

Concepções de graduandos em química sobre as interações intermoleculares envolvidas no fenômeno da solubilidade.

Marianna Meirelles Junqueira* (PG), Flavio Antonio Maximiano (PQ).

Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências - Universidade de São Paulo - Instituto de Química - Departamento de Química Fundamental. mariannamjunqueira@usp.br

Palavras-Chave: interações intermoleculares, solubilidade, ensino superior.

RESUMO: Relatamos um estudo que investigou o uso do tema interações intermoleculares por futuros químicos ao explicarem situações envolvendo o fenômeno da solubilidade. Para tanto, as aulas de um curso de Química Geral I foram acompanhadas e dois testes foram aplicados solicitando explicações para a solubilidade de gases apolares em água e em perfluorocarbonos. A análise dos dados demonstrou que a maioria dos estudantes consegue identificar corretamente as interações intermoleculares (dipolo – dipolo induzido ou forças dispersivas de London) envolvidas no fenômeno, porém as justificativas indicam uso extensivo da regra semelhante dissolve semelhante em detrimento a uma compreensão em nível submicroscópico. Alguns estudantes sugerem, equivocadamente em suas respostas, a ocorrência de ligações de hidrogênio nos sistemas analisados devido à presença de átomos de flúor, oxigênio, nitrogênio ou hidrogênio e poucos usam a propriedade molecular, polarizabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O tema interações intermoleculares pode ser considerado como um dos conceitos estruturais da química por permitir a explicação e entendimento da natureza da matéria, suas transformações e propriedades, objeto que define a própria ciência Química (PEREIRA, 2010). O conhecimento de como se dão as interações intermoleculares auxilia na compreensão de diversos fenômenos, pois explicam propriedades como solubilidade, volatilidade, ponto de fusão e ponto de ebulição, entre outras. Por consequência, o tema é transversal no currículo de um curso de química e é fundamental na formação do químico, seja para a atuação como docente na educação básica ou superior, em indústrias ou pesquisas acadêmicas.

Em um curso de graduação em química, pode-se afirmar que este tema permeia todo o currículo, sendo abordado de maneira explícita já nas primeiras disciplinas (Química Geral ou Fundamentos da Química). Nesta primeira abordagem, os alunos normalmente são apresentados a uma noção geral sobre quais são os principais tipos de interações intermoleculares, contudo o conteúdo é exposto na maioria das vezes com ênfase na classificação dos diferentes tipos de interações (REIS, 2008). Rodrigues, da Silva e Quadros (2011) indicam que nas disciplinas de química orgânica o conteúdo parece estar muito presente nas aulas, tendo, tal tema, sido apontado por professores universitários desta área como um dos conceitos básicos desta disciplina, porém, há uma carência de estudos que discutam como o tema é ensinado no ensino superior, mais especificamente, como o conteúdo está inserido nas demais disciplinas do currículo e como o estudo do tema nestas disciplinas ocorre para ampliar a compreensão e o aprendizado dos futuros químicos.

Nesse cenário, este estudo faz parte de um projeto maior que objetiva investigar o tema interações intermoleculares no ensino superior, em especial sua abordagem na disciplina de Química Geral I e nos materiais didáticos comumente utilizados neste curso justamente por se tratar de uma disciplina de grande importância na formação acadêmica dos estudantes e a primeira em que o tema é abordado explicitamente. Neste trabalho foi feito um recorte envolvendo o fenômeno da solubilidade com o objetivo de levantar algumas concepções de graduandos em química e como esses estudantes se apropriam das interações intermoleculares para explicar este fenômeno.

2. O FENÔMENO DA SOLUBILIDADE

A solubilidade é uma propriedade na qual ocorre a interação entre um soluto e um solvente, ou seja, entre uma substância que é desejado solubilizar e uma que a dissolve. Quantitativamente pode ser definida como a quantidade de soluto que pode ser dissolvido em uma determinada quantidade de solvente, em condições de equilíbrio (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). Qualitativamente esse fenômeno pode ser explicado em nível submicroscópico considerando as intensidades relativas de interações atrativas entre as partículas de soluto e solvente. Inicialmente devem-se levar em conta as interações atrativas entre as partículas do próprio soluto e interações atrativas entre as partículas do próprio solvente que, durante o processo de dissolução, vão se romper e dar lugar a interações entre moléculas do soluto e do solvente. Além da determinação dos tipos de interações é necessário fazer um balanço do gasto energético para determinar se o processo é favorecido de maneira em que o ganho energético obtido nas interações soluto solvente devem sobrepor ao consumo necessário para romper as interações soluto-soluto e solvente-solvente (MARTINS; LOPES; ANDRADE, 2013). Para isto, o conhecimento dos tipos de interação intermoleculares envolvidos, bem como o valor energético relativo das mesmas, permite fazer previsões ou explicar diferenças de solubilidade de maneira qualitativa.¹

3. METODOLOGIA

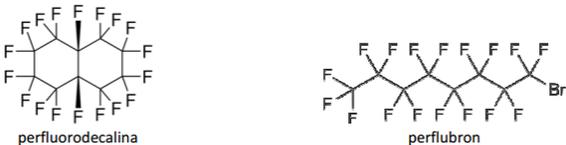
Os dados foram coletados na disciplina de Química Geral I, oferecida aos alunos ingressantes do curso de química integral do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. O programa da disciplina contemplou noções sobre a origem dos elementos, modelos atômicos, partículas atômicas fundamentais, estequiometria, estrutura eletrônica: átomo de Bohr e ondas eletromagnéticas, princípios da mecânica quântica e orbitais, ligação covalente: estruturas de Lewis, teoria da ligação de valência e teoria dos orbitais moleculares, geometrias moleculares e a teoria VSPER, princípios da estrutura do estado sólido, teorias de bandas, estrutura molecular e interações intermoleculares, ligação iônica e terminou com os compostos de coordenação. O tema interações intermoleculares foi abordado durante quatro aulas de duração aproximada de 1h40min, as quais foram gravadas em vídeo e transcritas na íntegra. O fenômeno da solubilidade foi usado como exemplo nas duas primeiras aulas ao longo das explicações das interações: ligação de hidrogênio (sistema: metanol e água), dipolo permanente-dipolo induzido (sistema: oxigênio e água) e íon-dipolo (sistema: cloreto de sódio e água).

A coleta de dados aconteceu com a aplicação de dois questionários em momentos distintos: após dez dias da abordagem do conteúdo interações intermoleculares e no fim do semestre letivo durante a avaliação final. Explicações sobre o fenômeno da solubilidade foram requisitadas em dois testes apresentados no quadro 1, contando com a participação respectivamente de, 45 e 53 estudantes, que tiveram sua identidade preservada. O primeiro teste foi elaborado pelo grupo de pesquisa, sem intervenção do docente, e objetivava verificar se os alunos usavam e como empregavam as interações para explicar a solubilidade do gás oxigênio em água e em seguida, representar o fenômeno através de desenhos; a representação é

¹ Outros encaminhamentos podem ser dados às explicações como através de um viés termodinâmico, levando em conta noções de entalpia e entropia do sistema. Porém, aqui há um enfoque no nível qualitativo, pois este permite uma explicação do fenômeno em si utilizando simplesmente os conceitos relativos ao tema em questão.

entendida como uma maneira de elaborar um modelo a fim de deixar visível a compreensão no nível submicroscópico.

Quadro 1. Questões aplicadas na disciplina de Química Geral I.

Momento de aplicação	Questão
Questão apresentada após a instrução. TESTE 1	O O ₂ é uma substância apolar. Em contrapartida sabemos que a água é uma substância polar. Diante deste fato como podemos explicar a solubilidade do gás oxigênio em água? Faça um desenho que represente microscopicamente esse fenômeno.
Questão apresentada na avaliação final. TESTE 2	Perfluorocarbonos como a perfluorodecalina e perflubron tem a capacidade de dissolver grandes quantidades de O ₂ (40-50 mL/100mL) e CO ₂ (250mL/100mL) comparativamente à água (O ₂ : 2,5mL/100mL; CO ₂ : 80mL/100mL) nas mesmas condições de pressão e temperatura. Devido à solubilidade destes gases nos perfluorocarbonos e graças à sua estabilidade estes compostos são modelos do desenvolvimento do “sangue artificial” Explique porque O ₂ e CO ₂ dissolvem em água e porque a solubilidade é maior nos perfluorocarbonos. 

Explicações sobre a solubilidade do gás oxigênio em água foram solicitadas por se tratar de um importante fenômeno para a manutenção da vida aquática; fato que ocorre em nível submicroscópico devido à formação de um dipolo induzido. As moléculas de gás oxigênio ao se aproximarem das moléculas de água instantaneamente tem a formação de momentos de dipolo induzidos em suas moléculas, permitindo a solubilidade. Mas, esse fenômeno ocorre em uma pequena extensão, o que causa a baixa solubilidade. Para o oxigênio verifica-se a 1 atm e 25°C uma solubilidade de 8,11 mg/L (FIORUCCI; FILHO, 2005).

No segundo teste, elaborado pelo docente da disciplina de maneira independente, foi solicitado novamente aos estudantes explicações para a solubilidade do gás oxigênio em água, acrescido de um questionamento sobre a solubilidade nos perfluorocarbonos.

De posse das respostas dos estudantes, essas foram digitalizadas, lidas e categorizadas seguindo o esquema proposto por Bardin (2009) para a análise de conteúdo. Os dados obtidos foram analisados à luz das transcrições das aulas e dos livros didáticos sugeridos no curso. A similaridade dos testes possibilitou comparações entre as respostas registradas em momentos distintos da instrução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESPOSTAS DISCURSIVAS: SOLUBILIDADE DO GÁS OXIGÊNIO EM ÁGUA

As explicações dos alunos apresentadas nos testes 1 e 2 foram categorizadas considerando o tipo de interação estimado para o fenômeno e sistematizadas no quadro 2. Dos 45 estudantes que responderam o teste 1 nota-se que dez (23%) deixaram suas respostas em branco sugerindo a existência de dificuldades para explicar. Por outro lado, o número de respostas em branco foi reduzido no teste 2 provavelmente por estar inserido em uma avaliação que integrava a média do curso.

Quadro 2. Categorias para o fenômeno de dissolução de gás oxigênio em água.

Categorias		Número de alunos	
		Teste 1	Teste 2
O ₂ e H ₂ O interagem através da interação do tipo dipolo – dipolo induzido.		25 (56%)	41 (77%)
Equívocos	O ₂ e H ₂ O interagem através de ligação de hidrogênio.	05 (11%)	08 (15%)
	Considera que O ₂ já apresenta dipolos induzidos (como no caso do O ₂ líquido) que irão interagir com o dipolo da H ₂ O.	01 (2%)	01 (2%)
	A molécula de O ₂ sofre ionização permitindo a solubilidade em água.	02 (4%)	--
	O ₂ ocupa espaços entre as moléculas de água permitindo a solubilidade.	01 (2%)	--
	O ₂ e H ₂ O interagem através de dipolo induzido – dipolo induzido.	01 (2%)	--
	Ocorre uma reação química entre O ₂ e H ₂ O.	--	01 (2%)
Em branco		10 (23%)	02 (4%)

Tanto no teste 1 como no teste 2 a maioria dos estudantes explicaram o fenômeno considerando a existência de interações dipolo – dipolo induzido, sendo que há um aumento de 56% para 77% de respostas deste tipo entre os dois testes. Dentro destas respostas há algumas que simplesmente citam o tipo da interação em si como justificativa para a solubilidade (1 aluno no teste 1 e 6 alunos no teste 2).

“Os gases se dissolvem em água devido a interações dipolo – dipolo induzido das moléculas de água com as dos gases (O₂, CO₂).” (A38 – teste 2)

Grande parte dos alunos (17 alunos no teste 1 e 14 alunos no teste 2) justificam a dissolução seguindo o raciocínio: a água é polar, os gases são apolares, para que ocorra o dissolução dos gases em água esta deve induzir “uma polaridade” nas moléculas dos gases. Nestas respostas, percebe-se uma ênfase na polaridade da água. Não foi citado o conceito de polarizabilidade (ou distorção da nuvem eletrônica) das moléculas de soluto.

“A polaridade da água “induz” um polo na molécula de oxigênio, essa polarização momentânea faz com que o gás oxigênio possa ser solubilizado em água.” (A6 – teste 1)

“O₂ e CO₂ dissolvem-se em água pois, mesmo sendo apolares, a H₂O (que é polar) induz nessas moléculas um dipolo instantâneo, tornando-se um pouco polares para dissolução, pois semelhante dissolve semelhante.” (A48 – teste 2)

Por outro lado, alguns estudantes (6 no teste 1 e 14 no teste 2) apresentam a noção de deformação da nuvem eletrônica em suas respostas. Especificamente, o termo polarizabilidade foi usado em apenas cinco respostas no teste 2.

“Devido ao dipolo instantâneo/ induzido a nuvem eletrônica do O₂ se distorce e ele se torna um pouco solúvel em água.” (A10 – teste 1)

“Pelo O₂ e o CO₂ serem gases apolares, não seria esperado que fossem solúveis em água, porém a água, por apresentar grande momento de dipolo, pode influenciar moléculas apolares a adquirirem um momento de dipolo instantâneo, devido a alteração causada na nuvem eletrônica da substância apolar. A magnitude dessa alteração depende do momento de dipolo da molécula polar e da polarizabilidade da substância apolar.” (A37 – teste 2)

Outra justificativa expressa pelos estudantes refere-se à indicação que o fenômeno da solubilidade não depende exclusivamente das interações soluto – solvente, mas também das interações entre solvente-solvente e soluto-soluto como pode ser visto nas respostas dos alunos A30 e A41; o último aluno mencionado comete um equívoco ao indicar a existência de pontes de hidrogênio nos gases, além de dipolo-dipolo induzido. Este tipo de justificativa apareceu apenas em sete respostas do teste 2.

“A água é uma molécula com grande momento de dipolo e possui interações do tipo ligação de hidrogênio, portanto possui pequena afinidade por substâncias que possuem interações dipolo – induzido (CO_2 e O_2) tornando pequena a solubilidade dessas em água.” (A30 – teste 2)

“O O_2 e o CO_2 dissolvem em água, pois formam ligações dipolo-dipolo induzido e algumas pontes de hidrogênio devido a existência de átomos de oxigênio em suas composições. Porém pouco dessas substâncias dissolvem-se em água, pois as ligações intermoleculares entre moléculas de água são mais fortes e energeticamente mais favoráveis que as entre a água e uma das outras substâncias.” (A41 – teste 2)

Dentre as respostas incorretas (quadro 2) percebe-se que também foram encontradas explicações considerando a ocorrência de ligações de hidrogênio entre o gás oxigênio e a água. Comparativamente, no teste 1, cinco explicações consideraram as ligações de hidrogênio frente a oito respostas no teste 2; apenas um estudante manteve esse tipo de interação nos dois momentos, os demais assumiram a ação das interações dipolo – dipolo induzido. A indicação equivocada das ligações de hidrogênio foi feita por outros cinco estudantes que haviam deixado o teste 1 em branco e dois estudantes que não participaram do momento de aplicação do questionário citado.

“É possível solubilizar o gás oxigênio em água por causa da ligação de hidrogênio que ocorre entre H_2O (l) e O_2 (g).” (A13 – teste 1)

“Com a formação das pontes de hidrogênio, o O_2 se solvata entre as moléculas de H_2O .” (A25 – teste 1)

Podemos levantar aqui a hipótese de que o ensino do tema interações intermoleculares que enfatiza um sistema classificatório dos diferentes tipos de interações pode levar os estudantes a fixarem a ideia de que sempre que as interações envolverem átomos de hidrogênio e, oxigênio, flúor e nitrogênio vão ocorrer ligações de hidrogênio. Além da exemplificação contínua da água nesse tipo de interação permitindo a ideia de que moléculas de água sempre vão interagir por meio de ligações de hidrogênio independentemente da natureza das outras espécies envolvidas. Smith e Nakhleh (2011) perceberam que os alunos do ensino superior tem uma tendência em identificar os tipos de interações intermoleculares devido à presença de elementos químicos específicos estando de acordo com as ideias apresentadas pelos estudantes. Esse tipo de identificação poderia ser evitado ao se relacionar as interações intermoleculares com a estrutura molecular e as propriedades moleculares tais como polaridade e polarizabilidade e não apenas a elementos químicos específicos.

Ainda observando o quadro 2 nota-se a existência de explicações sobre a indução de momentos de dipolo entre as moléculas de O_2 que depois interagem com as moléculas de água. É uma ideia de que o processo ocorre por etapas, inicialmente os dipolos são induzidos entre as moléculas de oxigênio e só numa fase posterior as moléculas de oxigênio entram em contato com as moléculas de água.

“O O_2 e CO_2 dissolvem em H_2O pois possuem dipolo induzido que interagem com o dipolo da água” (A26 – teste 2)

Dois alunos responderam que ocorre uma quebra das moléculas de oxigênio para a formação de íons permitindo a solubilidade. Neste caso, é nítida uma transferência direta do conceito de dissociação iônica (solubilidade de compostos iônicos) para o caso em questão. A ocorrência da ionização ou dissociação foi tratado como fenômeno decorrente da solubilização, ou seja, para que haja dissolução é necessário a ionização ou dissociação como já foi verificado no estudo de Souza e Cardoso (2009) realizado com pós-graduandos em química.

Ainda na categoria equívocos uma resposta considerou a solubilidade devido a existência de interações dispersivas de London entre a água e o gás oxigênio. Em

outra resposta não foram apresentados argumentos envolvendo as interações, mas que o oxigênio ocupa espaços entre as moléculas de água. Explicações envolvendo a ocupação de espaços estão presentes em respostas que não conseguem compreender que há interações entre soluto e solvente; e o solvente, no caso a água, não participa diretamente do processo de solubilização (ECHEVERRIA, 1996). Concepção apresentada por alguns estudantes do ensino médio que tem dificuldade em perceber as interações entre soluto e solvente, embora deixem explícito que o processo ocorre entre as duas substâncias (ECHEVERRIA, 1996).

Por fim, um aluno que não participou da aplicação do teste 1 citou que a solubilidade é devido a ocorrência de uma reação química, mas não explicitou qual o tipo de reação.

4.2. AS REPRESENTAÇÕES DAS INTERAÇÕES ENTRE GÁS OXIGÊNIO E ÁGUA EXPESSAS NOS DESENHOS DOS ALUNOS

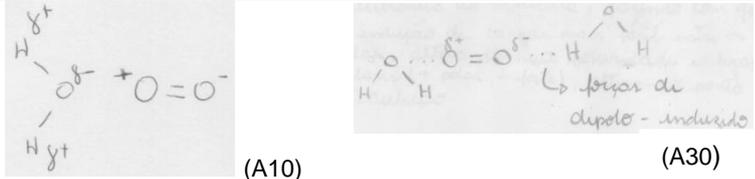
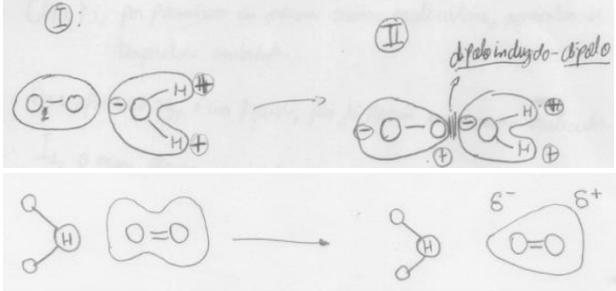
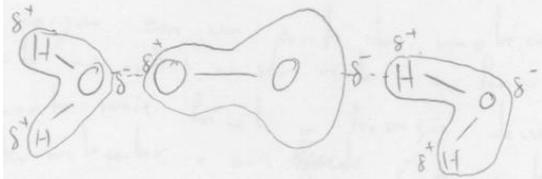
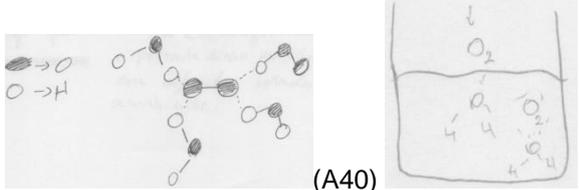
Considerando as respostas dissertativas e as representações gráficas apresentadas no teste 1, 22 dos estudantes, ou seja, 49% dos investigados identificaram adequadamente a interação dipolo – dipolo induzido e representaram-na corretamente. Por outro lado, três estudantes conseguiram se expressar na forma escrita de maneira correta, porém ao representar graficamente tiveram dificuldades; inclusive um desses estudantes não elaborou nenhuma representação. Outros dez estudantes identificaram e representaram incorretamente o tipo de interação. A questão foi deixada totalmente em branco por dez estudantes.

Na análise exclusiva das representações foram criadas subcategorias para os tipos de interação realçando algumas particularidades dos desenhos apresentados. No quadro 3 tem-se exemplos de desenhos para as interações dipolo – dipolo induzido. E no quadro 4 são expostos exemplos da categoria equívocos que relataram interações do tipo ligações de hidrogênio, interações entre moléculas de oxigênio, ionização do oxigênio e forças dispersivas de London.

A grande maioria das representações só mostrou o sistema final não considerando as interações existentes entre soluto-soluto e solvente-solvente. Ao se referirem a existência de interações intermoleculares foram usados traços pontilhados independentemente do tipo de interação ou as moléculas foram desenhadas próximas. Chama a atenção que o uso de traços pontilhados normalmente só é feito para as ligações de hidrogênio devido à proximidade com as ligações químicas e ao fato destas interações serem direcionais, porém estes aspectos não foram tratados durante a disciplina e não são contemplados nos livros didáticos sugeridos no curso. Nos materiais didáticos a existência das interações comumente são sinalizadas através da proximidade entre as moléculas, com exceção da ligação de hidrogênio, porém a compreensão e diferenciação das representações deve ser feita pelo aluno, não são feitas menções ao longo do texto. No estudo de Galagovsky, Di Giacomo e Verónica Castelo (2009) também foi verificado em livros didáticos do ensino superior e em representações gráficas de docentes o uso da aproximação entre as moléculas para designar a ação de interações.

De maneira geral, as representações submicroscópicas do fenômeno feitas pelos alunos e agrupadas no quadro 3 não apresentaram erros estruturais ou conceituais significativos (exceção apenas para dois alunos - categoria D).

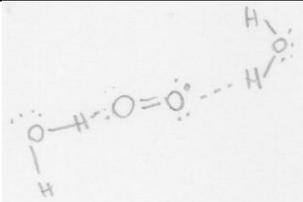
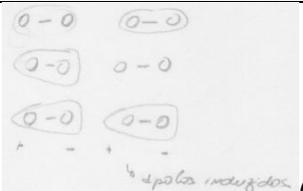
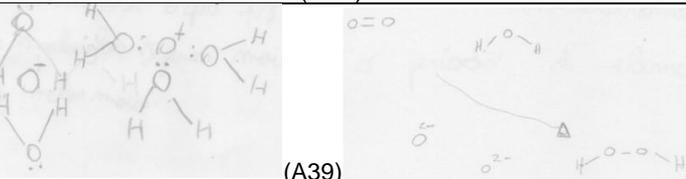
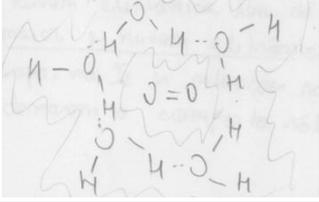
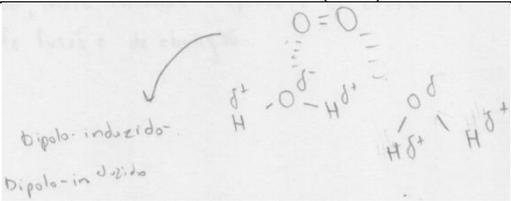
Quadro 3. Representações feitas pelos alunos que na resposta dissertativa citaram as interações do tipo dipolo – dipolo induzido.

Subcategorias - interações dipolo – dipolo induzido	Exemplos dos desenhos	Nº de alunos
A) Representação para formação do momento de dipolo-induzido em uma molécula de oxigênio interagindo com uma ou mais moléculas de água.	 <p>(A10) (A30)</p>	11
B) Representação de um processo para a deformação da nuvem eletrônica em uma molécula de oxigênio interagindo com uma molécula de água. (Representa o processo de indução do dipolo)	 <p>(A22) (A20)</p>	07
C) Representação da nuvem eletrônica do oxigênio deformada interagindo com uma ou duas moléculas de água. (Representa apenas o estado final: dipolo – induzido)	 <p>(A41)</p>	04
D) Outros	 <p>(A40) (A48)</p>	02

Na categoria A foram classificados os desenhos que destacaram os momentos de dipolo da água e os momentos de dipolo induzidos das moléculas de oxigênio. Entretanto, sete estudantes mostraram apenas a interação entre duas moléculas enquanto outros quatro estudantes desenharam interações entre três ou mais moléculas. Alguns alunos como A10 ainda não dominam o uso correto dos sinais δ^+ (polo elétrico) e + (carga elétrica), usando-os para o mesmo fim. Onze estudantes (categorias B e C) adicionaram em seus desenhos representações para as nuvens eletrônicas, o que denota a consideração de uma importante propriedade molecular envolvida, a polarizabilidade. Destes, sete estudantes (categoria B) ressaltaram em sua representação o processo em si, destacando a indução do dipolo na molécula de O_2 , enquanto quatro alunos (categoria C) representaram a molécula de O_2 com a nuvem eletrônica já deformada e interagindo com moléculas de água, enfatizando assim, o estado final do sistema. O aluno A20 desenhou a molécula de água errada, mas representou o processo de distorção da nuvem eletrônica do oxigênio. Na categoria D (outros), ao observar o desenho do aluno A40 pode-se imaginar uma possível interação do tipo ligação de hidrogênio, porém na resposta dissertativa foi indicado a ocorrência de interações dipolo-dipolo induzido (“As moléculas de água solvatam o O_2 criando uma interação do tipo dipolo induzido”). Comparando esta resposta com o desenho feito, podemos inferir que o modelo de solvatação exposto pelo aluno, onde são os

átomos de H da molécula de água que interagem com a molécula de O_2 , é uma transposição direta da solvatação iônica em água (interação íon-dipolo e não dipolo – dipolo induzido). O aluno A48 misturou os níveis macroscópico e submicroscópico e não foi capaz de representar de maneira clara o tipo de interação envolvido.

Quadro 4. Representações feitas pelos alunos que na resposta dissertativa não citaram as interações do tipo dipolo – dipolo induzido.

Subcategorias - equívocos	Exemplos considerando outros tipos de interação – categoria equívocos	Nº de alunos
F) Representações para as interações do tipo ligação de hidrogênio.	 (A44)	03
G) Representação para as interações entre moléculas de oxigênio.	 (A26)	01
H) Representações para a ionização das moléculas de oxigênio ou reação química.	 (A39) (A46)	03
I) Representação para as moléculas de oxigênio ocupando espaços entre as moléculas de água.	 (A47)	02
J) Representação para as interações do tipo dipolo induzido – dipolo induzido	 (A52)	01

No quadro 4 são mostradas as representações equivocadas apresentadas por dez alunos. Na categoria F são exibidos os desenhos que consideram as interações do tipo ligação de hidrogênio; três estudantes representaram interações entre oxigênio e hidrogênio. Ao comparar o número de respostas dissertativas categorizadas como ligação de hidrogênio (05) no teste 1 ao número de representações gráficas (03) percebe-se a ausência de duas representações. Este fato aconteceu porque o estudante A13 embora tenha respondido ligação de hidrogênio fez um desenho mostrando apenas um átomo de oxigênio solvatado por moléculas de água estando inserido na categoria H – ionização da molécula de oxigênio. O estudante A25 também se referiu a existência de ligações de hidrogênio, porém o seu desenho exibiu moléculas de gás oxigênio ocupando espaços entre as moléculas de água passando a integrar a categoria I. Um aluno desenhou apenas o processo de indução de momentos

de dipolo entre as moléculas de gás oxigênio, não mostrando a interação deste com a água (categoria G). Na categoria H as duas representações indicam ionização das moléculas de oxigênio, porém destaca-se que o aluno A46 mostrou que após a ionização ocorre a formação de uma nova substância (“O O_2 se ioniza na água, gerando compostos polares”). Na categoria I são expostos os desenhos que inseriram as moléculas de oxigênio em espaços entre as moléculas de água. E por fim, na categoria J a interação acontece por dipolos induzidos. Um átomo de oxigênio está interagindo com o oxigênio da água e o outro átomo de oxigênio interage com o hidrogênio da mesma molécula de água e não entre diferentes moléculas, ou seja, o aluno representa a interação apenas entre um par de moléculas.

4.3. RESPOSTAS DISCURSIVAS: SOLUBILIDADE DO GÁS OXIGÊNIO E DIÓXIDO DE CARBONO EM PERFLUOROCARBONOS

As respostas dos estudantes foram agrupadas em quatro categorias principais, sendo elas: I) a solubilidade do O_2 e CO_2 é maior em perfluorocarbonos do que em água porque estes gases e os perfluorocarbonos são substâncias apolares (19 estudantes/ 36%); II) a solubilidade é maior devido as interações dispersivas de London entre os gases e perfluorocarbonos (14 estudantes / 26%); III) ocorrem interações dipolo-dipolo induzido entre os gases e perfluorocarbonos (12 estudantes / 23%); IV) Outros – referem-se a sete respostas (13%) que apresentaram ideias distintas entre si. Uma resposta foi deixada em branco.

Na categoria referente à dissolução de substâncias apolares, 19 estudantes justificaram a solubilidade enfatizando a regra semelhante dissolve semelhante ou a maior afinidade dos perfluorocarbonos.

“O O_2 e o CO_2 possui uma maior solubilidade nos perfluorocarbonos, pois ambos são apolares (igual dissolve igual) ou menos polares que a água.” (A6 – teste 2)

“Os perfluorocarbonos são substâncias apolares, devido a isso apresentam uma maior afinidade pelo O_2 e CO_2 do que a água, assim se conclui que os gases mencionados apresentam uma solubilidade maior nos perfluorocarbonos do que na água.” (A37 – teste 2)

Contudo, predizer que a solubilidade é determinada pela polaridade ou afinidade² entre as substâncias não indica nenhuma compreensão do fenômeno em nível submicroscópico, como esperado para alunos de um curso de química.

Com relação específica as interações intermoleculares 14 estudantes citaram a presença de interações dispersivas de London favorecendo a solubilidade, porém novamente não foram encontradas justificativas que remetem a uma compreensão a nível submicroscópico do fenômeno. De modo geral, acredita-se que a ideia ‘semelhante dissolve semelhante’ continua presente, só que ao invés de se referir a substâncias de mesma polaridade indicam o mesmo tipo de interação intermolecular. Trata-se de um algoritmo memorizado pelos estudantes que não requer uma profunda compreensão conceitual.

“A solubilidade do O_2 e CO_2 nos perfluorocarbonos é maior devido ao fato de ambos serem apolares, assim como as moléculas de O_2 e de CO_2 . Com isso a interação entre essas moléculas se restringem a interações de London/dispersão. Por conta da coincidência de interações intermoleculares, o O_2 e o CO_2 são muito mais solúveis em perfluorocarbonos do que em água, pois em água é necessário a indução de um dipolo.” (A27 – teste 2)

² O termo afinidade foi usado durante muitos anos para justificar a ocorrência de reações químicas, mas com o desenvolvimento de outras áreas seu uso foi deixado de lado, pois remetia ao desejo de uma substância atrair outra (JUSTI, 1998).

Neste item o ideal seria realizar uma comparação, do processo envolvido no fenômeno da solubilidade, entre os sistemas: I) água e gases, e II) perfluorocarbonos e gases. No sistema I as moléculas de solvente interagem através de ligações de hidrogênio, consideradas interações fortes; as moléculas de soluto interagem através de interações dispersivas de London; e as moléculas de soluto interagem com as moléculas de solvente através de interações do tipo dipolo- dipolo induzido. Esse processo não é muito favorecido, pois ocorrerá uma troca de interações fortes do solvente por interações bem mais fracas entre soluto-solvente. No sistema II as moléculas do solvente interagem por meio de interações dispersivas de London, as moléculas do soluto também, o que não gera uma variação grande de energia nas interações entre as moléculas de soluto e solvente. Desse modo, a solubilidade no sistema II é maior se comparada ao sistema I. Todavia, na disciplina de Química Geral I os estudantes não tiveram discussões profundas envolvendo solubilidade o que acabou levando ao uso do esquema semelhante dissolve semelhante.

A ocorrência de interações dipolo- dipolo induzido entre o oxigênio e os perfluorocarbonos foi explicitada por 12 estudantes, porém mais intensas do que no sistema com a água devido à eletronegatividade dos átomos de flúor. Nessas respostas os perfluorocarbonos são considerados substâncias com caráter polar como exemplificado pelo aluno A42. Nesse momento, os estudantes restringiram suas observações a um elemento químico específico e não analisaram a geometria molecular.

“Como podemos observar, os perfluorocarbonos possuem grandes quantidades de flúor (elemento mais eletronegativo), assim sendo ocorrem maiores quantidades de distorções e formam-se muito mais interações dipolo – dipolo induzido entre os gases O_2 , CO_2 e os perfluorocarbonos do que com a água. Assim sendo a solubilidade de O_2 e CO_2 maior nos perfluorocarbonos do que na água.” (A42 – teste 2)

Na categoria outros cita-se como exemplo, dois estudantes que comentaram a existência de ligações de hidrogênio nos perfluorocarbonos devido ao número de átomos de flúor; e outros dois estudantes mencionaram que a solubilidade é maior porque a geometria é favorável, mas não detalharam suas ideias.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos observou-se que a maioria dos estudantes identificaram corretamente a interação intermolecular que ocorre entre os gases apolares e água, porém houve indicação das interações envolvidas somente entre soluto e solvente, deixando de lado a ideia de processos e sistemas. Nota-se também que um número muito pequeno de respostas relaciona a propriedade molecular – polarizabilidade – ou expressa uma noção de deformação da nuvem eletrônica nas justificativas e nos desenhos elaborados.

Alguns alunos apresentaram uma tendência em identificar a polaridade dos perfluorocarbonos devido à presença de elementos químicos específicos, aspecto usado também para indicar os tipos de interações intermoleculares responsáveis pela solubilidade; vários estudantes sugeriram a ocorrência de ligações de hidrogênio devido a presença de átomos de flúor, oxigênio, nitrogênio ou hidrogênio.

De modo geral, os estudantes não conseguiram se apropriar do tema interações intermoleculares para explicar a diferença de solubilidade de gases apolares em água e nos perfluorocarbonos. Houve, por exemplo, uso extensivo da regra ‘semelhante dissolve semelhante’ ou ‘igual dissolve igual’, apontando que esse

esquema algorítmico ajusta os dados e dificulta o reconhecimento das possíveis interações. Ao observar os livros didáticos de química geral indicados na disciplina percebe-se que tanto na obra de Kotz, Treichel e Weaver (2010) quanto em Atkins e Jones (2012) a referências diretas a igual dissolve igual reforçando o seu uso, inclusive na última obra mencionada o termo é usado como tópico apresentado no sumário. Porém as semelhanças a serem observadas apresentam algumas distinções, em uma obra são enfatizadas as polaridades das moléculas e na outra os tipos de interações intermoleculares que são rompidas e formadas durante o processo de dissolução.

“Podemos explicar a regra “igual dissolve igual” examinando as forças de atração entre as moléculas do soluto e do solvente. Quando o soluto dissolve em solventes líquidos, as atrações soluto-soluto são substituídas por atrações soluto-solvente e pode-se esperar dissolução se as novas interações forem semelhantes às interações originais.” (ATKINS; JONES, 2012, p. 345)

“Uma observação qualitativa em solubilidade é que “igual dissolve igual”. Em outras palavras, *moléculas polares provavelmente serão dissolvidas em um componente polar, e moléculas apolares provavelmente serão dissolvidas em um componente apolar. A recíproca é verdadeira.*” (KOTZ; TREICHEL; WEAVER, 2010, p.522)

Chama atenção que o pensamento químico não deve estar restrito ao uso de regras, mas a compreensão qualitativa dos fenômenos no nível submicroscópico. Desse modo, o fenômeno da solubilidade não deveria estar atrelado exclusivamente a regra semelhante dissolve semelhante, mas sim a uma abordagem dos processos e sistemas envolvidos.

Numa das aulas sobre o tema o professor fez uma breve discussão sobre a solubilidade do gás oxigênio em água quando exemplificou a interação dipolo – dipolo induzido no trecho a seguir:

“Dipolo - dipolo induzido. Eu já tenho um dipolo numa molécula que é permanente e ele vai interagir com uma molécula que não tem dipolos, vai induzir um dipolo nessa molécula, é, apolar. [...] Só que se a gente olhar a estrutura, é, olha o que acontece eu tenho a nuvem simétrica aqui do oxigênio, está nuvem não é lá muito polarizável, só que é o seguinte, é agora pela interação de um dipolo permanente com essas nuvens eletrônicas eu posso induzir um dipolo na nuvem eletrônica do oxigênio criando o que? Dipolo induzido, um dipolo instantâneo, tá certo. [...] Muito bem, então este oxigênio a partir do momento que ele interage com a molécula, com um dos dipolos da molécula de água, ele se polariza e você tem a solubilização de oxigênio em água.” Fala do docente – transcrição da aula.

Observa-se que nesta fala foram destacadas a polaridade das moléculas envolvidas, a simetria da nuvem eletrônica e uma citação a polarizabilidade, porém a última propriedade molecular não foi enfatizada no discurso do docente. Nesse momento, também não houve uma preocupação em discutir o processo envolvido na solubilidade. Ao observar os livros didáticos sugeridos nota-se também que os mesmos usam a solubilidade do gás oxigênio em água como exemplo da interação dipolo-dipolo induzido, mas no capítulo específico de solubilidade as interações intermoleculares muitas vezes não são usadas explicitamente para explicar o fenômeno.

A identificação do tipo de interação intermolecular existente entre um soluto e um solvente é condição necessária para a compreensão do fenômeno da solubilidade, porém, não suficiente. É preciso também que o aluno saiba reconhecer e avaliar os tipos de interação existentes entre as partículas do soluto e do solvente entre si, de maneira a que o aluno desenvolva um esquema de pensamento que leve em conta o processo total e não apenas o estado final do sistema. Assim, podemos questionar o

quanto é válido apresentar a solubilidade apenas como um exemplo de aplicação dos conceitos de interação intermolecular sem que se construa uma compreensão mais profunda deste fenômeno. Sugerimos aqui que a solubilidade e as interações intermoleculares sejam abordadas de maneira explícita e completa nos materiais didáticos e nas aulas, estabelecendo relações mais significativas entre os conceitos envolvidos, de modo que a solubilidade suporte a compreensão dos conceitos envolvidos nas interações intermoleculares e vice e versa. Este tratamento mais completo e profundo pode levar a construção de modelos explicativos mais lógicos e coesos, superando a utilização de regras que nem sempre funcionam e na verdade não explicam o fenômeno do ponto de vista submicroscópico.

Apontamos também como sugestão para o ensino incentivar a elaboração de representações submicroscópicas durante as aulas pelos estudantes possibilitando que os mesmos demonstrem suas ideias e que essas sejam discutidas, de modo que dúvidas ou incoerências sejam sanadas favorecendo uma correta compreensão dos fenômenos nesse nível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINS, P.W.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2009.

ECHEVERRÍA, A.R. Como os estudantes concebem a formação de soluções. **Química Nova na Escola**, n.3, p.15-18, 1996.

FIORUCCI, A.R.; FILHO, E.B. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. **Química Nova na Escola**, n.22, p.10-16, 2005.

GALAGOVSKY, L.; DI GIACOMO, M.A.; CASTELO, V. Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v.8, n.1, p. 1-22, 2009.

JUSTI, R.S. A afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas. **Química Nova na Escola**, n.7, p.26-29, 1998.

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.

MARTINS, C.R.; LOPES, W.A.; ANDRADE, J.B. Solubilidade das substâncias orgânicas. **Química Nova**, v.36, n. 8, p. 1248-1255, 2013.

PEREIRA, A. de S. **Uma proposta teórica-experimental de sequência didática sobre interações intermoleculares no ensino de química, utilizando variações do teste da adulteração da gasolina e corantes de urucum**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2010.

REIS, A. de S. **Ligações hidrogênio no cotidiano – uma contribuição para o ensino de química**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

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

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

SOUZA, K.A.F.D.; CARDOSO, A.A. A formação em química discutida com base nos modelos propostos por estudantes de pós-graduação para o fenômeno de dissolução. **Química Nova**, v. 32, n. 1, p. 237-243, 2009.