

TRANSIÇÃO DO MODELO ‘NaCl MOLÉCULA’ PARA O ‘NaCl EM REDE’: ANÁLISE CRÍTICA DE UM PROCESSO DE ENSINO POR MODELAGEM

CHANGING FROM THE ‘NaCl MOLECULE’ TO THE ‘NaCl LATTICE’ MODEL: A CRITICAL ANALYSIS OF A MODELLING-BASED TEACHING

Paula Cristina Cardoso Mendonça¹
Rosária da Silva Justi²

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

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

Resumo

Uma seqüência de atividades para o ensino de ligação iônica foi desenvolvida utilizando como aporte teórico o diagrama Modelo de Modelagem. O objetivo principal era fornecer elementos que pudessem subsidiar a construção e reformulação de modelos para ligação iônica. Essas atividades foram aplicadas em duas situações distintas de ensino. Nos dois casos, resultados semelhantes quanto ao abandono de modelos ‘NaCl molécula’ (identificados na literatura como uma das principais concepções alternativas de alunos) e construção de modelos ‘NaCl em rede’ foram obtidos. A análise dos dados evidenciou que isso ocorreu a partir de alguns aspectos, como os dados de energia envolvida na formação de um par iônico e de uma rede iônica fornecidos em uma das atividades de modelagem. Nesse trabalho são apresentados e discutidos resultados de ambas escolas que evidenciam como as atividades de modelagem favoreceram a aprendizagem dos alunos.

Palavras-chave: ensino de química, modelagem, ligação iônica.

Abstract

An approach for the teaching of ionic bond was developed based on the ‘Model of Modelling’ theoretical framework. Its main aim was to favour the building and changing of students’ models for the ionic bond. The teaching was conducted in two distinct contexts. In both cases, results showed that students changed their models from a ‘NaCl molecule’ model (identified in the literature as one of the main students’ alternative conceptions) to a ‘NaCl lattice’ one. Data analysis made evident that this occurred due to some aspects of the teaching activities, like the energy data related to the formation of both an ionic pair and an ionic lattice presented to students in one of the modelling activities. In this paper, results from both schools are presented and discussed in order to make it clear how the modelling-based teaching favoured students’ learning.

Keywords: chemistry teaching, modelling, ionic bond

INTRODUÇÃO

O ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA BASEADO NA REGRA DO OCTETO

A regra do octeto é utilizada por alguns professores e apresentada em alguns livros didáticos no contexto do ensino de ligação iônica. De acordo com essa regra, os átomos tendem a adquirir uma configuração semelhante à de um gás nobre, perdendo ou ganhando elétrons. Assim, a formação de ligação iônica, conforme enfatizado por alguns livros didáticos, se daria mediante transferência dos elétrons de valência de um metal para um ametal, situação em que ambos atingiriam a configuração eletrônica de um gás nobre. Através da doação de elétrons haveria uma atração entre pares de íons de cargas opostas.

O uso dessa regra no ensino tem acarretado o desenvolvimento de concepções alternativas dos alunos, como destacado pela literatura (Taber, 1994; 1997; Coll e Treagust, 2003). Isso porque, de acordo com essa abordagem, os alunos passam a ter a noção de que ocorre apenas uma única ligação nos compostos iônicos: entre o par de átomos envolvidos na doação e recepção do(s) elétron(s). Como só há uma ligação, as interações que levariam à formação da substância são tidas como ‘fracas atrações’ devido ao fato de as cargas positivas e negativas terem ‘tendência natural a se atrair’ (Taber, 1994). Assim, os alunos frequentemente desenvolvem a idéia de ‘moléculas de compostos iônicos’.

Ainda em relação aos modelos dos alunos para a ligação iônica, numa pesquisa realizada por Taber (1994) foi verificado que muitos desenvolvem um modelo híbrido¹, ou seja, a fusão de dois modelos, com características da ligação covalente aplicada à ligação iônica.

O ENSINO DE LIGAÇÃO IÔNICA BASEADO NO MODELO ELETROSTÁTICO

O modelo eletrostático se baseia na lei de Coulomb² para descrever as atrações e repulsões entre os íons na substância iônica.

A figura 1 representa a formação de par iônico, quadrado iônico e de rede iônica para o cloreto de sódio. Através da análise dos dados nela apresentados é possível afirmar que a formação de pares iônicos (situação descrita pela regra do octeto) não é satisfatória para explicar a estabilização do NaCl mediante liberação de energia. No caso do quadrado iônico, foi levada em consideração a existência de maior número de interações entre os íons, o que leva a um maior abaixamento de energia em comparação ao par iônico. Porém, ao invés de ser formado o quadrado iônico, forma-se um retículo tridimensional de íons, como pode ser visto na figura 1. Pela análise da figura do retículo para o cloreto de sódio, é possível perceber que cada cátion Na⁺ é rodeado por seis ânions Cl⁻, e vice-versa, separados por uma distância d . Há ainda 12 cátions a uma distância $d\sqrt{2}$, 8 ânions a $d\sqrt{3}$, 6 cátions a $d\sqrt{4}$, entre outras possibilidades de interações que podem ser encontradas através de uma análise trigonométrica do arranjo do NaCl. Através do cálculo de todas as interações possíveis entre os íons, utilizando a lei de Coulomb, é possível obter um valor muito próximo do experimental (erro de 1%) para a energia liberada na formação do cloreto de sódio (Dasent, 1970).

Portanto, através do modelo eletrostático torna-se possível explicar (i) o mecanismo de formação da ligação, relacionando-o com energia e estabilidade; (ii) o número de ligações efetuadas; (iii) a estrutura da substância (McWenny, 1979) e (iv) as propriedades dos compostos

¹Modelos híbridos são constituídos por alguns modelos distintos como se eles formassem um todo coerente (Justi e Gilbert, 1999).

² Lei que pode ser expressa através da equação $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$, em que F é a força eletrostática 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.

formados por esse tipo de ligação. No ensino médio é possível utilizar esse modelo para explicar a formação e as propriedades das substâncias iônicas, se os ensinamentos de química e física anteriores contemplarem os conhecimentos necessários para compreendê-lo. Porém, de acordo com a literatura, poucos estudantes têm claro o modelo eletrostático para a estrutura de um composto iônico (Coll & Treagust, 2003; Taber, 1994, 1997). Em função disso, eles passam a ter dificuldades em explicar as propriedades desses compostos.

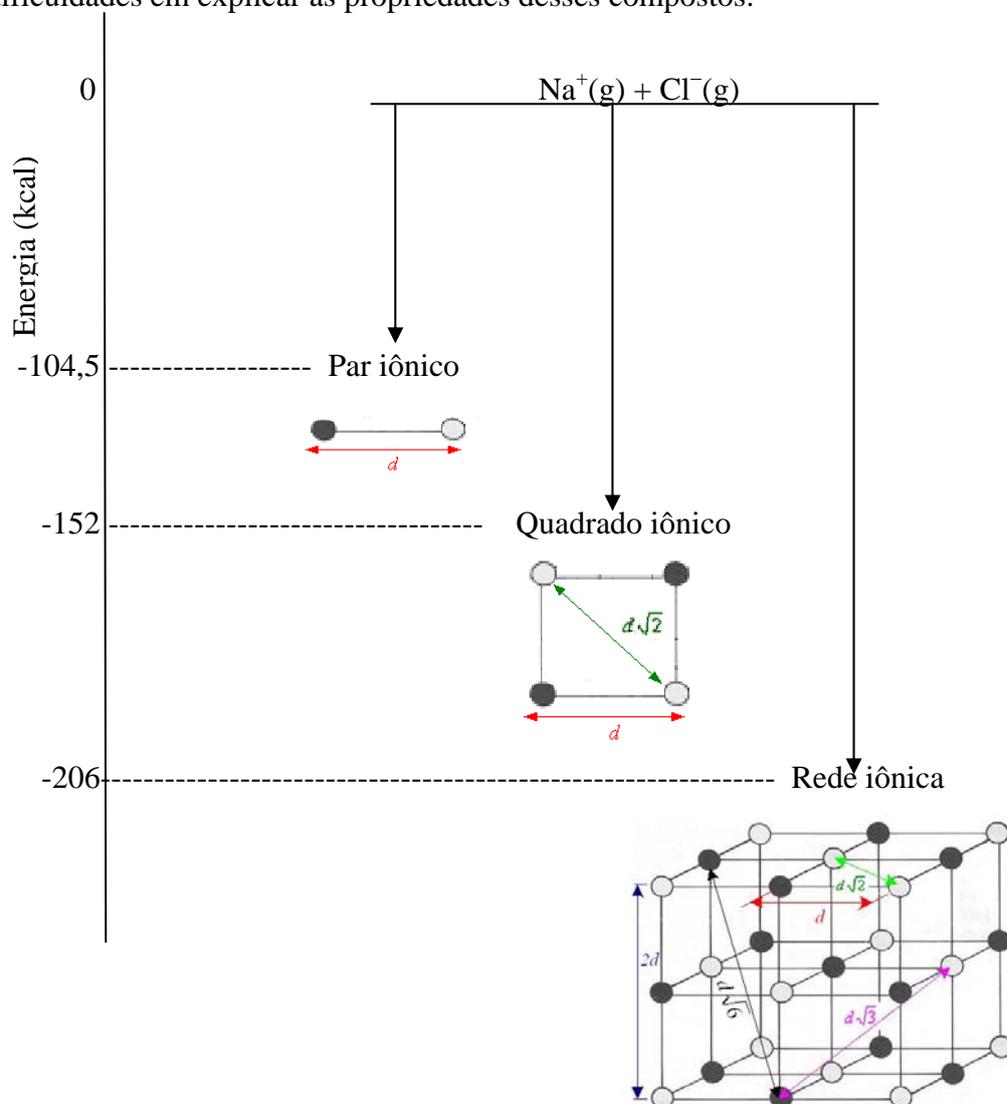


Figura 1. Energia liberada na formação de NaCl a partir de um mol de íons (Companion, 1964, p.64).

ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM

Em decorrência de ligação química ser um assunto que exige alto nível de abstração, torna-se necessário recorrer a modelos³ como ferramenta de ensino. Isso porque, dentre outros aspectos, eles auxiliam na visualização de entidades abstratas, algo de extrema importância para a química – que procura explicar o comportamento das substâncias utilizando o nível sub-microscópico.

A estratégia de ensino apresentada nesse artigo se baseou na proposição de atividades de modelagem⁴ para o conteúdo ligação iônica. Nessa estratégia, os alunos teriam a possibilidade

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

⁴ Processo dinâmico de elaborar, expressar, testar e reformular modelos mentais e/ou expressos.

de criar modelos mentais⁵ através de seus conhecimentos prévios aliados a novas informações fornecidas no contexto de ensino e expressá-los buscando explicar como os átomos se ligam e formam uma substância iônica. Além disso, eles teriam oportunidades de testar seus modelos para explicar situações problema e, dessa forma, perceber o poder de explicação e as limitações de seus modelos.

Na elaboração das atividades, utilizou-se como aporte teórico o diagrama Modelo de Modelagem, apresentado na figura 2. Esse modelo foi proposto tomando por base o processo de construção de modelos por cientistas. As etapas apresentadas no diagrama não seguem, necessariamente, uma seqüência linear, e, como demonstrado na figura, tampouco unidirecional. Analisando-se o diagrama, percebe-se que, inicialmente, é necessário definir os objetivos para os quais o modelo será construído. Posteriormente, a pessoa envolvida na modelagem deve ter alguma experiência com o fenômeno a ser modelado (alvo) através de observações ou aquisição de informações presentes em sua própria estrutura cognitiva ou por fontes externas. Através da (i) obtenção e organização de experiências relevantes, (ii) da seleção de uma origem adequada (por exemplo, um modelo inicial como base para outro modelo) e (iii) da criatividade e raciocínio do indivíduo, um modelo mental inicial é elaborado. Depois disso, a próxima decisão a ser tomada é relativa ao modo de representação do modelo mental.

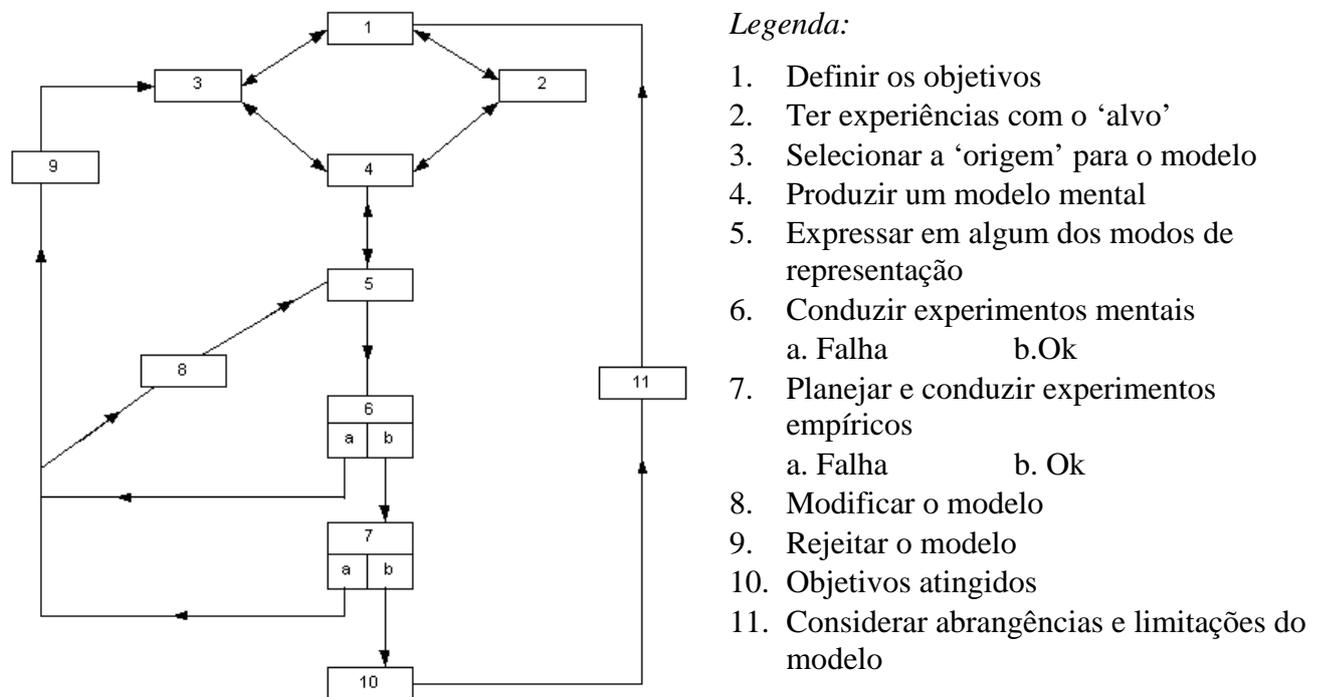


Figura 2. Diagrama Modelo de Modelagem (Justi e Gilbert, 2002, p.371).

Após o modelo ter sido expresso, o próximo passo é testá-lo. Essa etapa de testes pode acontecer através de experimentos mentais e/ou de experimentos empíricos (isso irá depender da entidade modelada e de quais são os recursos disponíveis). Caso as previsões elaboradas a partir do modelo inicial não sejam compatíveis com os resultados obtidos nos testes, torna-se necessário modificar o modelo, voltando a etapas anteriores do ciclo, ou propor um novo modelo, retomando a etapa inicial do processo. Por outro lado, se o modelo expresso for bem sucedido na fase de testes, ele satisfaz os propósitos estabelecidos inicialmente. Após a obtenção desse modelo bem sucedido, ele deve ser apresentado para outras pessoas que reconhecerão (ou não) sua validade, percebendo o que o modelo é capaz de explicar e suas possíveis limitações (Justi, 2006).

⁵ Uma representação que existe na mente de um indivíduo e que não pode ser acessada.

ESTRATÉGIA DE ENSINO 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 coulombiana), dados sobre as energias envolvidas na formação de substâncias iônicas, as principais concepções alternativas dos alunos sobre esse tema relatadas pela literatura, e o diagrama Modelo de Modelagem.

Essa estratégia consta de uma sequência de oito atividades, cujos principais objetivos são, respectivamente: 1. discutir com os alunos os principais aspectos sobre modelos; 2. modelar uma entidade não química⁶ visando aprender alguns aspectos sobre como elaborar um 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 Na^+ e Cl^- através 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. De acordo com a literatura (Coll & Treagust, 2003; Taber, 1994, 1997), era esperado que os alunos construíssem modelos do tipo ‘NaCl molécula’, que não passariam pelo teste⁷. Para fornecer mais elementos para reformulação dos modelos ‘NaCl molécula’, a seguinte informação foi colocada à disposição dos alunos: *O processo de formação de pares de cloreto de sódio a partir de um mol de íons Na^+ e Cl^- libera uma quantidade de energia igual a 104,5kcal/mol. Entretanto, quando a substância cloreto de sódio é formada, obtêm-se experimentalmente que a quantidade de energia liberada é de 206 kcal/mol* (atividade 7). Posteriormente, na atividade 8, os alunos deveriam testar o modelo proposto na atividade 7 para explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio. Maiores detalhes sobre a estratégia de ensino são encontrados em Justi e Mendonça (2007).

QUESTÕES DE PESQUISA

Nesse artigo as questões de pesquisa centrais são: Qual(is) elemento(s) do processo de ensino baseado em modelagem favoreceram a reformulação de modelos do tipo ‘NaCl molécula’ para ‘NaCl em rede’? Como os alunos utilizaram tais elementos durante essa reformulação?

METODOLOGIA

SUJEITOS DA PESQUISA

A estratégia de modelagem foi aplicada em duas escolas: uma escola pública estadual, noturna, com alunos de uma turma do 1º ano do ensino médio fora da faixa-etária esperada para a série (idades entre 16 e 50 anos), sendo que muitos haviam interrompido o estudo há alguns anos, e uma escola pública federal, com alunos de uma turma do 2º ano do ensino médio na faixa etária esperada para a série, que estudavam em período integral e que tinham ingressado na instituição através de processo seletivo. É importante destacar que o currículo de física desta instituição era recursivo, isto é, os alunos tinham contato com as áreas do conhecimento de física em todos os anos do ensino, aprofundando o nível de conhecimento em cada série. Desta maneira, esses alunos já haviam estudado força eletrostática. Neste artigo, essas turmas serão chamadas de A e B, respectivamente.

⁶ Um objeto desconhecido contido em uma caixa de papelão lacrada, em que os alunos o deveriam modelar através de evidências como som, atração por um ímã, etc.

⁷ A temperatura de fusão do cloreto de sódio é 808°C. Para se explicar esse valor é necessário um modelo que leve em consideração uma estrutura com várias ligações fortes, o que não se aplica ao modelo molecular para o NaCl.

Uma das pesquisadoras era professora das turmas A e B e, portanto, tinha noção dos conteúdos ministrados no decorrer do ano letivo que seriam importantes para a realização das atividades de modelagem. Os conteúdos químicos que diferenciavam os alunos da turma B dos da turma A eram reações químicas e soluções. Em ambas turmas, os alunos não tinham estudado ligação química com essa professora.

A turma A era constituída por 15 alunos e a turma B por 32 alunos. Em ambas escolas, durante a aplicação da estratégia, os alunos trabalharam em grupos com componentes fixos. A prática de trabalho em grupo já era comum para os alunos da turma B.

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, todas 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, registrando momentos importantes das aulas.

ANÁLISE DE DADOS

Para buscar respostas às questões de pesquisa 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. Para a elaboração deste artigo, foi feita uma análise das partes relevantes (atividades 5 a 8) dos estudos de caso.

RESULTADOS

TURMA A

Na tabela 1 são apresentados os tipos de modelos produzidos por cada grupo da turma A nas atividades 5 e 7 e o resultado dos testes para explicar a temperatura de fusão do NaCl nas atividades 6 e 8.

Tabela 1: Sumário dos modelos e conclusões dos grupos da turma A.

At	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
5	'NaCl molécula'	'NaCl molécula'	'NaCl molécula'	NaCl em rede
6	Não concluíram se o modelo explicava a elevada temperatura de fusão do NaCl			
7	NaCl em rede	'NaCl molécula'	NaCl em rede	NaCl em rede
8	Modelo em rede explica	Modelo molécula não explica	Modelo em rede explica	Modelo em rede explica

TURMA B

Na tabela 2 são apresentados os tipos de modelo elaborados por cada grupo da turma B nas atividades 5 e 7, assim como o resultado dos testes desses modelos realizados nas atividades 6 e 8.

Tabela 2. Sumário dos modelos e conclusões dos grupos da turma B.

At	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
5	'NaCl molécula'	'NaCl molécula'	'NaCl molécula'	NaCl em rede	'NaCl molécula'	'NaCl molécula'
6	Modelo molécula não explica. Proposição de modelo NaCl em rede, que explica	Modelo molécula não explica	Modelo híbrido explica	Modelo em rede explica	Modelo molécula não explica. NaCl em rede	Modelo molécula explica
7	Confirmação do modelo em rede	NaCl em rede	NaCl em rede	Confirmação do modelo em rede	Confirmação do modelo em rede	NaCl em rede
8	Modelo em rede explica a alta temperatura de fusão do NaCl					

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

TURMA A

Os alunos dos grupos 1 e 3 apresentaram idéias semelhantes nas atividades de modelagem. Ambos grupos construíram modelos do tipo 'NaCl molécula' na atividade 5 (ver figura 3). Eles justificaram o modelo afirmando que *“os íons interagem através de atração entre íons de carga oposta”*. A professora lhes questionou se a atração seria apenas entre um par de íons. Eles afirmaram que só poderia haver uma única ligação porque era uma carga positiva e uma negativa, demonstrando a idéia de neutralidade de cargas, sem fazer nenhuma menção à transferência de elétrons, aspecto que pode demonstrar que esses alunos não haviam estudado este conteúdo anteriormente, baseado na regra do octeto. Esses alunos não pensaram na existência de interação entre pares de NaCl, ou seja, não apresentaram a idéia de que era necessário existir várias 'moléculas de NaCl' interagindo fortemente para formação de um sólido como o cloreto de sódio.

Esses alunos também não conseguiram concluir se o modelo 'NaCl molécula'⁸ era capaz de explicar a temperatura de fusão do cloreto de sódio, pois não conseguiram relacionar a quantidade de energia fornecida ao cloreto de sódio com a magnitude da força de suas ligações. Nesse momento, eles não modificaram ou reformularam o modelo proposto na atividade 5 para explicar essa propriedade.

Após o fornecimento de dados empíricos sobre liberação de energia na formação de par iônico e rede iônica (atividade 7), esses alunos foram capazes de relacionar os conhecimentos anteriormente adquiridos na atividade 3 (maior liberação de energia e formação de uma substância mais estável) e concluir que o cloreto de sódio deveria se organizar de modo que um íon positivo poderia se ligar a mais íons negativos e vice-versa (ver figura 3).

Alguns desses alunos afirmaram que quanto mais interações ocorressem entre os íons, mais as estruturas seriam estáveis, pois o abaixamento de energia seria cada vez maior. Esse raciocínio está diretamente relacionado com os dados apresentados na figura 1. Esse grupo questionou a professora a respeito da estrutura do NaCl, no sentido de saber quantas ligações cada íon poderia efetuar para levar a uma situação de maior estabilidade. A professora lhes informou que eles não tinham dados para concluir isso, mas que mesmo assim, o modelo proposto por eles (várias possibilidades de ligações e com isso maior liberação de energia e

⁸ Vale ressaltar que os alunos dessa escola não utilizaram o termo 'molécula' para se referir ao cloreto de sódio, mas a idéia que apresentaram era semelhante a de uma 'molécula de NaCl'.

estabilidade) já era capaz de explicar o mecanismo de formação do cloreto de sódio a partir dos íons Na^+ e Cl^- .

Atividade 5



Atividade 7

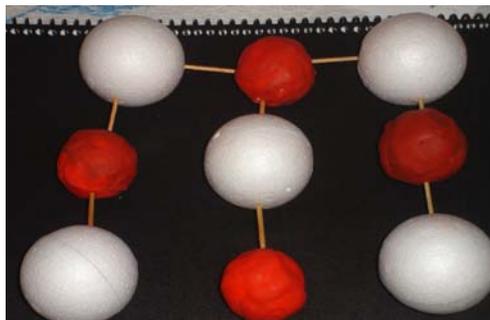


Figura 3. Modelos ‘NaCl molécula’ (atividade 5) e NaCl em rede (atividade 7) construídos pelos alunos do grupo 1 (representações semelhantes foram feitas pelos alunos do grupo 3).

Esses alunos foram capazes de explicar a elevada temperatura de fusão do cloreto de sódio após terem proposto um modelo que levava em consideração uma estrutura mais complexa de íons, pois relacionaram a alta energia fornecida no aquecimento ao rompimento de ligações entre os íons. Segundo eles, a energia fornecida para a fusão seria usada para separar os íons. Eles também deixaram evidente para a professora que o par iônico não explicaria essa propriedade.

Na atividade 5, os alunos do grupo 2 também apresentaram um modelo ‘NaCl molécula’, justificado pelo fato de os íons se “completaram” e de ocorrer uma única ligação, devido à neutralidade de cargas, sem fazer menção à interação entre ‘moléculas de NaCl’. Contrariamente aos alunos dos grupos 1 e 3, os alunos do grupo 2 não conseguiram modificar o modelo ‘NaCl molécula’ através dos dados fornecidos nas atividades 6 e 7. Uma possível justificativa foi a ausência dos componentes desse grupo em boa parte das aulas da estratégia, incluindo a atividade 3 (relacionamento entre energia e estabilidade) o que influenciou no engajamento deles. Apesar de os alunos do grupo 2 não terem conseguido propor um modelo em rede, durante a socialização dos modelos dos grupos 1, 3 e 4, no fechamento da atividade 7, eles conseguiram compreender o motivo de o NaCl ser formado através de uma estrutura mais complexa de íons, o que os levou, na atividade 8, a concluir que o modelo ‘NaCl molécula’ não explicava a elevada temperatura de fusão do NaCl; que para isso era necessário utilizar o modelo em rede.

Os alunos do grupo 4 conseguiram elaborar uma estrutura que levasse em consideração a possibilidade de mais ligações entre os íons desde a atividade 5. Porém, na explicação de seu modelo, eles não conseguiram apresentar uma justificativa convincente para o fato de um íon não se estabilizar com apenas uma única ligação, pois não fizeram relacionamentos adequados com a Lei de Coulomb ou entre energia e estabilidade. Um outro indício disso é o fato de, na atividade 6, eles não terem conseguido utilizar o modelo proposto na atividade 5 para explicar corretamente a temperatura de fusão do NaCl, pois não relacionaram a necessidade de absorção de grande quantidade de energia com as várias ligações fortes presentes na substância. Após a exposição dos dados da atividade 7, esses alunos justificaram coerentemente o fato de o modelo ser em rede. Para eles, o modelo para o NaCl seria o de uma estrutura mais complexa de íons devido à maior estabilidade alcançada quando os íons se ligavam mais vezes, o que se relacionava ao abaixamento de energia. Eles pensavam que o modelo do NaCl não deveria ser delimitado, pois as ligações eram infinitas, como pode ser visto na figura 4.

Para que esses alunos pudessem perceber as limitações do modelo construído por eles, a professora ressaltou que apesar de os íons poderem se ligar mais vezes, haveria um número determinado de ligações possíveis para cada íon com uma distância d e que isso justificaria o fato de certos cristais terem estruturas definidas e planos de crescimento. Na atividade 8, os alunos desse grupo conseguiram explicar o elevado valor da temperatura de fusão do NaCl

utilizando o modelo em rede, relacionando a alta energia à magnitude das várias ligações entre os íons de cargas opostas. Eles propuseram que haveria rompimento da ligação entre os íons, mas que continuariam a existir interações no líquido, porém de menor intensidade em relação ao sólido.

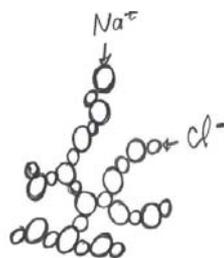


Figura 4. Modelo do grupo 4 (atividade 7) para o NaCl.

TURMA B

Em relação aos modelos construídos na atividade 5, apenas os alunos do grupo 4 pensaram na existência de várias atrações entre os íons de carga oposta, isto é, em um modelo não molecular para o NaCl (ver figura 5). Durante a discussão da professora com esses alunos, um deles deixou explícito que, ao propor seu modelo, ele tinha lembrado das aulas de física do ano anterior, quando seu professor havia discutido sobre força eletrostática e lei de Coulomb e que, com base nisso, ele sabia que poderiam existir mais atrações, o que justificaria a formação de um sólido cristalino e organizado como o cloreto de sódio.

Os demais alunos da turma propuseram modelos ‘NaCl molécula’, deixando explícito que para eles o cloreto de sódio era composto por várias moléculas⁹ formadas por uma única ligação entre os íons, enquanto entre uma molécula e outra haveria uma força de atração mais fraca. Em outras palavras, para eles a atração entre as ‘moléculas de NaCl’ era semelhante a interações do tipo dipolo-dipolo. Apesar de muitos alunos terem justificado que a força de atração entre o par iônico era do tipo eletrostática, de acordo com a Lei de Coulomb, para eles não era possível haver mais de uma ligação entre os íons. Muitos alunos enfatizaram que a ligação era entre um cátion e um ânion devido à estequiometria do composto, 1:1 (remetendo à fórmula química do NaCl). Outros afirmaram que suas representações foram feitas tomando como base a transferência de elétron (idéia que não havia sido comentada pela professora no processo de ensino), o que se fundamentou na análise dos valores de energia de ionização e afinidade eletrônica para explicar a formação de íons. Ao justificar o modelo, os alunos do grupo 2 afirmaram que a força de atração era inversamente proporcional à distância entre as cargas, de acordo com a lei de Coulomb. Por isso, eles representaram distâncias diferentes entre as bolinhas que representavam os íons, tentando evidenciar que a ligação corresponderia à menor distância entre os íons e que a interação corresponderia à maior distância. Os grupos 1, 2, 3, 5 e 6 representaram vários pares de NaCl em interações do tipo dipolo-dipolo (como na figura 5).

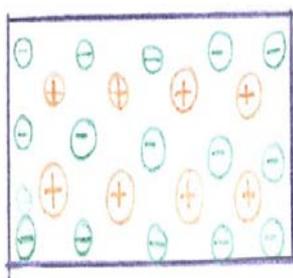
Os alunos do grupo 4 conseguiram explicar a elevada temperatura de fusão do NaCl, utilizando o modelo em rede. Eles justificaram que o modelo explicava a temperatura de fusão porque “*as forças eletrostáticas necessitam de um alto fornecimento de energia para serem rompidas*”. Eles deixaram claro que o rompimento era de ligações entre íons.

Os alunos dos grupos 1 e 5 perceberam que seu modelo não era capaz de explicar a elevada temperatura de fusão do NaCl. Os alunos do grupo 1 afirmaram que o modelo da atividade 5 não explicava porque “*consideravam a interação entre as moléculas de valor inferior à força de atração entre os íons ... as interações entre as moléculas de NaCl seriam desfeitas com uma energia de valor muito menor*”. Esse grupo deixou claro que era necessário propor um outro modelo em que só existissem ligações entre átomos e de aspecto tridimensional.

⁹ Nessa turma, o termo ‘molécula’ foi empregado pelos alunos.

Por outro lado, os alunos do grupo 5 afirmaram que o modelo da atividade 5 “*somente explicava a ligação de 1 Na e 1 Cl e que não explicava uma estrutura mais complexa e com maior número de átomos*”. Para isso, eles reformularam o modelo evidenciando mais ligações – de mesma intensidade – entre os íons numa estrutura tridimensional. Os alunos dos grupos 1 e 5 deixaram claro que a alta energia era necessária para o rompimento de ligações entre íons.

(a) Modelo do grupo 4



(b) Modelo do grupo 1



(c) Modelo do grupo 2

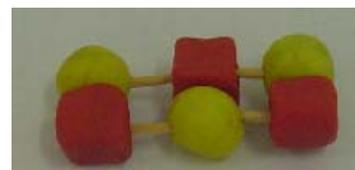


Figura 5. (a) Modelo do grupo 4, (b) Modelo do grupo 1 (os alunos dos grupos 3, 5 e 6 construíram modelos semelhantes ao do 1) e (c) Modelo do grupo 2 para o NaCl propostos na atividade 5.

Os alunos do grupo 2 disseram que o modelo ‘NaCl molécula’ não era capaz de explicar o valor da temperatura de fusão, mas que precisavam de novos dados para conseguir reformular o modelo proposto por eles na atividade 5.

Os alunos do grupo 3 apresentaram um modelo híbrido¹⁰ para o NaCl, afirmando que esse modelo explicava a temperatura de fusão “*pois o modelo mostra as fortes interações entre as moléculas de NaCl*”. Eles modificaram o modelo da atividade 5, no sentido de afirmar que as interações entre as moléculas eram tão fortes quanto as ligações entre os átomos da molécula, o que justificaria a elevada temperatura de fusão. Apesar de demonstrarem a idéia de interações fortes entre moléculas, eles disseram que a energia era para separar os íons. Os alunos do grupo 6 afirmaram que o modelo da atividade 5 explicava a temperatura de fusão do NaCl, pois, para eles, a energia fornecida era para separar as interações entre as ‘moléculas de NaCl’. Esse foi o único grupo que afirmou que a energia era para separar as moléculas.

O modelo do grupo 3 se diferencia do dos grupos 1, 2, 4 e 5 porque os alunos desses grupos deixaram claro que o modelo molecular não explicaria essa propriedade, mas que o modelo em rede explicaria. Ele também se diferencia do modelo do grupo 6 porque os alunos desse grupo afirmaram que a separação, devido à fusão, era entre moléculas (idéia coerente com o modelo molecular), diferentemente dos alunos do grupo 3 que se referiram a interações fortes entre moléculas e rompimento de ligações entre íons no processo de fusão. Tal idéia não era coerente com os modelos molecular e em rede; por isso, o modelo foi chamado de híbrido.

Com os dados sobre energia liberada na formação do par iônico e rede iônica (fornecidos na atividade 7), os alunos dos grupos 1, 4 e 5 puderam confirmar a validade de seus modelos em rede. Os alunos do grupo 5 afirmaram que o modelo era o mesmo da atividade 6, mas que com os dados eles “*concluíram, primeiramente, que para liberar mais energia teria que haver mais do que uma ligação por átomo [sic]. Sabendo que a energia liberada não é proporcional às ligações, não nos preocupamos em mostrar isso ..., porém, não se pode afirmar, se o número máximo de ligações será 6, não tenho todos os dados necessários*”.

Os alunos dos grupos 1 e 4 propuseram explicações semelhantes às do grupo 5, confirmando a validade de seus modelos propostos na atividade 6. É importante ressaltar que quando o grupo 1 expôs suas explicações à turma, foi utilizado o termo ‘polaridade’ em referência ao fato de um cátion poder se ligar a mais de um ânion após já ter efetuado uma

¹⁰ Esses alunos mesclaram aspectos da ligação iônica (atração entre íons de carga oposta e separação de íons no processo de fusão) com interações intermoleculares (atrações entre ‘moléculas de NaCl’).

ligação. A professora entrevistou nesse momento, ressaltando aos alunos da turma que eles não haviam estudado os conceitos de molécula e de polaridade e que não deveriam empregá-los para o NaCl. Após essa intervenção, uma aluna do grupo 5 afirmou que o fórmula do NaCl era apenas um par iônico, uma simplificação, que demonstrava apenas a estequiometria 1:1 do composto. A partir disso, os alunos se tornavam mais cautelosos ao utilizar o termo ‘molécula’ para se referir ao cloreto de sódio.

Com base nos dados fornecidos na atividade 7, os alunos do grupo 2 propuseram um modelo em rede, que para eles era capaz de justificar a energia liberada no processo de formação do NaCl (ver figura 6).

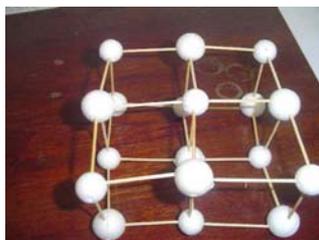


Figura 6. Modelo em rede para o NaCl do grupo 2 (modelos semelhantes foram feitos pelos outros grupos).

Os alunos do grupo 3 também conseguiram abandonar o modelo híbrido para o NaCl. Primeiramente, eles pensaram que no cloreto de sódio haveria dois pares iônicos, pois se um par liberava 104,5kcal de energia, dois pares liberariam o dobro, o que se aproximaria do valor experimental (206kcal/mol). Posteriormente, eles lembraram que os cristais têm organização e planos de crescimento definidos. Além disso, a professora enfatizou que a energia não era proporcional ao número de pares liberados, pois com o aumento dos pares aumentaria a repulsão entre os íons. Com base nesses dados e na discussão entre eles e com a professora, o grupo conseguiu propor um modelo tridimensional enfatizando apenas ligações entre átomos.

Os alunos do grupo 6 também conseguiram propor um modelo em rede para o NaCl na atividade 7. Eles abandonaram conscientemente o modelo molecular para o NaCl, justificando que *“pensamos que para o Na se ligar a Cl libera uma quantidade de energia maior que a do par, e se ligariam de alguma forma para ficarem mais estáveis, liberando assim mais energia. Então propomos que um íon Na se liga a mais de um Cl por interação eletrostática e este mesmo a mais de uma Na e assim por diante.”*

Após todos os grupos, terem conseguido modificar de forma consciente os modelos moleculares e híbridos para o NaCl, eles puderam confirmar a credibilidade de seus modelos em rede, pois todos foram capazes de explicar adequadamente a temperatura de fusão do NaCl na atividade 8.

CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

A partir dos dados apresentados nesse artigo, é possível evidenciar a importância, nesse contexto de ensino, dos conhecimentos prévios dos alunos aliados a novos dados fornecidos no contexto de ensino para construção e reformulação de modelos e aprendizagem de ligação iônica.

É importante destacar que os alunos da turma B apresentaram um maior embasamento teórico (Lei de Coulomb) ao justificar as interações entre os íons na formação da substância iônica, em relação aos alunos da turma A, provavelmente devido às aulas de física. Mesmo apresentando esses conhecimentos, a maior parte dos alunos da turma A (84,4%) preferiu construir modelos ‘NaCl molécula’ na atividade 5 para justificar a estequiometria 1:1 e a transferência de elétrons. Essas duas justificativas eram idéias que pareciam estar fortemente arraigadas na estrutura cognitiva desses alunos e que poderiam acarretar problemas de aprendizagem e outras concepções alternativas. Com base nisso, é importante salientar aos professores de química que o ensino baseado em fórmulas e regras pode ser problemático para os

alunos, pois eles passam a utilizar essas regras como dogmas inquestionáveis (Mortimer, Mol e Paes, 1994), ao invés de ter oportunidade de desenvolver um raciocínio mais coerente com o modelo científico, como no caso da ligação iônica (que envolve as discussões sobre energia e estabilidade). A discussão do modelo eletrostático com esses alunos, através das atividades de modelagem, foi fundamental para que eles pudessem perceber que suas idéias anteriores, expressas no modelo molecular, eram limitadas, não explicando propriedades importantes do NaCl, como a temperatura de fusão e as variações energéticas envolvidas em sua formação.

Concluimos também que foi muito importante dar oportunidade aos alunos de testar os modelos construídos por eles para que pudessem compreender a validade e as limitações dos mesmos. Alguns alunos da turma B conseguiram reformular seus modelos 'NaCl molécula' a partir do teste de seus modelos considerando os dados da temperatura de fusão. Porém, outros alunos dessa mesma turma e os da turma A só conseguiram abandonar os modelos 'NaCl molécula' a partir da análise de dados empíricos sobre energia envolvida na formação de pares iônicos e de rede iônica. Isso ocorreu graças à discussão realizada anteriormente (atividade 3) sobre a relação entre energia e estabilidade envolvendo forças atrativas e repulsivas. Testar novamente o modelo foi importante para os alunos perceberem a sua validade e para a professora perceber se eles tinham simplesmente abandonado o modelo molecular e se apropriado de um modelo em rede sem de fato compreendê-lo – uma vez que o teste do modelo demonstra um conhecimento aplicado.

Os resultados alcançados durante a aplicação dessa estratégia de ensino evidenciam que é possível utilizar o modelo eletrostático no ensino e explorá-lo com os alunos no sentido de justificar o mecanismo da ligação, enfatizando as variações energéticas, a estrutura e propriedades dos compostos iônicos. Eles também evidenciam a validade de se utilizar estratégias de modelagem no ensino, pois quando o aluno tem a oportunidade de construir e testar seus modelos as informações apresentadas a ele podem fazer mais sentido, o que difere da situação em que o aluno recebe o modelo pronto. Isso pode acarretar o não desenvolvimento de concepções alternativas sobre o assunto e uma aprendizagem mais significativa sobre o conteúdo e o processo científico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Companion, A. L. *Chemical Bond*. London: McGraw- Hill. 1964
- Dasent. *Inorganic energetics*. Austrália: Peguin Books. 1970
- Justi, R. La Ensenanza de Ciencias Baseada em La Elaboración de Modelos. *Ensenanza de Las Ciencias*, v.24, n.173-194. 2006.
- Justi, R. e J. K. Gilbert. A Cause of Ahistorical Science Teaching: Use of Hybrid Models. *Science Education*, v.83, n.2, p.163-177. 1999.
- _____. 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. p.
- Mcwenny, R. *Coulson's valence*. London: Oxford University. 1979
- 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.
- 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.

Agradecimentos ao CNPq.

