

# MODELAGEM NO ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA COM ÊNFASE EM ASPECTOS ENERGÉTICOS: EVIDÊNCIAS DE APRENDIZAGEM

Paula Cristina Cardoso Mendonça<sup>1</sup>  
Rosária da Silva Justi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação,  
paulaquimica2003@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Química e Programa de Pós-graduação em Educação,  
rjusti@ufmg.br

## Resumo

Uma seqüência de atividades para o ensino de ligação iônica foi aplicada a alunos do 2º ano do ensino médio. Essas atividades foram elaboradas considerando-se os pressupostos teóricos de ensino fundamentado em modelagem. Nelas buscou-se relacionar o mecanismo de formação da ligação iônica com as energias envolvidas na formação de rede iônica. Nesse artigo, são apresentados alguns aspectos importantes dessa estratégia de ensino e de sua fundamentação teórica, assim como os resultados de uma investigação sobre a aprendizagem dos alunos. Também são discutidas algumas recomendações aos professores de química relativas à abordagem de ligação química no ensino médio.

**Palavras – chaves:** ensino de química, modelagem, ligação química, energia.

## Abstract

A series of activities for the teaching of the ionic bond was used with 2nd grade of the medium level students. These activities were produced by taking into account theoretical characteristics of the modelling-based teaching. They favoured the establishment of relationships between the mechanism of the ionic bond formation and the energies involved in the building of the ionic lattice. This paper presents some important characteristics of these teaching activities and their theoretical basis, as well as the results of a research about students' learning. We also discuss some recommendations for chemistry teachers concerning with the approach for the teaching of chemical bonds in the medium level.

**Keywords:** chemistry teaching, modelling, chemical bond, energy.

## INTRODUÇÃO

### LIGAÇÃO QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO: CONHECIMENTO DOGMÁTICO

Várias pesquisas realizadas em todo o mundo nas últimas décadas (Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein e Krajcik, 2007) têm concluído que o ensino tradicional de ligação química é ineficaz aos propósitos educacionais atuais. Isso porque nesse tipo de abordagem (i) os estudantes têm contato com conceitos e modelos muito simplificados e bastante distantes do conhecimento científico; (ii) são enfatizadas regras e classificações, como a do “octeto”<sup>1</sup>, “completar a camada de valência” etc.; (iii) são utilizados conceitos baseados em explicações antropomórficas e animistas (“empréstimo de elétrons”, “metais têm tendência a doar elétrons” etc.) (Taber, 1997). Ao se utilizar conceitos muito simplistas e classificatórios, torna-se um mistério para os alunos compreender porque, por exemplo, os átomos devem “completar o octeto”. Esses conceitos passam a ser utilizados pelos alunos como dogmas inquestionáveis, ou seja, para eles existe uma verdadeira doutrina para explicar a estabilidade dos compostos químicos, substituindo princípios mais gerais como as variações de energia envolvida na formação das ligações entre os átomos:

*“A ‘crença’ na regra do octeto como panacéia explicativa revela seu caráter de dogma de fé, totalmente distante de um procedimento racional que seria esperado de alguém que supostamente aprende uma ‘ciência’”.*  
(Mortimer, Mol e Paes, 1994, p. 251)

Taber (2005) salienta que simplificações exageradas dos conceitos podem gerar problemas na aprendizagem futura, isto é, os alunos podem ter dificuldades em relacionar ligação química a outros tópicos de química como, por exemplo, propriedades dos compostos orgânicos e termodinâmica. Além disso, eles podem não conseguir relacionar as propriedades macroscópicas das substâncias aos tipos de ligação química (Coll e Treagust, 2003), o que acarretaria em esse tema não fazer sentido para o aluno.

Taber (1997) também destaca que muitas das concepções alternativas em química não são derivadas das experiências extra-escolares, mas são advindas do conhecimento adquirido em âmbito escolar. Em relação ao tema ligações químicas, (Mortimer, Mol e Paes, 1994) enfatizam que na maioria dos livros didáticos brasileiros não é encontrada uma abordagem relacionada à formação da ligação química com o abaixamento de energia potencial do sistema, o que poderia prover uma explicação para a estabilidade.

Nesse trabalho (Mortimer, Mol e Paes, 1994), esses autores analisaram as respostas de alunos a uma questão da prova de vestibular de 2<sup>a</sup> etapa da Universidade Federal de Minas Gerais de 1992, que fornecia dados sobre a formação do cloreto de sódio sólido a partir dos átomos gasosos de cloro e sódio. Nos dois primeiros itens solicitava-se que os alunos realizassem alguns cálculos sobre a energia das etapas e do processo global. No terceiro item, o aluno era solicitado a avaliar a afirmativa: *“o que estabiliza o cloreto de sódio é a formação de octetos de elétrons de valência nos íons cloreto e sódio”*. Ao realizarem a análise da questão, esses autores perceberam que apenas 7,6% dos estudantes utilizaram explicações distintas da regra do octeto para explicar a estabilidade do cloreto de sódio, 14,4% dos estudantes reconheceram os resultados dos cálculos da entalpia como perturbadores para a afirmação de que a estabilidade do cloreto de sódio era devida ao estabelecimento do octeto, apesar desses estudantes não apresentarem uma explicação plausível. Dos 78% restantes, pelo menos 52% desconheciam totalmente os resultados aos quais haviam chegado, uma vez que acertaram os cálculos dos itens 1 e 2, mas não os reconheceram como perturbadores para a explicação baseada na regra do octeto.

Levando-se em consideração os principais problemas do ensino de ligação química (Coll, 2006), as pesquisas que relatam as principais concepções alternativas dos alunos sobre o

tema (Taber, 1994; 1997) bem como a necessidade de se tornar o ensino de ligação química mais próximo da realidade científica (Nahum, Mamlok-Naaman, Hofstein e Krajcik, 2007), torna-se necessário repensar o ensino de ligação química caracterizado como tradicional.

### **REPENSANDO O ENSINO DE LIGAÇÃO QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO: UMA PROPOSTA DE ENSINO**

A elaboração da proposta de ensino que será apresentada nesse artigo levou em consideração dois aspectos fundamentais. O primeiro se relaciona com o aprendizado baseado em modelagem<sup>2</sup>. Nessa proposta de ensino são valorizados não só o uso de modelos bidimensionais e concretos para o ensino de ligação química, mas também, e principalmente, o processo pelo qual esses modelos são elaborados. Isso porque existem duas instâncias distintas de aprendizagem relacionadas com modelos<sup>3</sup>: aprendizagem de modelos curriculares e aprendizagem sobre a natureza do conhecimento científico e o papel de modelos.

A proposta de ensino apresentada nesse trabalho tem como intuito favorecer essas duas instâncias de aprendizagem relacionadas com modelos, pois os alunos deverão criar modelos – através de seus conhecimentos prévios aliados a novas informações fornecidas no contexto de ensino – para explicar como os átomos se ligam e formam uma substância. Além disso, eles deverão ser capazes de expressar e testar seus modelos, individualmente ou em grupo, através da discussão em pares (entre alunos ou com o professor). Posteriormente, os modelos dos alunos deverão ser aplicados para solucionar situações problema nas quais algumas propriedades macroscópicas das substâncias devem ser explicadas. Dessa forma, pretende-se que eles percebam o poder de explicação de seus modelos, bem como suas limitações. Ao final das discussões, pretende-se que a turma chegue a um modelo consensual<sup>4</sup>. Nesse momento, caso seja necessário, o professor deverá introduzir o modelo científico (ou algum de seus elementos que não tenham sido propostos pelos alunos anteriormente), relacionando-o ao modelo consensual da turma, salientando quais características dos modelos propostos pelos alunos são capazes de explicar as situações-problema apresentadas anteriormente e quais não são. Assim, busca-se contemplar os objetivos expressos nas propostas contemporâneas para o ensino de ciências AAAS (1990) e Brasil (1999), que defendem que o aluno deve aprender sobre: conhecimento científico, através do entendimento sobre a natureza, abrangência e limitações dos principais modelos científicos e/ou curriculares; e sobre como o conhecimento científico é construído. Acreditamos que tal ensino pode ser favorecido através das oportunidades dadas aos alunos para que eles criem, expressem e testem seus próprios modelos (Justi e Gilbert, 2002).

Para a proposição das atividades de modelagem, tomou-se como referencial teórico o diagrama ‘Modelo de Modelagem’ (Justi e Gilbert, 2002). Esse modelo foi proposto levando-se em consideração como os modelos são construídos na ciência. Ele não é a única possibilidade de modelagem, mas é bastante coerente, pois nele as etapas necessárias para modelar não seguem, necessariamente, uma seqüência linear, e tampouco unidirecional.

O segundo aspecto levado em consideração nessa proposta de ensino se refere à discussão sobre as energias envolvidas na formação de uma substância e o abaixamento de energia e aumento de estabilidade do sistema (relacionado às forças atrativas e repulsivas entre seus constituintes). Para se atingir esses objetivos, algumas idéias científicas foram consideradas:

- Existência de forças atrativas e repulsivas entre o núcleo e elétrons de dois átomos. A ligação química ocorre quando há equilíbrio dessas forças (situação menos energética). Nessa situação, o comprimento da ligação e a energia liberada no processo são determinados.
- Lei de Coulomb<sup>5</sup>, como aspecto central no entendimento, de forma geral, de todas os tipos de ligações químicas.
- Formação de íons envolve aspectos energéticos relacionados às propriedades energia de ionização e afinidade eletrônica.
- Aspectos termodinâmicos envolvidos na formação de substâncias como, por exemplo, os sintetizados no diagrama de Born-Haber<sup>6</sup> para substâncias iônicas.

## ATIVIDADES DE MODELAGEM PARA LIGAÇÃO IÔNICA

Na elaboração das atividades de ensino foram levados em consideração os conhecimentos prévios dos alunos (modelo de partículas, modelo de Bohr, propriedades periódicas, elétrons de valência, força de atração coulombiana), dados sobre as energias envolvidas na formação de substâncias iônicas, as principais concepções alternativas dos alunos sobre esse tema já relatadas pela literatura, e o diagrama Modelo de Modelagem.

Essa estratégia de ensino consta de uma seqüência de oito atividades, cujos principais objetivos foram, respectivamente:

1. discutir com os alunos os principais aspectos sobre modelos;
2. modelar uma entidade não química<sup>7</sup> visando aprender alguns aspectos sobre elaboração de modelo;
3. discutir a relação entre abaixamento de energia e estabilidade na formação de uma substância a partir de átomos isolados;
4. propor um modelo para formação dos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  através da análise de dados de energia de ionização e afinidade eletrônica;
5. propor um modelo que evidenciasse como seria a interação entre esses íons para a formação do cloreto de sódio;
6. testar os modelos construídos na atividade 5 através da proposição de uma explicação para a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio<sup>8</sup>.
7. testar ou reformular o modelo anterior a partir de dados sobre energia liberada na formação de pares iônicos (104,5kcal) e de rede iônica (206kcal) a partir de 1 mol de íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ ;
8. testar o modelo proposto na atividade 7 para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio. Explicar o fato de os compostos iônicos serem duros, quebradiços e apresentarem planos de clivagem. Calcular o valor de energia de rede para o NaCl através de um método termodinâmico a partir de dados dispostos na tabela 1, que deveria ser completada a partir dos dados fornecidos na atividade 4, e interpretá-lo fisicamente.

**Tabela 1. Energias envolvidas na formação de NaCl(s).**

<b>Etapa</b>	<b>Processo</b>	<b>Variação energética (kJ/mol)</b>
I- Sublimação	$\text{Na(s)} \rightarrow \text{Na(g)}$	*
II – Energia de ionização	$\text{Na(g)} \rightarrow \text{Na}^+(\text{g}) + \text{e}^-$	*
III – Atomização	$\frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{Cl}(\text{g})$	**
IV – Afinidade eletrônica	$\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$	**
V – Energia de rede	$\text{Na}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	X
Processo global	$\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$	-411

\* Valores fornecidos na atividade 4. \*\* Valores obtidos através de uma análise de tabelas contendo os dados de 1ª energia de ionização e afinidade eletrônica para os vinte elementos de menor número atômico da tabela periódica.

Em função da questão de pesquisa analisada neste artigo, o foco de discussão estará nas atividades 3, 4 e 8 da estratégia de ensino. A fim de que os detalhes da pesquisa sejam entendidos, a maneira pela qual a discussão de energia e estabilidade foi conduzida nessa proposta de ensino será apresentada em maiores detalhes a seguir<sup>9</sup>.

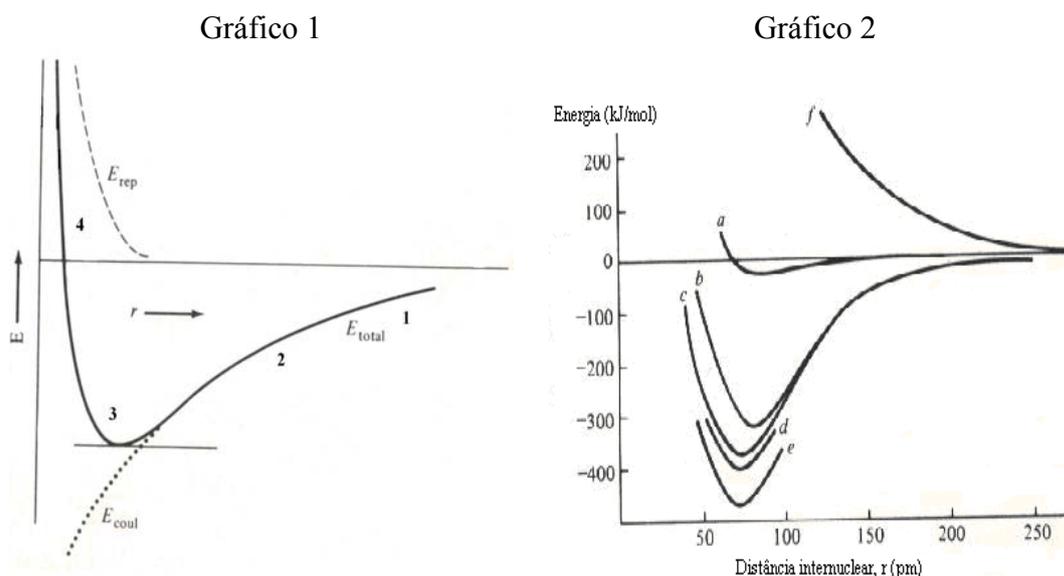
## O PROCESSO DE ENSINO

A Atividade 3, cujo enfoque era a relação entre energia e estabilidade na formação de substâncias, consta de três partes<sup>10</sup>. A primeira delas envolve a queima da substância magnésio. Através das evidências empíricas (liberação de uma luz mais intensa, portanto, emissão de

energia maior do que a fornecida inicialmente), os alunos responderam algumas questões que tinham o objetivo de fazê-los relacionar a maior estabilidade do óxido de magnésio em comparação ao magnésio, nas mesmas condições, com a energia liberada durante o processo. Na segunda parte, os alunos pensaram em fatores que influenciam na formação de determinadas substâncias. Com isso, seria possível discutir a formação e manutenção de certas substâncias, como ouro e ferro, em diferentes condições. Na terceira parte, os alunos investigaram uma “garrafa mágica”<sup>11</sup>, sistema que mudava de coloração rapidamente quando agitado ou quando deixado em repouso. Nesse caso, os alunos deveriam compreender que o sistema inicial era o mais estável por ser o menos energético e que a diferença de energia entre os dois sistemas era muito pequena, diferentemente do experimento envolvendo magnésio e óxido de magnésio.

Os alunos realizaram a atividade em grupo e o papel da professora foi o de lhes dar suporte na discussão mediante a proposição de ‘questões geradoras’<sup>12</sup> (Vosniadou, 2002). Após a realização das atividades pelos alunos, a professora ouviu as explicações dos mesmos, no sentido de buscar um consenso na turma sobre as explicações para as perguntas da atividade.

O fechamento dessa atividade culminou com a discussão das interpretações de dois gráficos envolvendo a energia potencial em função da distância internuclear (figura 1). Na discussão do gráfico 1, foi demonstrada a relação entre a energia potencial em função da distância internuclear entre dois íons de cargas opostas. Foi frisado que as forças atrativas (do tipo coulombiana) levariam a uma contribuição negativa de energia (como evidenciado pela curva pontilhada). Por outro lado, as forças repulsivas levariam a uma contribuição positiva de energia (como evidenciado pela curva tracejada). O somatório das curvas de atração e repulsão



**Figura 1. Gráfico 1. Curvas de energia para um par iônico. Gráfico 2. Curvas teóricas (a-d,f) para a molécula de hidrogênio, comparada com a curva experimental (e). (Huheey, 1983, p.96).**

resulta na curva que descreve a variação de energia do sistema em função da distância entre os íons. No ponto de menor energia no gráfico, ponto 3 (poço potencial), a ligação química é estabelecida. Isso ocorre quando há uma distância tal entre os íons na qual existe um equilíbrio das forças de atração e repulsão, distância conhecida como comprimento de ligação. A energia associada ao poço é conhecida como energia de ligação. Quando as forças de repulsão prevalecerem às forças de atração ocorre um aumento de energia, demonstrando que a ligação química foi rompida e que o sistema se encontra numa situação de baixa estabilidade. Na discussão do gráfico 2, foram demonstradas as curvas teóricas (a-d, f) para a formação da molécula de hidrogênio, comparada à curva experimental (e). No caso de (f) não foi considerada

a existência de forças repulsivas, por exemplo, emparelhamento de elétrons de mesmo spin. Em (a) já é possível observar um pequeno poço, ou seja, contribuição de forças atrativas, por exemplo, compartilhamento de pares de elétrons. Nas demais curvas, é possível perceber maior aproximação com o valor de energia liberada medido experimentalmente, sendo que a curva (d) é a que demonstra maior aproximação. Isso ocorre porque nas expressões dessas curvas foram sendo consideradas as existências de várias contribuições atrativas e repulsivas no sistema, por exemplo, a contribuição iônica (formação de  $H^+$  e  $H^-$ ) à ligação predominantemente covalente presente entre os átomos de hidrogênio. Essas contribuições às equações que descrevem as curvas (cujas funções são modelar um sistema) acarretam em expressões mais refinadas para explicar a formação da molécula de hidrogênio<sup>13</sup>.

## **QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa analisada neste artigo é: “Como a discussão de aspectos energéticos em uma estratégia de ensino fundamentado em modelagem favorece o aprendizado de ligação iônica?”

## **METODOLOGIA**

### **SUJEITOS DA PESQUISA**

A estratégia de modelagem foi aplicada em uma turma de 2º ano do ensino médio de uma escola pública federal localizada em Belo Horizonte. Uma das pesquisadoras era a professora dessa turma desde o início do ano letivo e, portanto, tinha noção dos conteúdos abordados anteriormente durante o ano letivo. A maioria desses alunos ainda não tinha estudado ligação química<sup>14</sup>. A discussão desse tema se iniciou por ligação iônica. A turma era constituída por 32 alunos, que tinham por costume trabalhar em grupos fixos de 5 a 6 alunos. Esta é uma prática rotineira nessa escola em todas as disciplinas da área de ciências, pois a escola prioriza o trabalho em grupo como essencial num processo construtivista de ensino.

### **COLETA DE DADOS**

Após aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG e assinatura de Termos de Consentimento Livre e Esclarecido por parte dos alunos e de seus responsáveis, as aulas foram filmadas enfocando as discussões entre os alunos e entre os alunos e a professora. Também foram recolhidas todas as atividades escritas produzidas pelos alunos, além de anotações de campo realizadas pela professora, registrando momentos importantes das aulas.

### **ANÁLISE DE DADOS**

Para buscar respostas à questão de pesquisa deste artigo, recorreu-se à análise de todas as atividades escritas produzidas pelos alunos, aos vídeos das aulas, transcritos quando necessário, e às anotações de campo da professora. Através da análise conjunta dessas três fontes de dados foram produzidos estudos de caso para cada grupo. Nos estudos de caso foram descritos aspectos relevantes do processo de ensino em seqüência temporal, o que nos permitiu perceber quais fatores implicavam na construção, reformulação ou rejeição de determinado modelo para cada grupo.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

Inicialmente, os alunos relacionaram a luz liberada devido à queima do magnésio com a energia liberada numa reação química (processo exotérmico) e a energia da chama necessária para essa

transformação à energia de ativação para ocorrência da mesma. Para que os alunos pudessem concluir algo sobre o papel da energia em relação à quebra e formação de novas ligações, foi necessário a intervenção da professora nos grupos solicitando que eles não apenas mencionassem a necessidade de energia para a ocorrência da reação, mas que explicassem o que aconteceria com as ligações entre os átomos. As intervenções da professora e as evidências experimentais foram essenciais para favorecer a compreensão dos alunos sobre os aspectos energéticos envolvidos na quebra e formação de ligações. Isso porque a discussão das perguntas colaborou para um aspecto geralmente difícil de ser entendido pelos alunos: as relações entre formação de ligações e liberação de energia e entre quebra de ligações e consumo de energia (Teichert e Stacy, 2002).

Porém, a partir das evidências que dispunham até o momento, a relação entre liberação de energia e estabilidade não havia ficado clara para todos os alunos. Isso pode ser comprovado através de respostas de alguns deles:

*“Se não há uma energia para que se inicie uma reação, o magnésio é estável. Já o óxido de magnésio, não tendo energia para liberar para que aconteça uma reação, é estável. O magnésio tem energia para liberar, o óxido de magnésio não, sua energia já foi liberada”.* (Grupo 6).

Entendemos que isto evidencia que eles pensaram em energia como algo que as substâncias possuem ou armazenam e não diretamente no *processo* de formação de uma substância mais estável, com ligações mais fortes entre seus átomos e, portanto, menos energética.

A investigação da “garrafa mágica” e a comparação dos resultados do que ocorria com as substâncias presentes nela e as da primeira parte (magnésio e oxigênio) foi um dos fatores mais importantes para os alunos perceberem a relação entre energia, estabilidade, reversibilidade e irreversibilidade, como evidenciado pela resposta:

*“Então, nesse caso aqui, o sistema volta ao inicial porque a diferença de energia entre as substâncias é pequena. No outro não, porque as diferenças de energia são grandes.”* (Grupo 4)

Através da comparação entre esses dois sistemas e da observação da evidência experimental – a garrafa em repouso levava à formação da substância mais estável – a relação entre abaixamento de energia e estabilidade de substâncias pode ser melhor compreendida pelos alunos, ou seja, foi possível chegar a um consenso de que a diferença de energia do sistema formado Mg e O<sub>2</sub> em relação ao MgO era muito maior do que entre os reagentes e produtos da garrafa mágica. Portanto, o MgO era mais estável e sua reação irreversível.

Após a discussão das questões da atividade 3, os gráficos foram discutidos. A apresentação do gráfico 1 (figura 1) foi essencial para que a discussão da atividade 3 fosse aprofundada na tentativa de tornar mais claro o abaixamento de energia na formação de substâncias. Inicialmente, uma aluna questionou a professora sobre o motivo de as forças atrativas estarem relacionadas a um valor de energia com sinal negativo e as forças repulsivas estarem relacionadas a um valor de energia com sinal positivo. Ao responder essa pergunta enfatizando que as contribuições negativas e positivas de energia associadas, respectivamente, às forças atrativas e repulsivas, eram convenções e que quanto menor o conteúdo energético do sistema mais estável ele seria, a professora favoreceu a interpretação do gráfico pelos alunos.

Ela, primeiramente, realçou o ponto 1 do gráfico (gráfico 1 – figura 1) que representava maior afastamento entre os átomos enfatizando aos alunos que, nesse caso, as forças de atração e repulsão tenderiam a zero devido à distância entre as cargas. Posteriormente, ela realçou os pontos 2, 3 e 4 do gráfico 1 pedindo aos alunos que relacionassem as forças atrativas e repulsivas que poderiam existir quando os átomos comesçassem a se aproximar e qual a preponderância de

cada uma delas em cada um desses três pontos. Isso foi importante para que a professora percebesse a compreensão dos alunos sobre a lógica descrita pela curva. Nesse momento, os alunos estabeleceram relacionamentos entre pontos da curva e o experimento envolvendo a reação entre magnésio e oxigênio. Por exemplo, eles relacionaram o poço ao estabelecimento de ligações entre magnésio e oxigênio e à formação da substância MgO, evidenciada experimentalmente pela liberação de luz.

Na atividade 4, os alunos deveriam propor um modelo para a formação de íons, em específico, para os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , com base na análise de uma tabela contendo dados de 1ª energia de ionização e afinidade eletrônica para os 20 elementos de menor número atômico. Todos os alunos da turma conseguiram estabelecer um relacionamento entre absorção de energia quando o átomo perde um elétron e liberação de energia quando o átomo ganha elétrons, como evidenciado pela resposta:

Modelo para formação de íons: *“Íons positivamente carregados: fornecer uma energia de ionização tão maior quanto for a necessidade para arrancar um elétron. Íons negativamente carregados: vai ter que liberar uma energia proporcional a necessidade de “introduzir” um elétron”*. (Grupo 2, aspas colocadas pelos alunos).

Com o intuito de favorecer um relacionamento entre a formação de íons e questões energéticas, ao invés das regras citadas inicialmente, os alunos calcularam as variações energéticas para formação de íons mais estáveis de átomos de sódio a partir da substância  $\text{Na}(s)$  e para formação de íons mais estáveis de átomos de cloro a partir da substância  $\text{Cl}_2(g)$ . A professora enfatizou, quando necessário para alguns grupos, que não restringissem a resposta à distribuição eletrônica. Uma aluna questionou a professora sobre as outras energias de ionização do átomo de sódio. A professora lhe disse que a segunda energia de ionização seria bem maior do que a primeira. Com base nisso, a aluna justificou o fato de o íon ser  $\text{Na}^+$  não somente pela distribuição eletrônica, mas levando-se em consideração os valores de energia de ionização. Na socialização das respostas, todos os alunos da turma conseguiram concluir que os íons mais estáveis eram  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  com base nas propriedades periódicas, como evidenciado pelas respostas:

*“O íon de Na mais estável formado a partir de  $\text{Na}(s)$  é o  $\text{Na}^+$ , já que é muito fácil ele perder um elétron (a energia de ionização é relativamente baixa) e é difícil ele ganhar um elétron (a afinidade eletrônica também não é muito alta)”*. (Grupo 5)

*“ $\text{Cl}^-(g)$  já que sua energia de ionização é alta, dificilmente, perde elétrons e sua afinidade eletrônica também é bem alta, uma grande probabilidade de ganhar elétrons. E um elétron por causa da distribuição eletrônica.”* (Grupo 6)

Além disso, eles conseguiram efetuar os cálculos de variação energética de calor de sublimação  $\text{Na}(s) \rightarrow \text{Na}(g)$ , energia de ionização para  $\text{Na}(g) \rightarrow \text{Na}^+(g) + e^-$ , calor de atomização  $\frac{1}{2} \text{Cl}_2(g) \rightarrow \text{Cl}(g)$  e afinidade eletrônica  $\text{Cl}(g) + e^- \rightarrow \text{Cl}^-(g)$  corretamente, demonstrando conhecimento do processo de formação de íons relacionado a questões energéticas, ao invés das regras enfatizadas no ensino tradicional.

Na atividade 5, a grande maioria dos alunos construiu modelos do tipo ‘NaCl molécula’ para justificar a atração entre os íons de carga oposta. Para que eles reformulassem seus modelos moleculares, foi fornecido um novo dado (atividade 7) relacionado à energia liberada na formação de pares iônicos (104,5kcal/mol) e na formação de rede iônica (206kcal/mol). De acordo com esse dado, os alunos conseguiram reformular seus modelos moleculares ou confirmar a validade de modelos não moleculares construídos anteriormente. Isso ocorreu graças ao conhecimento desses alunos sobre maior liberação de energia e maior estabilidade da substância formada (aspectos ressaltados na atividade 3). Portanto, o cloreto de sódio deveria ser

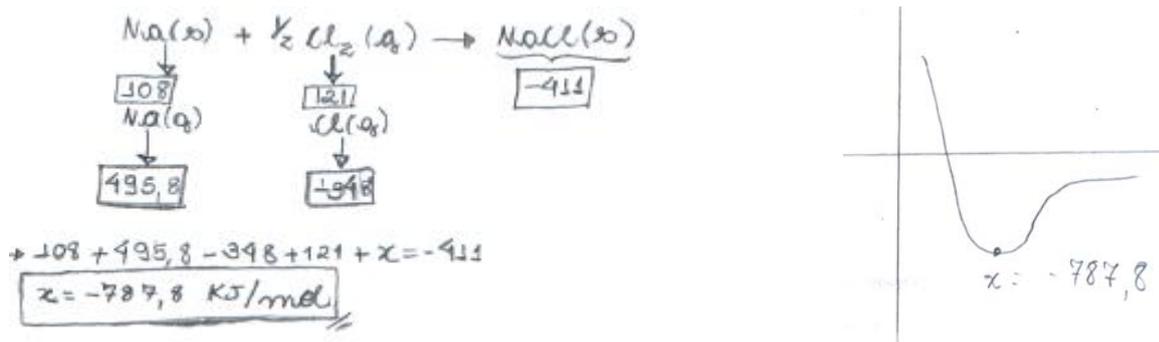
formado por uma estrutura mais complexa de íons, evidenciando mais atrações entre os íons de carga oposta:

“A estabilidade do NaCl é maior do que a dos átomos, pois quando há formação de substâncias há liberação de energia fazendo com que a substância fique estável”. (Grupo 3).

“Concluimos, primeiramente, que para liberar mais energia, teria que haver mais do que uma ligação por átomo. Sabendo que a energia liberada não é proporcional<sup>15</sup> às ligações, não nos preocupamos em mostrar isto, já que não sabemos como é (referindo-se ao fato de não terem dados para saber o número de ligações efetuadas por cada íon).” (Grupo 5).

Na atividade 8, após os alunos terem conhecimento da rede iônica do cloreto de sódio, eles calcularam a energia liberada na formação do NaCl em rede a partir dos íons  $\text{Na}^+(\text{g})$  e  $\text{Cl}^-(\text{g})$ . Para efetuar esse cálculo, foi fornecida uma tabela contendo as etapas envolvidas na formação do NaCl a partir de  $\text{Na}(\text{s})$  e  $\text{Cl}_2(\text{g})$  com o respectivo  $\Delta H$  (tabela 1). Para isso, os alunos lembraram os cálculos efetuados anteriormente (atividade 4).

Todos os alunos conseguiram efetuar o cálculo corretamente e, ainda, explicar o significado físico do cálculo. Muitos deles até fizeram referência ao poço do gráfico de energia potencial (gráfico 1, figura 1) em função da distância internuclear (sem que isso lhes fosse socilitado explicitamente), como pode ser visto na figura 2.



“Para ocorrer a formação de um mol desta rede iônica a partir de  $\text{Na}^+(\text{g})$  e  $\text{Cl}^-(\text{g})$  é necessário que se libere 787,8kJ.”

Figura 2. Cálculo da energia de rede e sua interpretação física (Grupo 1).

Durante a elaboração dos modelos dos alunos para o NaCl, foi discutido que a força de atração entre os íons era do tipo coulombiana, portanto bastante intensa. Com base nisso, eles também concluíram que o sólido iônico era bastante estável e, por isso, necessitava de grande energia para romper suas ligações e, conseqüentemente, mudar de estado físico.

No fechamento do processo de ensino, no qual a professora, enfatizou características importantes do modelo eletrostático ficou evidente a importância da apresentação do gráfico 2 (figura 1). Isso foi percebido quando alguns alunos relacionaram as curvas propostas para explicar o abaixamento de energia com a expressão da Lei de Coulomb aplicada para o cálculo de todas as interações possíveis entre os íons no retículo cristalino do cloreto de sódio. Um aluno explicitou que o valor de energia calculado através da expressão matemática deveria ser o poço potencial da curva e do gráfico 2, visto que o modelo eletrostático era o que melhor descrevia a ligação num composto iônico, e assim, deveria corresponder à curva que mais se aproximasse do valor experimental. Isso foi especialmente importante porque a professora teve evidência que os alunos compreenderam que os modelos propostos para justificar determinada ligação química deveriam explicar, da melhor maneira possível, o abaixamento de energia, através de uma boa aproximação com o valor determinado experimentalmente. Acreditamos que isso demonstra uma

compreensão de conteúdo e sobre o fazer científico, pois evidencia uma aproximação dos alunos à maneira pela qual as teorias são desenvolvidas na ciência.

Na discussão sobre a solubilidade do cloreto de sódio em água, além das interações íon-dipolo<sup>16</sup>, também se discutiu a questão energética envolvida no rompimento de ligações do cristal e o abaixamento de energia devido a interações soluto-solvente. A partir disso, os alunos foram capazes de concluir que nem todos os compostos iônicos são solúveis em água, apesar das interações íon-dipolo, porque é necessário ocorrer uma “*compensação energética*” (Grupo 2) para que o processo seja favorável.

## CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

A consideração de certos momentos ocorridos no processo de ensino, alguns deles apresentando nesse artigo, possibilita afirmar que a discussão de aspectos energéticos durante o processo de modelagem favoreceu o aprendizado de ligação iônica. A análise permite observar que isto ocorreu em função de o processo de ensino relacionar a formação de substâncias iônicas com princípios mais gerais – as energias envolvidas no processo – ao invés da utilização de regras, como têm sido verificado numa abordagem tradicional do tema.

Nossos dados evidenciam que o favorecimento do aprendizado de ligação iônica se deveu ao fato de os alunos compreenderem que (i) uma ligação química é descrita através de um modelo (nesse caso, eletrostático) que leva em consideração a existência de forças atrativas e repulsivas descritas pela Lei de Coulomb; (ii) uma ligação química entre dois átomos é mais estável quando a energia do sistema é mínima (representado pelo poço da curva de energia) e que este é o ponto de equilíbrio entre as forças de atração e repulsão. Logo, a partir dele pode-se obter a energia liberada na formação da substância que, no caso das substâncias iônicas, corresponde à energia de rede.

No ensino fundamentado em modelagem é necessário valorizar os conhecimentos anteriores dos alunos. Neste caso, os conhecimentos energia de ionização e afinidade eletrônica foram imprescindíveis para se compreender a formação de íons, não se restringindo a explicações baseadas em “transferência de elétrons” e “completar a camada de valência”. A compreensão dessas propriedades também se mostrou útil no cálculo da energia de rede através do método de Born-Haber. Contrariamente aos alunos pesquisados por (Mortimer, Mol e Paes, 1994), os alunos dessa turma foram capazes de relacionar os cálculos termodinâmicos com as interações eletrostáticas presentes na rede do NaCl, ao invés de relacionarem isso ao octeto e à valência dos átomos. Isso pode ser atribuído ao processo de ensino vivenciado pelos alunos, em que explicações mais aprofundadas sempre foram solicitadas aos mesmos.

Aos professores do ensino médio, é válido destacar que é possível utilizar o modelo eletrostático, de forma a tornar o conhecimento dos alunos mais próximo do conhecimento científico. Ao utilizá-lo, é necessário desenvolver uma compreensão qualitativa sobre a Lei de Coulomb como instrumento para entendimento do conceito de ligação química e ressaltar que todas as ligações químicas se baseiam nessa lei, e que o que difere uma ligação da outra é a magnitude dessa força. Dessa forma, não há necessidade de se frisar uma delimitação tão rígida entre compostos iônicos e moleculares. Isto também pode favorecer o desenvolvimento da capacidade de perceber as limitações dos modelos e de compreender os princípios mais gerais envolvidos no conceito de ligação química.

Outro aspecto a ser ressaltado se relaciona à questão lingüística utilizada no ensino de ligação química. Muitas vezes, cientistas raciocinam empregando analogias e metáforas. Professores podem até mesmo utilizar termos semelhantes, mas um cuidado especial deve ser tomado com o enfoque dado a esses termos. Isso porque os alunos podem empregar tais termos sem demonstrar real entendimento, ao contrário da maneira usada pelos cientistas/professores que o fazem para facilitar a comunicação e o entendimento. Assim, deve-se tomar cuidado com o

uso de termos do tipo “os átomos gostariam”, “o átomo empresta elétrons”, pois se a linguagem metafórica for aplicada em excesso, passa a ter um significado literal para os alunos, o que gera explicações animistas e antropomórficas, atribuindo-se uma “vida secreta” à ligação química (Taber, 1997).

Para finalizar, é importante realçar o papel da modelagem para o aprendizado de ligação química. Como o professor não apresenta um modelo ‘pronto’ ao aluno, mas ‘alvos’ que o levam a conectar seus conhecimentos anteriores com às idéias atuais, ou ainda, que os ajudam a rejeitar suas idéias anteriores, o aluno pode perceber o que seu modelo é capaz de explicar e suas limitações. Isto pode ocorrer quando o aluno, por exemplo, é capaz de modificar o modelo molecular para substâncias iônicas ao perceber que o mesmo não é capaz de explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio. Assim, o aluno propõe um novo modelo que seja compatível com os novos ‘alvos’ ou para explicar determinada situação-problema indo em direção ao modelo científico. Ao se ensinar esse tema nessa perspectiva, as informações dadas pelo professor aos alunos (como as relacionadas com energia), podem fazer mais sentido para eles, visto que os mesmos terão que compreendê-las para propor um modelo, o que pode acarretar em aprendizagem significativa de conteúdo e de conhecimento sobre a própria ciência (uma vez que o aluno passa entender o significado e o papel de modelagem no processo de construção do conhecimento).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAAS. *Science of All Americans – Project 2061*. New York and Oxford: Oxford University Press. 1990
- Brasil. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura. 1999
- Coll, R. K. *The role of models, mental models and analogies in chemistry teaching*.: Dordrecht: Springer. 2006. 65 - 77 p. (Metaphor and Analogy in Science Education)
- Coll, R. K. e D. Treagust. Investigation of secondary school, undergraduate and graduate learner's mental models of ionic bond. *Journal of Research in Science Teaching*, v.40, p.464 - 486. 2003.
- Huheey, J. E. *Inorganic Chemistry principles of structure and reactivity*. San Francisco, London: Haper & Row. 1983
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- Justi, R. e J. K. Gilbert. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, v.24, n.4, p.369-387. 2002.
- Justi, R. S. e P. C. C. Mendonça. *Modelling in order to learn an important sub-micro representation: the nature of ionic bond*. ESERA. Malmö, Suécia. 21-25 agosto, 2007.
- Mortimer, E. F., G. Mol, *et al.* Regra do octeto e teoria da ligação química no ensino médio: dogma ou ciência? *Química Nova na Escola*, v.17, p.243 - 252. 1994.
- Nahum, T. L., R. Mamlok-Naaman, *et al.* Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education*, v.91, n.4, p.579-603. 2007.
- Taber, K. S. Misunderstanding the ionic bond. *Education in Chemistry*, v.31, p.100 - 103. 1994.
- \_\_\_\_\_. Student understanding of ionic bonding: molecular versus electrostatic framework? *School Science Review*, v.78, p.85 - 95. 1997.
- \_\_\_\_\_. Learning quanta: Barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. *Science Education*, v.89, n.1, p.94-116. 2005.

Teichert, M. A. e A. M. Stacy. Promoting understanding of chemical bonding and spontaneity through student explanation and integration of ideas. *Journal of Research in Science Teaching*, v.39, n.6, p.464 - 496. 2002.

Vosniadou, S. Mental Models in Conceptual Development. In: L. Magnani, N. J. Nersessian, *et al* (Ed.). *Model-based Reasoning in Scientific Discovery*. New York: Kluwer and Plenum Publishers, 2002. Mental Models in Conceptual Development, p.353-368

### Agradecimentos ao CNPq.

---

<sup>1</sup> Regra do octeto: os átomos ficam estáveis quando adquirem oito elétrons em seu nível mais externo e passam a ter configuração eletrônica semelhante à de um gás nobre.

<sup>2</sup> Entendida aqui como um processo dinâmico de construir e reformular modelos mentais e/ou expressos.

<sup>3</sup> Representação de uma idéia, objeto, evento, processo ou fenômeno para um dado sistema, apresentando uma finalidade específica (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000).

<sup>4</sup> Um modelo que, não necessariamente, é o mesmo para toda turma, mas que apresenta características semelhantes.

<sup>5</sup> Lei que pode ser expressa através da equação  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ , em que  $F$  representa as interações eletrostáticas entre

as cargas, que são consideradas como puntiformes,  $k$  é uma constante, que depende do meio,  $q_1$  e  $q_2$  se referem às cargas dos cátions e ânions e  $r$  representa a distância entre as mesmas.

<sup>6</sup> Método experimental de obter a energia de rede de substâncias iônicas através de medidas termodinâmicas, como calor de sublimação, calor de atomização, energia de ionização etc. Na tabela 1 são apresentadas as etapas desse método para cálculo da energia de rede do cloreto de sódio.

<sup>7</sup> Um objeto desconhecido contido em uma caixa de papelão lacrada. Os alunos deveriam modelar tal objeto através de evidências como som, atração por um ímã, etc.

<sup>8</sup> De acordo com a literatura (Coll e Treagust, 2003; Taber, 1994, 1997), era esperado que os alunos construíssem modelos do tipo ‘NaCl molécula’, que não passariam pelo teste. A temperatura de fusão do cloreto de sódio é 808°C. Para explicar esse valor, é necessário um modelo que leve em consideração uma estrutura com várias ligações fortes, o que não se aplica a uma situação molecular para o NaCl.

<sup>9</sup> Para outros detalhes sobre a proposta de ver o artigo “Transição do modelo ‘NaCl molécula’ para o ‘NaCl em rede’: análise crítica de um processo de modelagem” apresentado no VI Enpec e Justi e Mendonça (2007).

<sup>10</sup> Extraída de: Romanelli, L.I. & Justi, R.S. (1998). *Aprendendo Química*. Ijuí: Ed Unijuí.

<sup>11</sup> Solução contendo hidróxido de sódio, glicose e azul de metileno.

<sup>12</sup> Tais questões têm o propósito de estimular o desenvolvimento do modelo e a construção do conhecimento sem favorecer respostas a partir de um conhecimento já pronto.

<sup>13</sup> A intenção era discutir as curvas do gráfico 2 qualitativamente, porque as expressões que geram as curvas são muito complexas. Apenas a discussão qualitativa possibilitaria ao aluno compreender a necessidade de ser ajustar o modelo para explicar as evidências empíricas. Para mais detalhes sobre essas expressões, ver Huheey (1983) e McWenny (1979).

<sup>14</sup> Alguns podem ter estudado ligação química no ensino fundamental, ou no 1º ano do ensino médio em outra escola, ou ainda, em cursos preparatórios para ingresso nessa instituição escolar.

<sup>15</sup> A energia liberada não é proporcional ao número de pares de íons ligantes, pois com o aumento dos íons também há aumento das forças repulsivas.

<sup>16</sup> Interações entre os cátions da substância iônica com o pólo negativo da molécula de água e dos ânions com o pólo positivo.