

# OBTENÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL DO TEMA INTERAÇÕES INTERMOLECULARES ATRAVÉS DA TRANSFORMAÇÃO DE TEXTOS EM MAPAS CONCEITUAIS

Marianna Meirelles Junqueira<sup>1</sup>

Flavio Antonio Maximiano<sup>2</sup>

**Resumo:** o presente estudo tem como objetivo elaborar mapas conceituais a respeito do tema interações intermoleculares a partir do conteúdo apresentado em livros didáticos comumente utilizados no ensino superior. Os mapas conceituais foram elaborados manualmente por meio da marcação dos conceitos nos textos, extração das proposições entre os mesmos, e construção de um mapa conceitual com as principais relações conceituais presentes nos textos. A partir dos mapas conceituais elaborados foram destacados os conceitos mais importantes, as relações proposicionais entre estes conceitos, dos conceitos centrais que permitem unificar ideias fundamentais e da definição de uma hierarquia conceitual. Os conceitos representados nos mapas conceituais podem ser agrupados em três categorias: 1) tipos de interações intermoleculares; 2) propriedades moleculares que definem a natureza e as forças destas interações e 3) exemplos, fenômenos ou propriedades macroscópicas. Verifica-se ainda a centralidade dos conceitos de polaridade e polarizabilidade e suas relações para o desenvolvimento de uma compreensão mais completa do tema. Pensando em implicações didáticas, destaca-se que o uso desta estratégia pelo professor, construtor do mapa conceitual, pode auxiliá-lo na compreensão deste conhecimento de maneira mais integrada além de ajudá-lo a melhor planejar a abordagem de tais relações em sala de aula.

**Palavras-chave:** Mapeamento Conceitual. Ensino Superior. Ensino e Aprendizagem. Livros Didáticos.

## OBTAINING THE CONCEPTUAL STRUCTURE OF INTERMOLECULAR INTERACTIONS TRANSFORMING TEXTS IN CONCEPT MAPS

**Abstract:** the present study aimed at obtaining concept maps about intermolecular interactions in chemistry textbooks commonly used in higher education. The conceptual maps were manually elaborated by marking the concepts in the texts, extracting the propositions between the concepts, and constructing a concept map with the conceptual relationship of the texts. From the obtained concept maps, we highlighted the most important concepts, the propositional relations between these concepts, the central concepts that allow unifying fundamental ideas and the definition of a conceptual hierarchy. The concepts represented in the concept maps can

---

<sup>1</sup> Professora do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras, do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da UFLA e do Programa de Pós-graduação em Educação Científica e Ambiental da UFLA. E-mail: marianna.junqueira@ufla.br

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Química Fundamental do Instituto de Química da Universidade de São Paulo e do Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências da USP. E-mail: famaxim@iq.usp.br

be grouped into three categories: 1) types of intermolecular interactions; 2) molecular properties that define the nature and forces of these interactions, and 3) examples, phenomena or macroscopic properties. Moreover, the centrality of the concepts polarity and polarizability and their relationship foster a more in-depth understanding of the topic. Concerning educational implications, the use of this strategy by the teacher, who elaborates the concept map, might assist in a deeper and integrated understanding of this knowledge, helping her/him to design a better plan and to determine the best approach to such relationships in the classroom.

**Keywords:** Concept Mapping. Higher education. Teaching and learning. Textbook.

## INTRODUÇÃO

Uma importante característica dos mapas conceituais é que esta forma gráfica de representação do conhecimento permite apresentar de forma explícita e sucinta os principais conceitos e suas relações proposicionais, de modo a propiciar a visualização de uma estrutura organizacional para um determinado assunto. Como objetos organizadores e estruturadores do conhecimento, os mapas conceituais permitem, por exemplo, aos estudantes o aprofundamento de suas aprendizagens e aos docentes a avaliação e reconstrução de suas práticas pedagógicas (OKADA, 2006). Podem também propiciar o desenvolvimento de estratégias didáticas que facilitem a aprendizagem significativa por meio de associações de conhecimentos prévios e novos conhecimentos (NOVAK, 1998) e a reflexão crítica através da indagação, argumentação e ligações com fatos (OKADA; BUCKINGHAM SHUM; SHERBORNE, 2008).

Do ponto de vista da Teoria da Aprendizagem Significativa, a estrutura hierárquica do mapa conceitual permite ao professor verificar quais são (ou podem ser definidos como) os conceitos mais gerais e inclusivos e os conceitos mais específicos (NOVAK, 1998). Ao passar pelas relações proposicionais, dos mais gerais aos mais específicos, pode-se promover nos alunos uma diferenciação progressiva, em que estes conceitos mais gerais são ampliados pela assimilação dos conceitos mais específicos. Ao contrário, quando se sobe na hierarquia do mapa conceitual, apresentando um conceito mais geral que engloba dois ou mais conceitos mais específicos, pode-se promover uma integração conceitual. Neste caso, se reconhece uma relação existente entre dois conceitos que de início eram aparentemente distintos (NOVAK, 1998). Numa aula ou atividade didática, de posse de um mapa conceitual do assunto em estudo, o professor tem, em diferentes momentos, maior facilidade para ressaltar as relações proposicionais que vão, hora no sentido da diferenciação, hora no sentido da integração conceitual. “Caminhando” assim pelo mapa conceitual, promove-se uma constante

recursividade em que os significados conceituais vão ficando mais sólidos na estrutura cognitiva do aprendiz.

Os livros didáticos aparecem no cenário educacional como um dos principais instrumentos que dão suporte aos docentes e estudantes no processo de ensino e aprendizagem de química (LOPES, 1994), participando da formação dos futuros químicos, sejam pesquisadores ou professores da educação básica ou ensino superior. Esses materiais instrucionais podem desempenhar vários papéis, dentre os quais sobressaem o fato de ser uma fonte de consulta e atualização para os professores e alunos, e o fato de ser material de apoio para a preparação das aulas.

O presente trabalho tem como objetivo elaborar mapas conceituais a respeito do tema interações intermoleculares a partir de livros didáticos, comumente utilizados no ensino superior de Química. Com o auxílio dos mapas conceituais elaborados pretende-se examinar a estrutura conceitual expressa no mapa a partir dos conceitos mais importantes, das relações proposicionais entre estes conceitos, dos conceitos centrais que permitam unificar ideias fundamentais sobre o tema e da definição de uma hierarquia conceitual que indique os conceitos mais gerais e mais específicos. Por fim, a partir da estrutura conceitual obtida, pretende-se refletir sobre as implicações didáticas para um melhor planejamento para o ensino do tema.

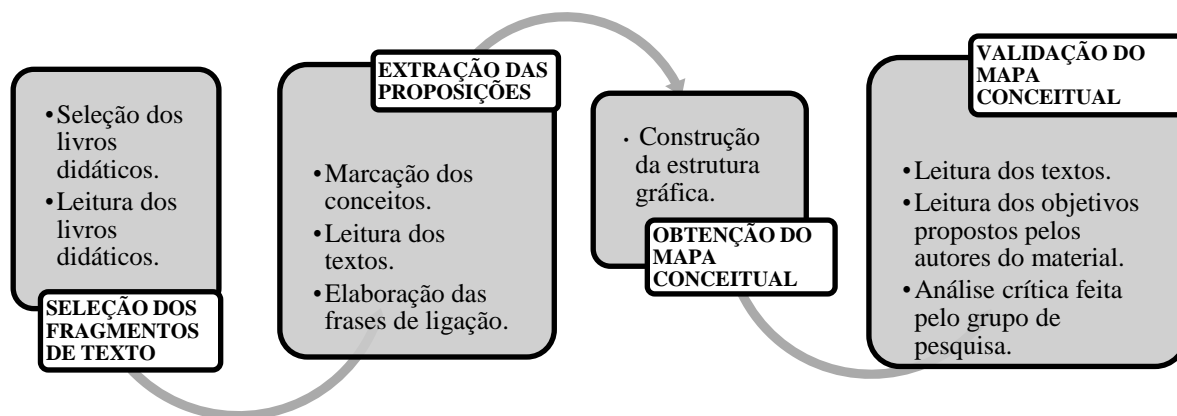
## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Com o objetivo de mapear o conhecimento estabelecido foram escolhidos dois livros didáticos de Química Geral amplamente usados nos cursos de Química do país, a saber: Princípios de Química (ATKINS; JONES, 2012) e Química Geral e Reações Químicas (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010), denominados daqui em diante respectivamente por AJ e KTW. Os textos dos capítulos específicos sobre as interações intermoleculares foram transformados em mapas conceituais que representam a estrutura conceitual do tema, tal como apresentado nos livros didáticos. O método de obtenção de mapas conceituais a partir de textos aqui exposto, vem sendo desenvolvido por nosso grupo de pesquisa com o intuito de extrair as relações conceituais explícitas em produções textuais e apresentá-las na forma de estruturas gráficas, globais e sintéticas, tais como mapas e redes conceituais (SILVA, 2012; JUNQUEIRA, 2013). A figura 1 apresenta uma síntese do caminho metodológico percorrido para a elaboração dos mapas conceituais.

Inicialmente foram selecionados nos livros didáticos fragmentos que abordam o tema interações intermoleculares. Em seguida, esses foram lidos na íntegra e feitas sínteses para uma

imersão mais profunda nos dados. Então, os fragmentos dos livros didáticos foram submetidos ao método de transformar textos em redes ou mapas conceituais.

Figura 1 - Percurso metodológico para análise dos livros didáticos de Química Geral e elaboração dos mapas conceituais.



Fonte: Os autores.

Seguindo-se as etapas (figura 1) para elaboração dos mapas conceituais foram selecionados os conceitos que estavam em destaque nos livros por meio de algum recurso (negrito ou itálico), os conceitos mais frequentes ao longo dos textos e também os considerados mais importantes com base nas sínteses elaboradas e leitura dos fragmentos selecionados. De posse dos conceitos, foram criados arquivos texto com as proposições extraídas dos livros relacionando os conceitos pré-selecionados. As proposições foram extraídas mediante uma segunda leitura atenta dos trechos selecionados. Resumidamente, os mapas conceituais foram elaborados manualmente seguindo as etapas descritas a seguir: 1) Marcação dos conceitos nos textos; 2) Extração das proposições entre os conceitos; e 3) Construção de um mapa conceitual com as relações conceituais apresentadas nos textos. No quadro 1 pode ser observado um exemplo de transformação do texto dissertativo em proposição.

Ressalta-se que os conceitos selecionados e o processo de extração de proposições é manual e possui um caráter subjetivo, pois está atrelado à interpretação de quem o faz. Esse fato não inviabiliza a elaboração da estrutura gráfica, mas permite a construção de diferentes mapas conceituais para um mesmo tema. Tavares (2007) destaca que até mesmo dois grandes especialistas não irão construir mapas idênticos, pois tratam de perspectivas pessoais que cada um pode ter sobre o tema. Entretanto, devemos nos atentar ao que será apresentado no mapa conceitual, ou seja, os conceitos e frases de ligação devem estar de acordo com o que é aceito pela comunidade científica. Neste sentido, não devemos esperar deste processo construir “o

mapa conceitual” sobre o tema em questão, mas um mapa que apresenta ligações entre conceitos contemplando proposições corretas e adequadas ao conhecimento científico vigente.

Quadro 1 - Exemplo de transformação de texto dissertativo em proposição

Fragmento extraído do livro	Proposições elaboradas		
	Conceito 1	Frase de ligação	Conceito 2
Mesmo quando a <u>molécula</u> e o <u>íon</u> estão muito próximos, as <u>interações íon-dipolo</u> são muito mais fracas do que a <u>atração entre dois íons</u> , porque a <u>molécula polar</u> só tem <u>cargas parciais</u> . (ATKINS; JONES, 2012, p.173)	Interação íon-dipolo	é mais fraca do que	Interação íon-íon (atração entre dois íons)
	Molécula polar	apresenta	Cargas parciais
	Interação íon - dipolo	ocorre entre	Molécula polar
	Interação íon-dipolo	ocorre entre	Íon

Fonte: Os autores.

Com o arquivo de proposições finalizado foi iniciada a construção dos mapas conceituais usando a ferramenta CmapTools<sup>®3</sup> (CAÑAS et al., 2004). Nesse momento, ocorre uma transposição do arquivo de proposições para o CmapTools<sup>®</sup> organizando as ligações entre os vários conceitos. Finalizada a primeira versão do mapa conceitual, esse foi lido concomitantemente com os objetivos propostos pelos autores do material didático, a fim de verificar se os mesmos ficaram explícitos na estrutura gráfica. Também foi feita uma leitura do fragmento do texto selecionado para verificar a adequabilidade das frases de ligação, e se existia ausência de ligações importantes originando uma segunda versão do mapa.

A segunda versão do mapa foi validada pelo segundo autor do trabalho por meio de leituras dos fragmentos dos textos selecionados, observação do mapa conceitual, leitura tanta de cada uma das proposições e sugestões de possíveis mudanças, como: a troca de frase de ligação, a inserção de ligação, o corte de ligação na estrutura gráfica ou até mesmo mudanças nos conceitos considerados, originando uma terceira versão do mapa conceitual consensual entre os autores do trabalho. Todo o processo de validação objetivou, principalmente a clareza semântica das proposições, parâmetro considerado fundamental para o entendimento da relação conceitual (AGUIAR; CORREIA, 2013).

Por fim, deu-se a reorganização estrutural do mapa pela definição da hierarquia conceitual, ordenando os conceitos verticalmente de maneira a que os conceitos mais gerais e

<sup>3</sup> Informações detalhadas sobre o programa e seu *download* podem ser obtidos no sítio eletrônico: <http://cmap.ihmc.us/cmaptools/>

inclusivos estejam no início do mapa, e os conceitos mais específicos e exemplos no final. Ao longo de todo o processo foram elaborados os mapas conceituais apresentados nas figuras 2 a 6. Em algumas estruturas gráficas, procurou-se também inserir relações conceituais entre conceitos distantes entre si ou que compõem diferentes partes do mapa (ligações cruzadas). Neste ponto, tanto os diferentes níveis hierárquicos (figuras 5 e 6), como as ligações cruzadas e os conceitos que também podem servir de ligação entre conceitos distintos (figura 4), podem ser indicados marcando as caixas de conceitos e as linhas de ligação com cores distintas.

Destaca-se aqui a importância de realizar revisões contínuas da estrutura gráfica, possibilitando a releitura das proposições, reflexão sobre sua clareza e início de um processo de reconstrução das mesmas (AGUIAR; CORREIA, 2013). Isso revela o caráter dinâmico da construção de um mapa conceitual, rompendo com a ideia da existência de uma única estrutura conceitual a respeito de um determinado tema. Consideramos assim que não existe um mapa certo ou errado, mas uma estrutura que nunca está pronta, pois o aprendizado é um processo permanente que leva a mudanças nas relações conceituais (AGUIAR; CORREIA, 2013; TAVARES, 2007). Todo este processo, visando estabelecer explicitamente as relações entre os conceitos, pode auxiliar na compreensão do conhecimento conceitual, seja para o preparo de uma aula pelo professor, ou para a identificação de incoerências conceituais explicitadas pelos alunos de maneira a permitir o planejamento das ações futuras (MOREIRA, 2010; SHAVELSON; RUIZ-PRIMO; WILEY, 2005).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O capítulo 13 – Forças Intermoleculares, Líquidos e Sólidos (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010) apresenta 42 páginas e os autores indicam que os conhecimentos relacionados a atração íon-íon, uso da eletronegatividade e determinação da polaridade sejam revistos são pré-requisitos para a compreensão de seu conteúdo. O capítulo 5 - Líquidos e Sólidos (ATKINS; JONES, 2012) contém 33 páginas e antes do seu estudo os autores mencionam a necessidade de revisar os conceitos de energia potencial, interações coulômbicas, moléculas polares e dipolos, e forças intermoleculares nos gases.

Em ambos os livros o tema foi tratado nos títulos dos capítulos e tópicos pela expressão forças intermoleculares, mas ao longo do texto são encontradas outras como atrações intermoleculares e interações intermoleculares. Após uma introdução ao tema, os diferentes tipos de interações intermoleculares são apresentados nos dois livros didáticos. Na obra AJ seguem a ordem: forças íon-dipolo, forças dipolo-dipolo, forças de London – dentro deste

tópico são tratadas tanto as interações entre moléculas apolares (interações dipolo induzido-dipolo induzido) como entre moléculas polares e apolares (interações dipolo-dipolo induzido) e, por fim, as ligações de hidrogênio. A obra KTW também segue a mesma ordem mencionada com uma diferença: as forças dipolo-dipolo induzido são abordadas em tópico separado das forças de dispersão de London (dipolo induzido-dipolo induzido). Em seguida, nos dois livros são exibidas as propriedades dos líquidos e sólidos, mas estes fragmentos não serão tratados neste trabalho.

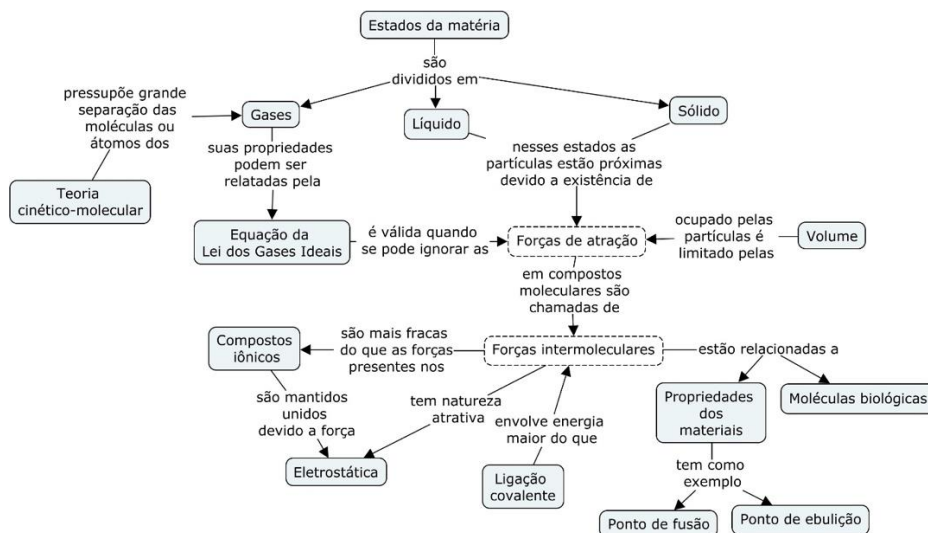
## **Introdução ao tema**

Nas figuras 2 e 3 são apresentados os mapas conceituais obtidos da leitura da introdução dos capítulos que abordam o tema de interesse. Os dois mapas conceituais mostram a importância das forças atrativas entre as moléculas para a existência das fases condensadas da matéria (estados líquido e sólido). Nos dois livros, este tema é precedido pelo estudo do estado gasoso, de forma que a introdução procura fazer uma diferenciação entre este estado, onde as interações não precisam ser consideradas, e as fases condensadas. As interações não são consideradas no caso do gás ideal, representado pelo modelo cinético molecular dos gases. Em algumas condições de pressão, temperatura e volume, as interações ganham importância, como é o caso do gás real, representado pelo modelo de gás de van der Waals; também são importantes nas fases condensadas, onde a natureza e quantidade de energia envolvida nas interações entre as moléculas são determinantes na estrutura e propriedades da mesmas.

Outra diferenciação que se destaca nas relações conceituais obtidas nos textos introdutórios é a existente, do ponto de vista energético, entre as interações intermoleculares e as ligações químicas (covalentes e iônicas), explicitando que a primeira envolve menor energia que a segunda. Tal dificuldade de diferenciação é apontada na literatura como uma das concepções alternativas mais encontradas nos estudos sobre a compreensão do tema (TABER, 1995; FERNANDEZ; MARCONDES, 2006). Uma confusão comumente feita por alunos iniciantes é a de que nos processos de evaporação ou ebulição ocorrem quebras de ligações químicas (SCHMIDT; KAUFMANN; TREAGUST, 2009). É comum nos textos introdutórios de Química a presença de tabelas, com valores de energia típicos de cada interação intermolecular, e para os dois livros em análise não é diferente (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010, p.532, ATKINS; JONES, 2012, p. 270). Este tipo de informação sobre os valores energéticos acrescentado dos valores típicos para as ligações químicas deve ser visto,

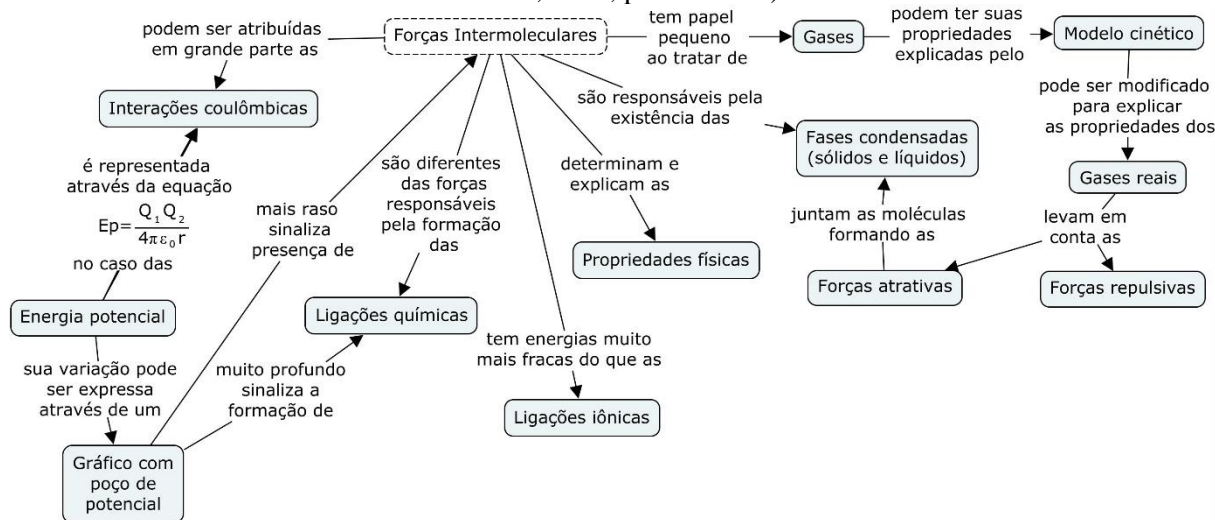
portanto, como um importante recurso didático para efetivamente ser trabalhado e assimilado pelos estudantes.

Figura 2 - Mapa conceitual elaborado para a introdução do capítulo Forças intermoleculares, Líquidos e Sólidos (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010, p.519 – 520)



Fonte: Os autores.

Figura 3 - Mapa conceitual elaborado para a introdução do capítulo Líquidos e Sólidos – (ATKINS; JONES, 2012, p. 269 – 270)



Fonte: os autores

Uma relação conceitual importante, que não está presente nos mapas obtidos e, portanto, pode e deve ser acrescentado pelo professor, é justamente o fato de que em reações químicas estão envolvidas quebras e formações de ligações químicas enquanto que, em mudanças de estado físico e formação de misturas (soluções e materiais compósitos, por exemplo) estão



envolvidas quebras e formações de interações intermoleculares. Estas relações conceituais devem ser vistas como outro importante e fundamental princípio que permite diferenciar estes dois fenômenos em nível atômico-molecular. Ressaltamos aqui que a recursividade de princípios conceituais fundamentais deve ser uma constante para um aprendizado efetivo.

A natureza eletrostática das interações intermoleculares, largamente estudada nas disciplinas básicas de Física, também está ressaltada nos dois mapas conceituais. É importante que o aluno compreenda a interação eletrostática com um conceito básico, amplo, geral e estruturante da compreensão da natureza da matéria em suas propriedades químicas e físicas. Tal ideia deve ser considerada como um princípio unificador e estruturante das ciências da matéria.

Por fim, nos dois mapas aparecem referências ao papel das interações nas propriedades físicas dos materiais como os pontos de fusão e ebulição, na solubilidade e na natureza das estruturas de moléculas biológicas (DNA e proteínas). Tais aspectos, que aparecem com exemplos específicos nos mapas conceituais e casos típicos no ensino do tema, já indicam a ampla importância das interações e também as diferenciações conceituais que devem ser feitas quando tais conceitos serão abordados. Além de realçar a centralidade deste tema para o desenvolvimento de uma compreensão profunda da Química.

### **A estrutura do tema nos livros didáticos analisados**

Os dois capítulos específicos sobre as interações intermoleculares foram transformados em mapas conceituais deixando explícitas as principais relações conceituais tanto entre os diferentes tipos de interação como entre os conceitos selecionados (figuras 4, 5 e 6). No mapa conceitual do livro KTW são encontrados 46 conceitos e 50 proposições. Destaca-se que outras 5 ligações foram acrescentadas no momento de reelaboração final do mapa e decorrem de uma interpretação à luz de nosso conhecimento sobre o tema, uma vez que de acordo com os objetivos aqui traçados, quem faz um mapa deste tipo não deve se restringir à estrutura linear do texto (figura 4). Já o conteúdo mapeado do livro AJ foi dividido em dois mapas conceituais para uma visualização mais clara (figuras 5 e 6) totalizando o uso de 39 conceitos ligados por 70 proposições, sinalizando que na estrutura do último livro os conceitos foram mais relacionados. Dentre os conceitos apresentados 23 são coincidentes nos dois mapas conceituais.

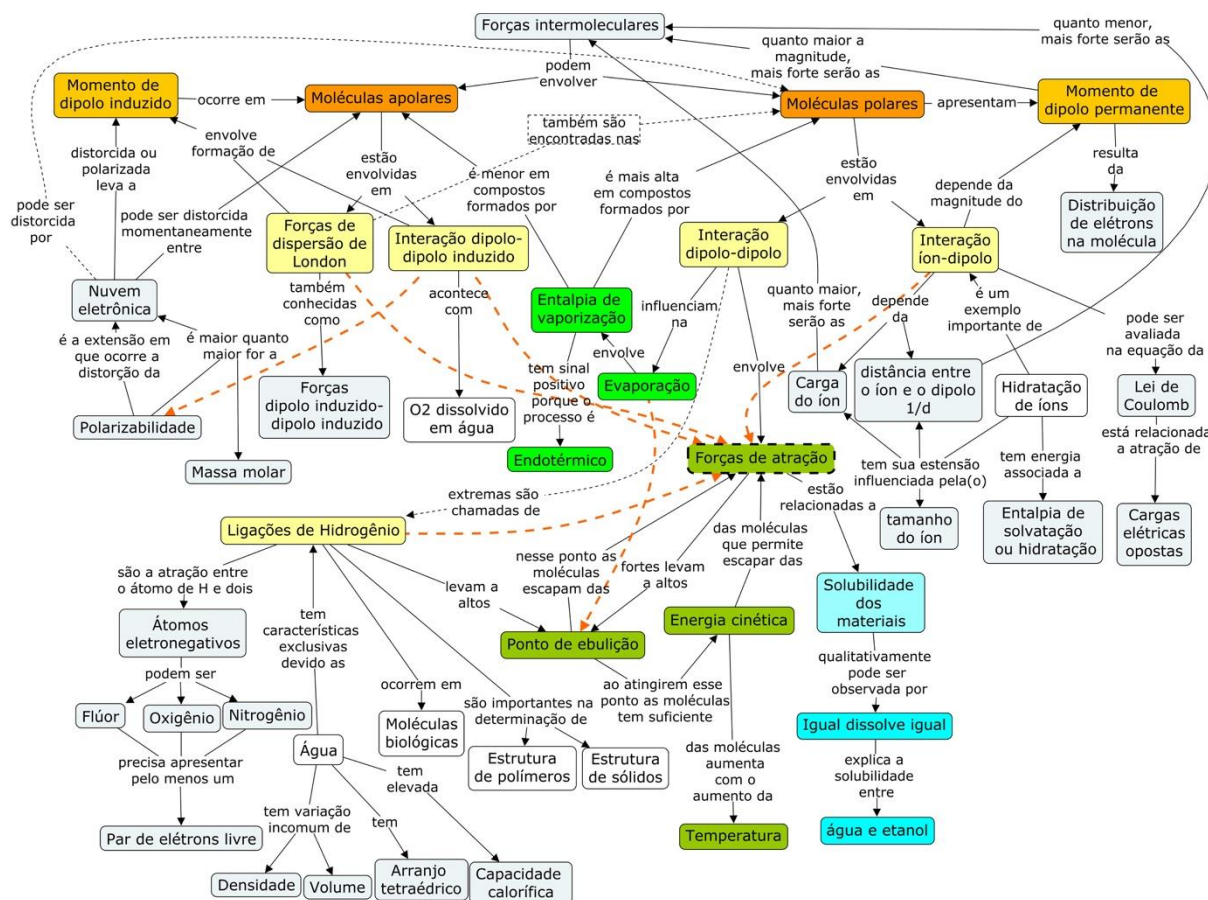
De modo geral, observa-se no mapa conceitual que representa o livro KTW (figura 4), que as interações intermoleculares são abordadas com ênfase na polaridade das moléculas. Moléculas polares, que apresentam momento de dipolo permanente, podem interagir por alguns

tipos de forças e moléculas apolares, que podem apresentar momento de dipolo induzido, por outros tipos. Para moléculas polares que apresentam interações dipolo-dipolo e íon-dipolo o conceito central é a propriedade molecular momento de dipolo permanente, definido aqui como resultado de uma distribuição heterogênea de cargas positivas e negativas na molécula, devido a diferença de distribuição de elétrons entre os diferentes átomos que compõem a molécula. Este conceito se relaciona ao de eletronegatividade atômica e ligação química estudados antes deste tema. A ligação de hidrogênio é apresentada como um tipo de interação dipolar de maior energia que ocorre quando o elemento hidrogênio está localizado entre os átomos mais eletronegativos (flúor, oxigênio e nitrogênio). A água e suas propriedades físicas especiais são certamente o exemplar mais significativo deste tipo de interação, assim como sua importância na estrutura de biomoléculas de polímeros e de sólidos moleculares. Um aspecto importante, não presente neste e no outro mapa (figura 5), é que a ligação de hidrogênio apresenta ângulos de ligação e distâncias interatômicas muito específicas (STEED; ATWOOD, 2009). Tal informação, ao nosso ver central, pode e deve ser acrescentada pelo próprio professor.

Já para moléculas apolares que apresentam interações do tipo forças de London, também chamada de dipolo induzido–dipolo induzido, ou ainda, forças dispersivas, destaca-se o conceito de polarizabilidade que “é a medida da facilidade de distorção da nuvem eletrônica de uma molécula devido a um campo elétrico” (McNAUGHT; WILKINSON, 2012, p. 1143), como aquele fornecido pela presença da carga de um íon ou de um momento de dipolo de uma molécula polar. Este conceito se relaciona, por sua vez, com a massa molar da substância ou massa molecular da molécula especificamente e com o conceito de nuvem eletrônica.

O fenômeno da evaporação, termodinamicamente endotérmico, aparece como elemento de ligação entre os diferentes tipos de interações intermoleculares relacionando a magnitude da entalpia de evaporação com a polaridade molecular. Embora no mapa conceitual elaborado não houvesse uma relação proposicional entre os conceitos evaporação e ponto de ebulição, optamos por destacar esta relação através de uma linha tracejada vermelha, mesmo sem frase de ligação. O fato do conceito central forças de atração, que se conecta com ponto de ebulição e solubilidade dos materiais, estar ligado apenas à interação dipolo-dipolo ocorreu na elaboração deste mapa conceitual como reflexo de que o texto apresenta estes conceitos quando discute especificamente esta interação. O mesmo ocorreu entre ligação de hidrogênio e ponto de ebulição. No entanto, tais relações valem para qualquer tipo de interação intermolecular e, a exemplo do que fizemos, estas relações podem ser destacadas na etapa final de elaboração do mapa conceitual (figura 4, linhas tracejadas vermelhas).

Figura 4 - Mapa conceitual elaborado para o trecho sobre as interações intermoleculares apresentadas no capítulo Líquidos e Sólidos (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010, p.520 – 531)



Fonte: Os autores.

Obs.: Em laranja (escuro e claro, ordem de generalidade) os conceitos considerados mais gerais e estruturantes para o tema. Em verde, os conceitos e relações conceituais que tratam de propriedades e fenômenos gerais, podem servir de elementos de ligação entre os diferentes tipos de interação intermolecular. Em verde claro uma generalização comum a respeito do fenômeno de solubilidade (ver texto). Em azul claro conceitos mais específicos e definidores para cada tipo de interação. Linha pontilhada indica ligações cruzadas.

Por fim, destaca no mapa que as forças de atração determinam o fenômeno da solubilidade ou não dos materiais nos diferentes solventes. O texto KTW utiliza da generalização igual dissolve igual, que resume o fato de que, geralmente, solventes polares são capazes de dissolver substâncias polares enquanto que solventes apolares tendem a dissolver substâncias apolares, cada caso envolvendo suas interações específicas. Tal generalização é largamente divulgada no ensino básico de Química e até mesmo, largamente utilizada por químicos em diversos contextos. No entanto, o uso desta generalização de forma acrítica pode levar a uma compreensão superficial do fenômeno da solubilidade, não considerando, por exemplo, que é preciso levar em conta a natureza e a energia das interações envolvidas não só entre soluto-solvente, mas entre solvente-solvente e soluto-soluto (JUNQUEIRA;

MAXIMIANO, 2019). Pode também induzir que estudantes, até mesmo de nível superior, utilizem tal generalização em situações onde a mesma não funciona. Em nossa experiência, alunos tendem a justificar que clorofórmio e água não se misturam porque sendo a água uma substância polar, conseqüentemente o clorofórmio deve ser apolar, ou apresentar um momento de dipolo muito pequeno, para os alunos que levam em conta a estrutura molecular do clorofórmio<sup>4</sup>. No entanto, o momento de dipolo do clorofórmio é de 1,04 debye e da água é 1,85 debye, ou seja, ambas são substâncias polares e o real motivo é que as interações do tipo ligação de hidrogênio entre as moléculas de água pura são muito fortes, em comparação com as interações dipolo-dipolo e dispersivas entre as moléculas de água e clorofórmio.

No primeiro mapa conceitual obtido a partir do livro de AJ (figura 5), foi definida uma estrutura com seis níveis hierárquicos que podem ser classificados, dos mais gerais aos mais específicos. Vale lembrar que esta hierarquização não é absoluta e pode variar de acordo com o entendimento de quem faz o mapa sobre o conteúdo mapeado. A estrutura do mapa segue a divisão considerando cada tipo de interação, sendo que a maioria das definições está de acordo com o apresentado na figura 4. No entanto, há uma maior densidade de conexões entre os conceitos. Destaca-se para as interações de London a importância do volume molecular e da geometria molecular (forma da molécula) na intensidade da mesma, e a existência de pares de elétrons livres (não ligantes) nas ligações de hidrogênio.

As propriedades moleculares polaridade molecular (moléculas polares e apolares) e polarizabilidade, junto ao conceito de íon vêm em uma hierarquia mais geral funcionando como conceitos de ligação entre certas interações. Em seguida, vêm os conceitos momento de dipolo (permanente, instantâneo e induzido) e par de elétrons livres que definem a distribuição eletrônica em uma molécula. Estes por sua vez, são diferenciados pelos conceitos de cargas parciais e cargas parciais instantâneas, conseqüências da distribuição assimétrica de elétrons nas moléculas, juntamente com eletronegatividade (uma propriedade atômica), nuvem eletrônica e número de elétrons na molécula; os últimos conceitos citados são definidores na magnitude da polarizabilidade. Além dos elementos químicos flúor, oxigênio e nitrogênio, necessários para a ocorrência de ligação de hidrogênio. Por fim, alguns conceitos mais específicos relacionados às propriedades, às aplicações e aos exemplos.

Esta inversão com relação ao mapa que representa o livro KTW não caracteriza um problema na estrutura conceitual do tema, uma vez que a hierarquização pode ser revista em um mapa conceitual. O que se conclui é que nos dois casos é ressaltada a centralidade destes

---

<sup>4</sup> Dados obtidos em entrevistas com estudantes de graduação em Química ainda não publicados.

conceitos, e dos que os definem e diferenciam (cargas parciais permanentes e induzidas e nuvem eletrônica), como fundamentais na estruturação conceitual do tema.

Diferente do mapa da figura 4 não há referências a propriedades termodinâmicas molares como, entalpia de hidratação ou vaporização, que fornecem uma medida macroscópica da força das interações, de forma que os mapas podem ser vistos como de certa forma complementares.

Uma ligação cruzada importante é a que relaciona as forças de London com a polaridade molecular, afirmando que este tipo de interação está presente em todas as moléculas, tanto nas polares quanto nas apolares. No texto, esta afirmação se encontra em uma tabela que relaciona cada tipo de interação com sua energia típica e as espécies químicas que apresentam tal interação. No caso, é afirmado que as dispersões de London ocorrem para todos os tipos de moléculas como pode ser observado no trecho “ela age em todas as moléculas e é a única força que age entre as moléculas apolares” (ATKINS; JONES, 2012, p. 270). Informação repetida no livro, num quadro resumo, três páginas seguintes. No mapa obtido para o livro KTW também aparece uma proposição semelhante (figura 4), moléculas polares também apresentam interações dispersivas de London. Neste texto, esta afirmação aparece apenas no final da abordagem do tema:

As forças de dispersão de London são encontradas em todas as moléculas, tanto polares como apolares, mas as forças de dispersão são as únicas forças intermoleculares que permitem interação entre moléculas apolares. Além do mais, vários tipos de forças intermoleculares podem atuar em um único tipo de molécula. Uma molécula muito grande, por exemplo, pode ter regiões polares e apolares. (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010 p. 531)

A importância destas proposições reside no fato de que na maioria das vezes não é reconhecido pelos alunos que vários tipos de interações intermoleculares podem estar atuando no mesmo sistema (JASIEN, 2008). Há, portanto, uma tendência em acreditar que um tipo de molécula apresenta apenas um tipo de interação específico<sup>5</sup>. Esta concepção possivelmente tem como origem a forma como o tema é exposto em livros didáticos e, provavelmente na maioria das aulas, onde cada tipo de interação é apresentado em um subcapítulo específico, mostrando suas características e seus exemplos típicos. Geralmente segue-se da interação mais forte para a mais fraca, íon-dipolo, dipolo-dipolo, dipolo-dipolo induzido e forças de London, com exceção da ligação de hidrogênio que é discutida na última parte por ser considerada uma interação especial. Esta sequência compartimentalizada e classificatória, bem como os

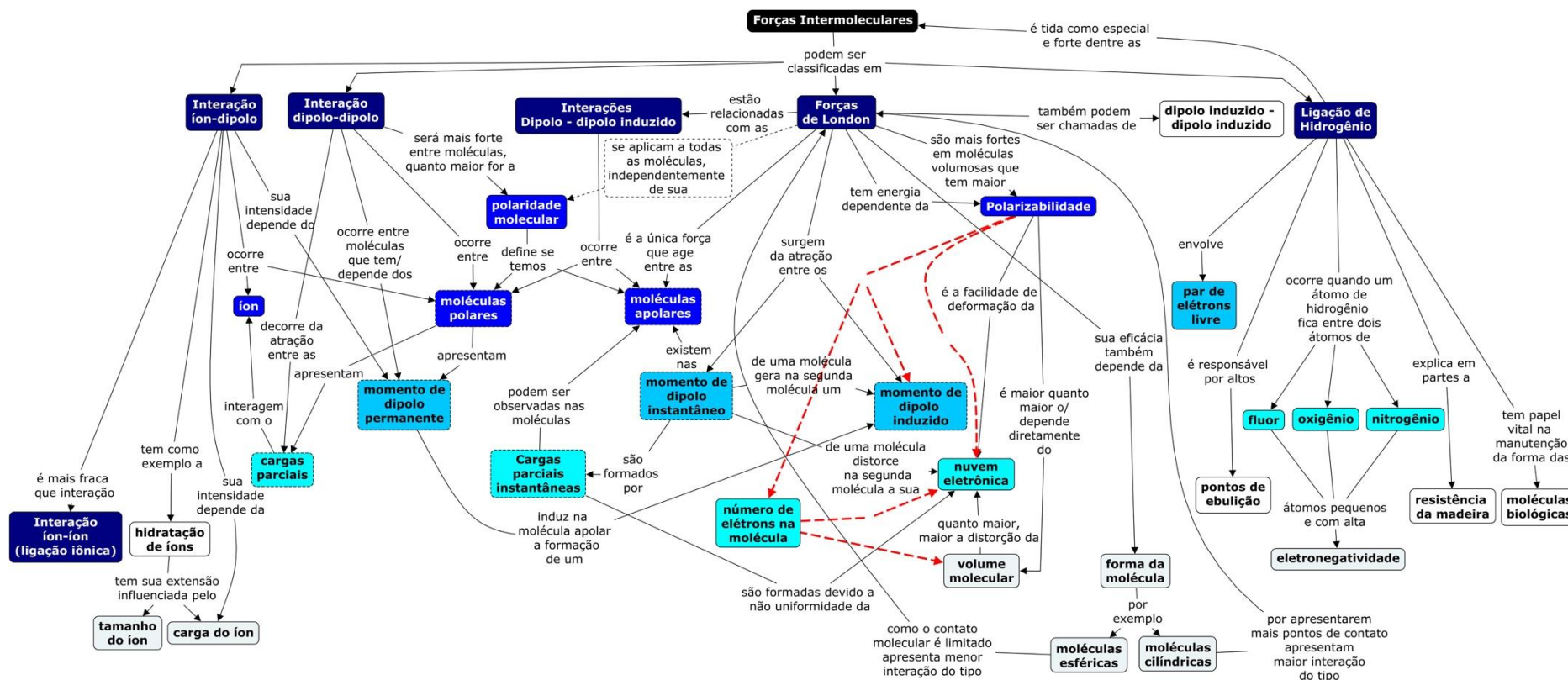
---

<sup>5</sup> Dados obtidos em entrevistas com estudantes de graduação em Química ainda não publicados.

exemplos típicos usados para cada tipo de interação (etanol interage por ligações de hidrogênio; haleto de cloro interage por interação do tipo dipolo-dipolo) podem ser a causa da construção desta concepção conceitual equivocada, onde os estudantes podem desenvolver modelos individualizados para cada tipo de interação intermolecular por acreditar que são completamente diferentes. Assim, o reconhecimento desta proposição e sua presença nos mapas conceituais pode ser útil para que o professor perceba a necessidade de ressaltar este aspecto durante o ensino.

No mapa conceitual representado na figura 6, também obtido a partir do livro AJ, destacam-se as relações proposicionais que relacionam as propriedades atômico-moleculares: carga iônica, momento de dipolo permanente e polarizabilidade com a distância intermolecular, através da relação matemática que determina o valor da energia potencial de interação. Tal energia é diretamente proporcional às propriedades moleculares envolvidas e inversamente proporcional à distância entre as moléculas elevada a uma potência específica para cada tipo de interação; a potência determina se a interação tem um alcance a longas distâncias, no caso da interação íon-dipolo com expoente igual a 2, ou se cai bruscamente com a distância (interação de alcance curto) como nos casos das demais interações, com expoente igual a 6. Observa-se que a forma básica de cada equação é semelhante à equação de energia da interação coulômbica (ver figura 3) onde, além do expoente da distância intermolecular ( $r$ ), muda a propriedade molecular; relacionada à presença de carga elétrica no caso de um íon ou da distribuição de carga na superfície molecular definida pelo momento de dipolo permanente ( $\mu$ ) em moléculas polares, e da polarizabilidade ( $\alpha$ ) no caso de moléculas apolares, também considerada no caso das moléculas polares. A importante observação aqui é que além das propriedades moleculares já citadas (carga iônica, polarizabilidade e momento de dipolo), a própria equação de energia potencial da interação pode ser um conceito unificador e estruturador para uma compreensão mais profunda do tema, pois mostra como estas propriedades atuam nos processos interativos.

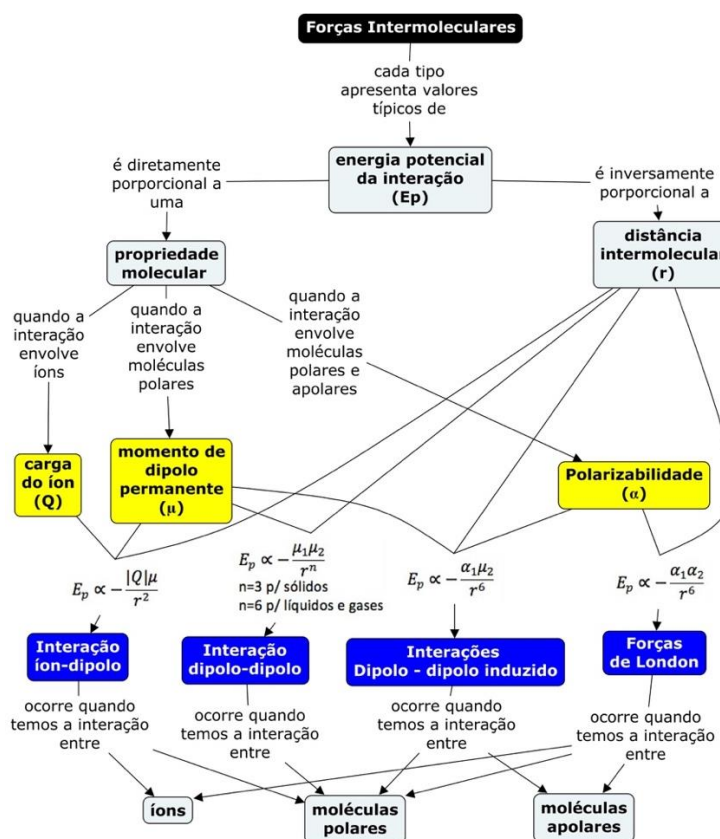
Figura 5 - Mapa conceitual elaborado para o trecho sobre as forças intermoleculares apresentadas no capítulo Líquidos e Sólidos (ATKINS; JONES, 2012, p. 172 – 179)



Fonte: Os autores.

Obs.: Os níveis hierárquicos, aqui considerados em sete níveis distintos de generalização são indicados pelas diferentes tonalidade de cor azul, sendo os mais gerais e inclusive os mais escuros e os menos gerais e específicos os mais claros. O nível mais específico, composto por exemplos, propriedades e aplicações é indicado por conceitos em caixa branca. Caixa pontilhada indica conceitos de ligação e linha pontilhada ligações cruzadas. Linhas vermelhas tracejadas indicam relações não tão explícitas no texto, foram inseridas na revisão final do mapa (aqui sem frases de ligação).

Figura 6 - Mapa conceitual elaborado para o trecho sobre as forças intermoleculares apresentadas no capítulo Líquidos e Sólidos (ATKINS; JONES, 2012, p. 172 – 179)



Fonte: Os autores.

Embora o livro AJ ressalte esta natureza eletrostática em comum a todos os tipos de interação, a estrutura classificatória em si que orienta o estudo do tema, podendo provocar, como já dito, uma concepção compartimentalizada do assunto. Uma vez que cada equação é apresentada em cada tópico, o que pode dificultar a compreensão da natureza aditiva dos diferentes tipos de interações intermoleculares em um mesmo sistema. Para evitar este problema, a energia de interação entre duas moléculas precisa ser vista como um somatório de várias parcelas sendo cada uma correspondente a um tipo de interação (JASIEN, 2008). Para cada caso uma destas parcelas pode ser mais significativa do que outra. Por exemplo, em moléculas polares têm-se genericamente uma parcela devido as interações dipolo-dipolo e outra relativa as forças de dispersão. O livro KTW mostra isto através de um gráfico de barras para várias interações entre moléculas da mesma substância que apresenta o valor energético total da interação (em kJ / mol) e a parcela correspondente a cada tipo de interação (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010, p. 531)

Buscando sintetizar todos os achados nos mapas conceituais representados nas figuras 4 a 6, podemos agrupar os principais conceitos presentes em três categorias: 1) tipos de



interações intermoleculares; 2) propriedades moleculares que definem a natureza e as forças destas interações e 3) exemplos, fenômenos ou propriedades macroscópicas. Para os conceitos da categoria 2 verifica-se a centralidade dos conceitos de polaridade e polarizabilidade. A polaridade de uma molécula é definida pela relação com os conceitos momento de dipolo permanente, distribuição de elétrons na molécula e cargas elétricas parciais. Já polarizabilidade é compreendida pela relação entre os conceitos: momento de dipolo induzido, nuvem eletrônica, momento de dipolo instantâneo, cargas parciais instantâneas, volume molecular, massa molecular, número de elétrons e geometria molecular. A ligação de hidrogênio exige a compreensão de eletronegatividade e a ideia da existência de par de elétrons isolados. Compreender as relações proposicionais entre estes conceitos é fundamental para desenvolver uma completa compreensão do tema. Para isto, certamente faz-se necessário colocar estas relações em contexto com os elementos da categoria 3: o fenômeno da solvatação de íons em meio aquoso com a apresentação dos respectivos valores de entalpia de hidratação; ponto de ebulição e entalpias de vaporização para comparação de diferentes substâncias e sua relação com as interações dominantes; propriedades de sólidos (p. ex. polímeros); estrutura e propriedades da água para compreender a ligação de hidrogênio. Neste resumo estão listados os principais conceitos do tema e apontadas suas principais ligações.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A estratégia aqui apresentada permitiu elaborar mapas conceituais nos quais são evidenciados os principais conceitos relacionados ao tema interações intermoleculares, bem como as relações proposicionais entre os mesmos, de maneira a se obter uma possível estrutura conceitual do tema.

De posse desta estrutura conceitual o professor, construtor deste mapa, pode melhor planejar seu ensino ao selecionar os conceitos mais importantes, ressaltar os conceitos centrais e as ligações cruzadas presentes no mapa que permitem uma compreensão mais integrada do tema, evitando assim a compartimentalização do conteúdo, especialmente indesejada no tema em questão.

Uma vez que um mapa conceitual apresenta o conteúdo como uma rede de relações conceituais, esta estrutura permite ao próprio professor ter um domínio mais integrado deste conhecimento e, conseqüentemente, dispor de uma representação gráfica que o auxilie na abordagem de tais relações em sala de aula. Isto permite romper com uma apresentação do tema muito linear e fragmentada, muitas vezes, típica de um texto escrito ou de uma aula expositiva

organizada por tópicos aparentemente independentes. Podemos assim dizer, que as possíveis utilizações ou estudos através dos mapas conceituais obtidos podem complementar a própria leitura e estudo do texto, tanto por parte dos alunos como por parte do professor.

No caso do tema interações intermoleculares, ficou destacado a centralidade e generalidade das propriedades moleculares que indicam como é, ou pode ser, a distribuição de cargas elétricas numa molécula através de uma densidade eletrônica (distribuição de elétrons), ou seja, os conceitos de polaridade e polarizabilidade. Do ponto de vista da Aprendizagem Significativa (NOVAK, 1998), estes conceitos podem ser vistos como conceitos gerais e inclusivos cuja compreensão depende da relação com outros conceitos dos mapas. Tais conceitos também podem servir como elementos de integração dos diferentes tipos de interações intermoleculares.

Tendo em vista a centralidade dos conceitos polaridade e polarizabilidade, como implicações didáticas provenientes deste trabalho, pode-se sugerir que o professor planeje uma atividade didática na qual se inicie os estudos com o aprendizado destes dois conceitos, antes de apresentar as particularidades e exemplos típicos de cada tipo de interação. Na medida em que, durante o ensino, estes conceitos vão sendo diferenciados ao se apresentar os conceitos mais específicos que os definem como, momento de dipolo, cargas parciais, nuvem eletrônica, volume molecular, os alunos vão assimilando e ampliando o significado destes conceitos e do próprio conceito de estrutura molecular. Segue-se então, a apresentação dos tipos de interação em contextos específicos. Outra opção seria, após o estudo de cada interação, utilizar os conceitos de polaridade e polarizabilidade como conceitos integradores. Qualquer que seja a escolha do planejamento, ir e voltar entre estes conceitos de forma recursiva permite promover um aprendizado mais integrado, coeso e significativo, mostrando como a natureza molecular determina o tipo e a força da interação intermolecular e que, a depender do sistema de partículas que interagem, vários tipos de interações intermoleculares podem estar atuando no mesmo (JASIEN, 2008).

Ficou evidente também que o conceito de energia potencial de interação, expresso pelas equações matemáticas que o define para cada tipo de interação, pode ser muito útil na compreensão da natureza eletrostática das mesmas, de suas intensidades relativas e da compreensão do alcance destas interações com relação às distâncias entre as moléculas.

De posse do mapa o professor também pode elaborar questões ou atividades que levem ao estabelecimento das relações conceituais relevantes como, por exemplo, comparar as intensidades das interações ou as diferenças entre pontos de ebulição entre moléculas que se diferenciem na forma ou volume molecular.

Além do planejamento qualquer um dos mapas conceituais elaborados pode ser utilizado como recurso didático pelos alunos. Os alunos podem usar um mapa conceitual como um guia de estudos do texto didático. Neste sentido o professor pode entregar o mapa completo e pedir para os alunos localizarem as relações proposicionais no texto. Pode entregar o mapa retirando as frases de ligação ou conceitos integradores, pedindo para que os alunos preencham a estrutura. Pode também colocar os conceitos mais gerais e pedir para que, durante a leitura do texto, os alunos completem o mapa de forma livre ou a partir de uma lista de conceitos previamente fornecida pelo professor. Estas atividades podem ser utilizadas tanto como um estudo individual ou como uma atividade realizada em pequenos grupos. Os diferentes mapas construídos podem ser comparados, discutidos e refeitos, ou seja, podem ser utilizados como instrumento de negociação de significados entre os alunos e destes com o professor, de forma a se compartilhar uma estrutura conceitual comum entre os autores do processo de aprendizado que esteja em acordo com o conhecimento científico estabelecido e presente no livro didático.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J. G; CORREIA, P. R. M. Como fazer bons mapas conceituais? Estabelecendo parâmetros de referências e propondo atividades de treinamento. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, p. 141-157, 2013.
- ATKINS, P.W.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- CAÑAS, A. J. *et al.* CmapTools: A Knowledge Modeling and Sharing Environment. In: International Conference on Concept Mapping, 1, 2004, Pamplona, Spain. **Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping: Concept Maps: Theory, Methodology, Technology**, Editorial Universidad Pública de Navarra, Pamplona, 2004.
- FERNANDEZ, C.; MARCONDES, M. E. R. Concepções dos estudantes sobre ligação química. **Química Nova na Escola**, n. 24, p. 20-24, 2006.
- JASIEN, P.G. Helping Students Assess the Relative Importance of Different Intermolecular Interactions. **Journal of Chemical Education**, v. 85 n. 9, p. 1222-1225, 2008.
- JUNQUEIRA, M. M. **Transformando textos em mapas cognitivos: desenvolvimento e um exemplo de aplicação**. 2013. 165p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – modalidade química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- JUNQUEIRA, M. M.; MAXIMIANO, F. A. Interações Intermoleculares e o Fenômeno da Solubilidade: Explicações de Graduandos em Química, **Química Nova**, 2019. No prelo. (DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170449>)

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

LOPES, A.R.C. A concepção de fenômeno no Ensino de Química brasileiro através dos livros didáticos. **Química Nova**, v. 17, n. 4, p. 334-338, 1994.

McNAUGHT, A. D.; WILKINSON, A. (orgs) **Compendium of Chemical Terminology** - IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), Golden Book, 2012.

MOREIRA, M.A. Por qué conceptos? Por qué aprendizaje significativo? Por qué actividades colaborativas? Por qué mapas conceptuales? **Qurriculum**, v.23, p. 9-23, 2010.

NOVAK, J. D. **Learning, creating and using Knowledge**: concepts maps as facilitative tools in schools and corporations. Londres: Lawrence Erlbaum Associates Mahwah, 1998.

OKADA, A. **Cartografia Investigativa** – Interfaces epistemológicas comunicacionais para mapear conhecimento em projetos de pesquisa. 2006. 315p. Tese (Doutorado em Educação: Currículo), Pontifícia Universidade Católica, São Paulo. Abril, 2006.

OKADA, A.; BUCKINGHAM SHUM, S.; SHERBORNE, T. **Knowledge Cartography: software tools and mapping techniques**. Londres: Springer. 2008.

SCHMIDT, HJ.; KAUFMANN, B.; TREAGUST, D.F. Students' understanding of boiling points and intermolecular forces. **Chemistry Education Research and Practice**, v.10, p.265-272, 2009.

SHAVELSON, R. J.; RUIZ-PRIMO, M. A.; WILEY, E. W. Windows into the mind. **Higher Education**, v. 49, p. 413-430, 2005.

SILVA, P. A. **Mapas e redes conceituais: uma proposta metodológica para a sua construção a partir de textos**. 2012. 136p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – modalidade química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

STEED, J. W.; ATWOOD, J. L, **Supramolecular Chemistry**, New Jersey: John Willey & Sons, 2009.

TABER, K. S., Development of student understanding: A case study of stability and lability in cognitive structure. **Research in Science and Technological Education**, 13, p. 87–97, 1995.

TAVARES, R. Construindo mapas conceituais. **Ciência e Cognição**, v. 22, p. 72-85, 2007.

Recebido em 23/05/2019; Aceito após revisão em 20/05/2020.