dynamics Simulation to Reinforce Student Understanding of Intermolecular Forces.	JCE	85(8)
Tarhan, L., Ayar- Kayali, H., Urek, R. O., Acar, B.	2008	Problem-Based Learning in 9th Grade Chemistry Class: 'Intermolecular Forces'.	RSE	-
Schmidt, H. J., Kaufmann, B., Treagust, D. F.	2009	Students' understanding of boiling points and intermolecular forces.	CERP	10
Zielinski, T. J.	2009	Intermolecular Interactions: Dipole–Dipole, Dipole–Induced Dipole, and London Dispersion	JCE	86(12)

		Forces.		
Galagovsky, L., Bekerman, D.	2009	La Química y sus lenguajes: un aporte para interpretar errores de los estudiantes.	REEC	8(3)
Giacomo, A., Galagovsky, L., Castelo, V.	2009	Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares.	REEC	8(1)
Torres, N., Landau, L., Baumgartney, E.	2010	Fuerzas intermoleculares y su relación con propiedades físicas: búsqueda de obstáculos que dificultan su aprendizaje significativo.	EQ	21(3)
Csizmar, C. M., Force, D. A., Warner, D. L.	2011	Implementation of Gas Chromatography and Microscale Distillation into the General Chemistry Laboratory Curriculum as Vehicles for Examining Intermolecular Forces.	JCE	88(7)
Smith, K. C., Nakhle, M. B.	2011	University students' conceptions of bonding in melting and dissolving phenomena.	CERP	12 (2)
Pires, D. X., Pereira, A. S.	2012	Uma proposta teórica experimental de sequência didática sobre Interações intermoleculares no ensino de química.	IEC	17(2)
Antunes, M., Pacheco, M. A. R.	2012	Design and Implementation of an Educational Game for Teaching Chemistry in Higher Education.	JCE	89(5)
Wang C., Barrow, L. H.	2013	Exploring conceptual frameworks of models of atomic structures and periodic variations, chemical bonding, and molecular shape and polarity.	CERP	14
Imbraim, S. S., Mendonça, P. C. C., Justi, R.	2013	Contribuições dos Esquemas Argumentativos de Walton para análise de argumentos no contexto do Ensino de Ciências.	RPBEC	13 (1)
Vaz, E. L. S., Sampaio, M. M., Monteiro, M. A. A.,	2013	Determinação do Teor Alcoólico de Vodcas: uma Abordagem Multidisciplinar no Ensino da Física, Química e Matemática	QNEsc	35(4)
Vidal, R. M. B., Melo, R. C.	2013	A Química dos Sentidos – Uma Proposta Metodológica.	QNEsc	35(1)
Rosa, M. M., Silva, P. S., Galvan, F. B.	2014	Ciência Forense no Ensino de Química por meio da experimentação	QNEsc	36(5)
Sendur, G.	2014	Are creative comparisons developed by prospective chemistry teachers evidence	CERP	15 (4)

		of their conceptual understanding?		
Weinhold, F., Klein, R. A.	2014	What is a hydrogen bond? Resonance covalency in the supramolecular domain.	CERP	15
Broman, K., Parchmann, I.	2014	Students' application of chemical concepts when solving chemistry problems in different contexts.	CERP	15
Vega, P. R. D., Garcia-Fadrique, J.	2015	Van der Waals, más que una ecuación cúbica de estado.	EQ	26(3)
Cooper, M. M., Williams, L. C. Underwood, S.	2015	Student Understanding of Intermolecular Forces: A Multimodal Study.	JCE	92(4)
Williams, L. C., Cooper, M. M., Underwood, S.	2015	Are Noncovalent Interactions an Achilles Heel in Chemistry Education? A Comparison of Instructional Approaches.	JCE	92(6)
Domínguez, O. J., Toro, M. A., Serrano, E. M.	2015	Enseñanza del Concepto de Fuerzas Intermoleculares em Ingeniería Química: su Relación con Propiedades Medibles.	FU	7(5)
Ayres, C., Arroio, A.	2015	Aplicação de uma sequência didática para o estudo de forças intermoleculares com uso de simulação computacional.	EENCI	10(2)
Barbosa, F. G., Mafezoli, J., Lima, M. A. S.	2015	Interactions: design, implementation and evaluation of a computational tool for teaching intermolecular forces in higher education.	QN	38(10)
Sampaio, M. M., Vaz, E. L. S., Monteiro, M. A. A.	2015	Uma Atividade Experimental para o Entendimento do Conceito de Viscosidade.	QNEsc	37(3)

Anexo 2.- Roteiro de Análise dos artigos

Avaliador:

Critério: Caracterização

Revista:

Título do Artigo:

Número: Volume: Ano:

Instituição:

País:

Critério: Aspectos metodológicos

Natureza da pesquisa: () teórica () empírica

Abordagem da pesquisa: () qualitativa () quantitativa () mista

Nível de ensino:

() Ensino Fundamental (1º ao 9º anos)

() Ensino Médio (1ª a 3ª séries)

() Educação Superior.

Critério: Base teórica

Indicar Base teórica:

Indícios

--

Critério: Resultados

Indicar principais resultados:

--