UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Instituto de Química
Instituto de Física
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação
Programa Interunidades em Ensino de Ciências

LARA VIEIRA LEITE

O que são íons? Elaboração de conceitos por estudantes do Ensino Médio a partir de uma sequência didática.

SÃO PAULO

2019

LARA VIEIRA LEITE

O que são íons? Elaboração de conceitos por estudantes do Ensino Médio a partir de uma sequência didática.

VERSÃO CORRIGIDA

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Química, ao Instituto de Física, ao Instituto de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências.

Área de Concentração: Ensino de Química

Orientadora: Profa. Dra. Maria Eunice Ribeiro Marcondes

SÃO PAULO

2019

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Leite, Lara Vieira

O que são íons? Elaboração de conceitos por estudantes do ensino médio a partir de uma sequência didática. São Paulo, 2019.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Maria Eunice Ribeiro Marcondes
Área de Concentração: Ensino de Química.

Unitermos: 1. Química – Estudo e ensino; 2. Íons;
3. Sequência didática; 4. Concepções alternativas; 5. Aprendizagem colaborativa.

USP/IF/SBI-041/2019

*À todos que me ajudaram a cavar e abrir frestas que
permitissem a luz de entrar no meu caminho durante essa
jornada.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por me carregar nos braços em todos os momentos difíceis dessa caminhada!

À minha mãe, pilar da minha existência, exemplo de perseverança, honestidade, amor. A primeira e a maior educadora que eu já conheci! Aquela que sempre foi capaz de abrir mão de tudo por mim, agradeço o amor, amizade e apoio incondicional. Obrigada por se fazer tão presente na minha vida, mesmo com os quase 400 km de distância.

Ao meu pai por todo carinho e por ser para mim um exemplo de honestidade, força e resiliência.

À minhas irmãs pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos dessa caminhada.

À minha sobrinha pelo amor e por iluminar minha vida com seu sorriso e tornar mais leve a caminhada.

À Marcela, minha prima, que muito me ensinou sobre não deixar de VIVER e estar ao lado de quem amo.

Às minhas amigas Priscila, Monique, Duda e Polyana por sempre estarem ao meu lado nos momentos difíceis e sempre torcerem por mim.

À Naãma por ser um presente de São Paulo para mim, pela amizade, suporte e companheirismo.

Ao meu terapeuta, André, por ser meu suporte nesses últimos anos.

À professora Keila Bossolani Kill pela amizade, carinho e estímulo.

À professora Dra. Maria Eunice pela orientação, compreensão e carinho.

Ao pessoal do GEPEQ pela convivência e trocas de experiências. Em especial à Terezinha, ao meu afilhado Matheus e ao Fábio, por me ouvir sempre que estava perdida.

À todos os estudantes envolvidos nessa pesquisa e aos professores(as) que me abriram as portas para que essa pesquisa se concretizasse.

*“Conheça todas as teorias,
domine todas as técnicas,
mas ao tocar uma alma humana
seja apenas outra alma humana.”*

Carl G. Jung

RESUMO

LEITE, L. V. **O que são íons? Elaboração de conceitos por estudantes do Ensino Médio a partir de uma sequência didática.** 2019. 172 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

O que são íons? Tal questionamento, quando feito aos estudantes, leva a manifestação de concepções que, muitas vezes, não são aquelas consideradas cientificamente adequadas. Diversos estudos têm apontado as dificuldades que os estudantes têm em compreender a estrutura atômica e a diferença entre átomos, íons e moléculas. Isso porque, na maioria das vezes, o ensino não propicia um momento de desenvolvimento da habilidade de abstração que tanto é necessário para o aprendizado de conteúdos de natureza submicroscópica. Considerando a necessidade de melhorar o processo de ensino-aprendizagem do conceito de íons, nesta pesquisa tivemos como objetivo a elaboração de uma sequência didática que permitisse identificar como os estudantes elaboram o conceito de íons, como eles explicam o fenômeno da condutibilidade elétrica e se os grupos de aprendizagem colaborativa podem influenciar na aprendizagem dos conceitos desenvolvidos nessa sequência didática. Participaram da pesquisa um total de 83 estudantes da segunda série do ensino médio. Desses, 66 participaram das intervenções piloto, realizadas em duas escolas estaduais paulistas e em uma escola particular, também da região metropolitana de São Paulo. A partir dessa intervenção, a sequência foi reformulada e aplicada para 16 estudantes de uma escola da Prefeitura de Barueri (SP) no ano de 2017, em dois dias, totalizando 8 horas. A sequência foi elaborada a partir dos pressupostos de demanda de aprendizagem. Para a coleta de informações utilizamos vídeo-gravações e os estudantes responderam a questionários, um para levantamento de concepções prévias, outro ao final do desenvolvimento da sequência e um questionário metacognitivo. Além disso, os estudantes elaboraram representações de átomos, íons e do processo de dissolução durante o ensino. As informações coletadas com os questionários e com as representações foram analisadas seguindo a técnica da análise de conteúdos em que, a partir das respostas dos estudantes foram criadas categorias de análise. A análise dessas informações nos possibilitou perceber a manifestação de concepções alternativas pelos estudantes, como as relatadas na literatura. Mas, foi possível, também, constatar uma evolução das concepções dos estudantes, bem como das representações elaboradas por eles, após a o ensino com enfoque na elaboração de modelos e na discussão colaborativa das concepções. O desenho da sequência didática possibilitou aos estudantes a exposição e a discussão de suas ideias em colaboração, o que os levou a ampliar seus modelos mentais e buscar argumentos que explicassem o fenômeno da condutibilidade elétrica em diferentes situações.

Palavras – chave: Íons. Sequência didática. Concepções alternativas. Aprendizagem colaborativa.

ABSTRACT

LEITE, L. V. **What are ions? Elaboration of concepts by high school students from a didactic sequence.** 2019. 171p. Dissertation (Master in Science Education – Chemical Education) submitted to the Physics Institute, Chemistry Institute, Bioscience Institute and Education Institute, University of São Paulo, 2019.

What are ions? When questioned, high school students may reveal conceptions that are not scientifically appropriate. Some studies have shown the misconceptions among high school students concerning to atomic structure and to the difference between atoms, ions and molecules. These difficulties have been associated to the failure of teaching in helping the students to develop abstract thinking, which is necessary to deal with submicroscopic content. To improve the learning-teaching process of concepts concerning ions we proposed this research with the aim of planning and applying a teaching sequence designed to help the students to review and elaborate their concepts of ions, to explain the electrical conductivity of aqueous salt solutions and melted salts. A collaborative learning strategy was proposed to the students. The sequence was based on the theoretical approach of cognitive demand. A pilot phase was run with 66 students of two public high schools and a private school of Sao Paulo metropolitan region. These pilot studies gave us subsidies to review the teaching sequence and the final version was applied to 16 students of a city public high school. The sequence application lasted two periods of 4 h each. The lessons were videotaped, the students answered two sets of questions, in the beginning of the process and at its end, as well as a metacognitive questionnaire. The students were invited to elaborate representations of atoms, ions and of the process of a salt dissolving in water. The data was analysed by content analysis methodology, the categories arose from the students answers. The analysis revealed that the students had some misconceptions very similar to ones described in the literature. In the other hand, some students showed a high level of evolution from their initial conceptions to the final ones. The sequence teaching strategy demanded a high level of students' participation by exposing their ideas to their peers and discussing them in a collaborative process. This argumentative process contributed to the students to construct mental models to explain electrical conductivity and ions

Keywords: Ions. Teaching sequence. Misconceptions. Collaborative learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Momentos da sequência didática.	42
Figura 2. Caracterização da sequência didática.	56
Figura 3 (a) e (b). Estudantes representando o núcleo do átomo de sódio	61
Figura 4 (a) e (b). Representação do átomo de cloro.	62
Figura 5. Representações do modelo atômico no livro didático Química Cidadã.	63
Figura 6. Representação do átomo de lítio.	63
Figura 7 (a) e (b). Representações dos estudantes dos grupos 4 e 1 para o sal NaCl.	65
Figura 8 (a) e (b). Representações dos estudantes do grupo 2 para o sal NaCl.	67
Figura 9 (a) e (b). Representações dos estudantes do grupo 3 para o sal NaCl.	68
Figura 10. Modelo de dissolução do sal de cozinha em água.	69
Figura 11 (a) e (b). Representações dos estudantes do grupo 5 para o sal NaCl. ...	70
Figura 12. Porcentagem de Interações Cognitivas de Ordem Alta (ICOA) em cada episódio.	85
Figura 13. Caracterização da sequência didática quanto ao nível cognitivo e a interatividade.	88
Figura 14. Representações do átomo de sódio elaboradas pelos estudantes.	93
Figura 15. Representações do átomo de sódio elaboradas pelos estudantes.	95
Figura 16. Representações do átomo de sódio elaboradas pelos estudantes.	95
Figura 17. Representação do íon de cálcio elaborada por estudante	107
Figura 18. Representação do íon de cálcio elaborada por estudante.	108
Figura 19. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 1.	114
Figura 20. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 2.	114
Figura 21. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 3.	115
Figura 22. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 4.	116
Figura 23. Representação do (a) íon de sódio Na^+ (b) íon de cloro Cl^- (cloreto) elaborada por um grupo de estudantes.	117
Figura 24. Ilustração de uma representação esperada para o cloreto de sódio (NaCl) quando em: (a) estado sólido; (b) estado líquido (fundido); (c) processo de dissolução, (d) solução aquosa.	119
Figura 25. Representações do Grupo 1.	121

Figura 26. Representações do Grupo 2.....	126
Figura 27. Representações do Grupo 3.....	128
Figura 28. Representações do Grupo 4.....	130
Figura 29. Representações do retículo cristalino do NaCl.	134
Figura 30. Representações do cloreto de sódio sólido (a) em pares iônicos e (b) retículo cristalino.	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Comparação entre grupos de trabalho tradicional e de aprendizagem colaborativa.	26
Quadro 2. Categorias encontradas a priori nos questionários.	48
Quadro 3. Categorias de análise da dimensão verbal das interações em sala de aula.	52
Quadro 4. Categorias de análise da dimensão cognitiva das interações em sala de aula.	53
Quadro 5. Instruções para as representações.	64
Quadro 6 – Sistematização dos dados obtidos na análise das representações dos estudantes.	73
Quadro 7. Categorização das interações no episódio 1	75
Quadro 8. Categorização das interações no episódio 2.	76
Quadro 9. Categorização das interações no episódio 3.	77
Quadro 10. Categorização das interações no episódio 4.	80
Quadro 11. Categorização das interações no episódio 5.	82
Quadro 12. Respostas dos estudantes ao questionário prévio, por categoria e código.	92
Quadro 13. Respostas dos estudantes categorizadas para as questões apresentadas.	105
Quadro 14. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 1	122
Quadro 15. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 2	124
Quadro 16. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 3	127
Quadro 17. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 4	129
Quadro 18. Representações e explicações dos estudantes do Grupo 1.	132
Quadro 19. Representações e explicações dos estudantes do Grupo 4.	137

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Distribuição das interações verbais na sequência didática.	83
Tabela 2. Distribuição das interações cognitivas na sequência didática.....	84
Tabela 3. Avaliação da interatividade na sequência didática. Onde A, representa estudantes; P, professores; Q + R, quantidade de questionamentos somada à quantidade de respostas; IV, total de interações verbais.	86
Tabela 4. Avaliação do nível cognitivo na sequência didática. Onde ICOA significa Interações Cognitivas de Ordem Alta; ICOB, Interações Cognitivas de ordem Baixa; QROA – quantidade de questionamentos e respostas de Ordem Mais Alta; QROB - quantidade de questionamentos e respostas de Ordem Mais Baixa.	87
Tabela 5. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 1, em cada código.	93
Tabela 6. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 2, em cada código.	96
Tabela 7. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 3, em cada código.	98
Tabela 8. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 4, em cada código.	99
Tabela 9. Respostas dos estudantes do Perfil I.	101
Tabela 10. Respostas dos estudantes do Perfil II.	103
Tabela 11. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 1.	104
Tabela 12. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 2.	109
Tabela 13. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 3.	110
Tabela 14. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 4.	111

SUMÁRIO

1. Introdução	19
2. Problema de pesquisa	21
2.1. Questões de Investigação.....	21
2.2. Hipótese	21
2.3. Objetivos.....	21
2.3.1. Geral.....	21
2.3.2. Específicos	21
3. Fundamentação Teórica	23
3.1 Sequências didáticas e demanda de aprendizagem	23
3.2. Interações em sala de aula e a aprendizagem colaborativa.....	25
3.3. Representações e elaboração de modelos	28
3.4. Íons.....	30
4. Revisão Bibliográfica.....	35
5. Metodologia.....	41
5.1. Elaboração da sequência didática	42
5.2. Intervenções piloto.....	44
5.3. Coleta de informações	45
5.4. Métodos de análise	47
5.4.1. Análise dos questionários	48
5.4.2. Análise dos modelos elaborados pelos estudantes.....	50
5.4.3. Análise das interações em sala	51
6. Resultados e Análise.....	58
6.1. Descrição da sequência piloto aplicada	58
6.2. Análise das representações elaboradas pelos estudantes.....	60
6.3. Análise das interações em sala de aula	74

6.4. A sequência didática piloto.....	89
6.5. Sequência didática final	90
6.6 Análise da aplicação da sequência didática final.....	91
6.6.1 Concepções iniciais apresentadas pelos estudantes	91
6.6.2 Concepções apresentadas pelos estudantes ao final da sequência didática	104
6.6.3 Representações elaboradas pelos estudantes	116
6.6.4 Interações entre estudantes no grupo de aprendizagem colaborativa.....	131
8. Referências bibliográficas	148
APÊNDICE	156
ANEXOS	158

1. Introdução

Alguns pesquisadores na área de ensino de Química têm dedicado seus estudos à tentativa de superar as dificuldades, apresentadas pelos estudantes, de aprendizagem de conteúdos dessa disciplina. Um destes estudos, realizado pelas pesquisadoras França, Marcondes e Carmo (2009), aborda especificamente as concepções dos estudantes a respeito da estrutura atômica e da formação de íons, tema sobre o qual versa a presente pesquisa.

Acredita-se que um dos fatores que leva a estas dificuldades é o caráter essencialmente abstrato da Química. Os conceitos estudados nessa disciplina apresentam um alto nível de abstração e, por isso, torna-se muitas vezes difícil para o estudante relacionar os fenômenos a explicações a nível submicroscópico.

Em trabalhos como os realizados por Warfa (2013) e França, Marcondes e Carmo (2009), foi possível identificar algumas dificuldades específicas dos estudantes participantes, como por exemplo: apresentam dificuldade de compreensão da estrutura atômica; elaboram explicações apenas em nível macroscópico; não reconhecem em nível submicroscópico o caráter descontínuo da matéria e de suas entidades; concebem o átomo como indivisível; entendem que os elétrons não podem ser separados do átomo; não compreendem a diferença entre átomos, íons e moléculas; entendem o conceito de átomo e de íon como similares; não relacionam a estrutura atômica e as ligações químicas com íon; relacionam a neutralidade do átomo à regra do octeto.

Além disso, de acordo com Mortimer (1995), os estudantes apresentam dificuldade em criar relação entre as transformações que ocorrem em nível fenomenológico com as explicações em nível atômico molecular.

Alguns pesquisadores da área propõem estratégias de ensino para o conceito de íons na tentativa de lidar com as dificuldades apresentadas pelos estudantes. Carmona (2006), por exemplo, cita a construção de modelos atômicos em sala de aula visando contribuir com a elaboração o conceito de íons pelos estudantes. Além do recurso da modelagem, existem vários outros que podem ser utilizados para este fim, como a experimentação.

Desta forma, torna-se necessário estudar o que os estudantes compreendem pelo conceito de íons e identificar qual a origem específica da dificuldade do

aprendizado deste conceito. Assim, compreendendo o processo de aprendizagem deste conceito podem-se desenvolver intervenções que procurem suprir estas dificuldades.

A realização deste projeto é justificada, então, pela importância da aprendizagem do conceito de íons, já que a compreensão desse conceito pode levar os estudantes à melhor compreensão de fenômenos cotidianos. Portanto, se faz necessário reconhecer as dificuldades relacionadas a este tema, inclusive aquelas referentes à estrutura atômica, e identificar as ideias dos estudantes que se distanciam dos conceitos científicos, tendo em vista elaborar um plano de ação visando à melhoria da aprendizagem desse conceito.

2. Problema de pesquisa

2.1. Questões de Investigação

Considerando a necessidade de melhorar o processo de ensino-aprendizagem do conceito de íons investigaremos, a partir de uma sequência didática, como os estudantes elaboram o conceito de íons, como eles explicam o fenômeno da condutibilidade elétrica e se os grupos de aprendizagem colaborativa podem influenciar na aprendizagem deste.

2.2. Hipótese

Acredita-se que as dificuldades de aprendizagem dos conceitos de íons e estrutura atômica, bem como dos conteúdos curriculares que dependem do entendimento destes conceitos básicos, estão relacionadas à forma como o ensino se dá, de maneira pouco dialógica e com pouca interação, pois os estudantes têm poucas oportunidades de debater suas ideias e expressar o que pensam.

2.3. Objetivos

2.3.1. Geral

O presente projeto será realizado com o objetivo de investigar como a sequência didática planejada contribui para a superação de dificuldades, já apontadas na literatura, sobre o conceito de íons e como a aprendizagem colaborativa pode influenciar nesse processo de construção do conceito.

2.3.2. Específicos

- Identificar como os estudantes concebem o conceito de íons a partir de um instrumento planejado considerando as concepções já apontadas na literatura;
- Elaborar uma sequência didática utilizando recursos como modelagem e experimentação para ensinar o conceito de íons;

- Implementar a sequência didática a fim de analisar como e até que ponto as estratégias utilizadas influenciam na compreensão dos estudantes a respeito do conceito de íons e como os estudantes explicam e argumentam sobre os fenômenos relacionados ao conceito.

3. Fundamentação Teórica

Neste capítulo apresentamos o referencial teórico desta pesquisa, que tem respaldo em quatro pontos fundamentais. O primeiro deles diz respeito à elaboração e implementação de uma sequência didática, considerando a demanda de aprendizagem. O segundo deles se refere à aprendizagem colaborativa, também considerada na elaboração da sequência, uma vez que a interação entre os estudantes nessa perspectiva permite maximizar a aprendizagem. Como a sequência tem como objetivo principal a aprendizagem do conceito de íons e esse está pautado em um modelo submicroscópico, trouxemos referenciais teóricos que fundamentam as representações e as construções de modelos. Por último, apresentamos a construção do conceito de íons ao longo da história até chegar em sua definição atual.

3.1 Sequências didáticas e demanda de aprendizagem

Como citado anteriormente, esta pesquisa se baseia, principalmente, na elaboração e aplicação de uma sequência didática e, desta forma, dentre tantas definições que podem ser encontradas na literatura para esse termo, torna-se importante esclarecermos o que entendemos por sequência didática neste trabalho.

Zabala (1998, p. 18) conceitua sequência didática como sendo “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos estudantes”. Concordamos com tal definição e entendemos que o planejamento de uma sequência didática deve ser norteado pelos objetivos de aprendizagem.

De acordo com Pane (2015):

[...] o professor ao planejar as etapas de uma sequência didática, considera tanto o conteúdo quanto as habilidades e competências necessárias à aprendizagem. O planejamento de como esses conteúdos serão organizados pode contribuir para a aprendizagem (p. 36).

Planejada para tentar superar as dificuldades demonstradas pelos estudantes, esta sequência foi elaborada levando-se em consideração os referenciais de demanda de aprendizagem (LEACH; SCOTT, 2002). Nessa abordagem, comparam-se as concepções prévias dos estudantes sobre o conteúdo a ser ensinado

ao conhecimento que a ciência apresenta sobre ele. Para realizar essa comparação é preciso considerar como o conhecimento a ser tratado está inserido no cotidiano dos estudantes e, também, as concepções construídas ao longo da aprendizagem escolar.

A partir dessa comparação é possível avaliar a diferença entre a linguagem social e a linguagem científica.

Nem sempre os conceitos ou ideias dos estudantes são considerados corretos pela ciência, muitas vezes existindo diferenças entre eles. Essas diferenças são chamadas de demandas de aprendizagem, e podem ser conceituais, epistemológicas e ontológicas. Uma demanda de aprendizagem conceitual decorre da utilização de concepções alternativas ao invés de conceitos científicos na explicação de um fenômeno; a demanda epistemológica parte da dificuldade na explicação de conceitos científicos, pois sua linguagem cotidiana parece não reconhecer que os modelos e teorias científicas explicam idealmente o maior número de fenômenos possível; e a demanda ontológica ocorre quando os alunos interpretam uma propriedade de um processo como uma propriedade dos objetos (PANE, 2015, p. 40).

São três as demandas de aprendizagem relatadas por Leach e Scott (2002):

- Demanda conceitual: decorre da utilização de concepções alternativas ao invés de conceitos científicos na explicação de um fenômeno;
- Demanda epistemológica: parte da dificuldade de elaborar explicações para conceitos científicos, pois a linguagem cotidiana parece não reconhecer que os modelos e teorias científicas explicam idealmente o maior número de fenômenos possível;
- Demanda ontológica: ocorre quando os estudantes interpretam uma propriedade de um processo como uma propriedade dos objetos, generalizando-as.

De acordo com as dificuldades apresentadas pelos estudantes com relação ao conceito de íons, já relatadas na literatura, a sequência didática elaborada neste projeto tem por base a demanda de aprendizagem conceitual e a demanda epistemológica. Nessa perspectiva, o conceito de íon foi revisado de modo a contribuir para o estabelecimento dos objetivos de aprendizagem a serem alcançados. Também, o conhecimento das concepções dos estudantes, a linguagem que utilizam para expressar os conceitos foram considerados para a elaboração da proposta aplicada.

3.2. Interações em sala de aula e a aprendizagem colaborativa

A sala de aula é um espaço onde ocorrem diferentes formas de interação: interação estudante-estudante, interação estudante-professor, interação estudante-espaço. Quando desenvolvida da maneira adequada, as interações podem levar ao desenvolvimento de capacidades de argumentação, tomada de decisão e, aprendizagem de conceitos de maneira mais eficiente. Algumas pesquisas (LUMPE, 1995; RICHMOND; STRILEY, 1995; BIANCHINI, 1997; TOWNS et al., 2000) relatam que a estratégia de trabalho em grupo, por promover interações entre os pares (estudante-estudante), pode levar a uma melhora no processo de aprendizagem.

Mas, trabalho em grupo não é sinônimo de interação que leva ao desenvolvimento das habilidades citadas anteriormente. De acordo com Johnson e Johnson (1981), os grupos podem ser constituídos em três tipos de estrutura:

- Individualista: não há um objetivo compartilhado entre os membros do grupo;
- Competitiva: as ações dos membros dos grupos acontecem no sentido de competição, ou seja, a medida que as ações de um membro o aproximam da realização do seu objetivo, afasta os outros membros dessa realização.
- Cooperativa: o objetivo do grupo é formado pelos objetivos individuais de cada um dos membros e, desta forma, cada membro toma para si o dever de auxiliar os outros a alcançarem seus objetivos.

Notamos, então, que a atividade em grupo faz sentido para o ensino quando organizada de maneira que seus integrantes trabalham com cooperação. Essa cooperação pode estar relacionada ao conceito de aprendizagem colaborativa que, embora ainda não haja uma definição consensual entre a comunidade científica, pode ser entendida como sendo “o uso instrucional de pequenos grupos para que os alunos trabalhem em conjunto para maximizar o seu próprio aprendizado e o aprendizado do outro” (HOLUBEC, 2008, p.5).

De acordo com Dillenbourgh (1999), a aprendizagem colaborativa acontece quando, diante de uma situação, dois ou mais estudantes aprendem ou procuram aprender algo conjuntamente. Os estudantes, portanto, interagem entre si, e tais interações influenciam os processos cognitivos dos participantes. O processo individual de cognição está presente no grupo, entretanto, quando se estabelecem as interações, outros processos cognitivos acontecem, como a externalização e comparação de ideias, a explicitação de conhecimentos. Tais processos cognitivos

geralmente não estão presentes em situações em que o estudante resolve individualmente um problema. Ainda, essas interações favorecem tanto aqueles estudantes que apresentam um repertório escolar mais restrito quanto os de maior repertório, pois ambos podem se apropriar de novas formas de aprendizagem (DILLENBOURGH, 1999; FIGUEIREDO, 2018)

O método de aprendizagem colaborativa proporciona, então, que os estudantes sejam ativos no processo de aprendizagem, construindo coletivamente o conhecimento, pois o método possibilita questionamentos, trocas de informações e vivências, bem como a reflexão. Em um trabalho, Springer, Stanne e Donovan (1997) relatam maior produtividade de estudantes que aprenderam em grupos pequenos do que os que receberam as mesmas instruções, mas não contaram com o trabalho colaborativo.

O professor, ao propor essa estratégia de ensino, não tem a expectativa de obter uma resposta única dos vários grupos constituídos na sala de aula. Seu papel é o de mediação, orientando os estudantes a confrontarem suas ideias e procurarem uma resolução que seja comum às componentes do grupo.

As principais diferenças entre um grupo tradicional e um grupo de aprendizagem colaborativa estão mostradas no Quadro 1 (baseado em (JOHNSON, JOHNSON, HOLUBEC E ROY, 1984), e Teodoro, 2016).

Quadro 1. Comparação entre grupos de trabalho tradicional e de aprendizagem colaborativa.

Grupos de trabalho tradicional	Grupos de aprendizagem colaborativa
Ênfase na tarefa	Ênfase no processo
Ausência de atenção à aprendizagem dos elementos do grupo	Atenção à aprendizagem dos outros elementos do grupo
Não há responsabilidade individual	Responsabilidade individual
O professor não controla o funcionamento do grupo	O professor atua como mediador do trabalho
Não há responsabilidade partilhada	Responsabilidade mútua partilhada
A efetividade do trabalho não é compartilhada no grupo	O grupo busca a efetividade do trabalho

Fonte: da autora (Adaptado de Johnson et al., 1984, p. 16 e Teodoro, 2016, p. 29).

Na interação entre os membros dos grupos, podemos ressaltar a importância da linguagem e da comunicação para a elaboração de conceitos pelos estudantes:

a linguagem é a nossa principal ferramenta cultural, que usamos para transmitir e compartilhar experiências, dando-lhes sentido de modo coletivo. Também é o principal meio através do qual representamos, para nós mesmos, nossos próprios pensamentos (COSTA; OLIVEIRA; ALVES, 2008, p.88).

Garrido (1996) já explicitava a importância da comunicação e do debate, em seus trabalhos, e atribuía ao professor a tarefa buscar desenvolver nos estudantes essas habilidades:

Cabe ao professor estimular o pensamento cooperativo, engajando os alunos na busca de explicações para os fenômenos que os cercam. Ao tentarem explicar e explicitar as ideias tomam consciência de suas próprias concepções. Enriquecem-se com as colocações e argumentações dos companheiros. Cabe ao professor sobretudo a tarefa de promover o debate com o objetivo de ressaltar o confronto das opiniões com os dados ou a contradição entre diferentes pontos de vista, de modo a tornar o aluno intelectualmente insatisfeito com suas próprias concepções e aberto a elaboração de novas explicações ou à apresentação do modelo científico. A ruptura do aluno com a concepção ingênua do mundo requer que a classe seja um espaço em que os estudantes pensem e não simplesmente um espaço em que o professor informa sobre a visão de mundo dos cientistas (GARRIDO, 1996, p.180-181).

De acordo com Leitão (2007), defender pontos de vista e levar em consideração ideias alternativas são atividades que oportunizam o manejo de divergências de concepções a respeito dos fenômenos.

O discurso científico é construído ao longo de um processo complexo, no qual os argumentos que os estudantes elaboram começam a se tornar cada vez mais coerentes e completos à medida que novas interpretações e ideias são adicionadas a sua fala. Assim, se comunicar com os outros e expressar opiniões e ideias, elaborar e socializar hipóteses, bem como compartilhar conhecimentos pode ser de suma importância para a aprendizagem.

3.3. Representações e elaboração de modelos

Os modelos fazem parte da nossa vida desde a infância, quando brincamos com bonecos e miniaturas, assim como quando vemos modelos de peças antigas em museus. Em situações como essas, os modelos têm como função reproduzir os principais aspectos visuais do objeto que está sendo modelado, buscando reproduzir uma cópia o mais próxima possível da realidade (JUSTI, 2006).

Os modelos tipicamente representam algum aspecto sobre o mundo, ou algum aspecto de nossas teorias sobre o mundo, ou ambos, concomitantemente. Entretanto, os modelos não podem ser assumidos como cópias da realidade, pois são invenções de nossas mentes na tentativa de dar sentido a algo. Concordamos com o ponto de vista expresso por Morrison e Morgan (1999), que modelos são instrumentos que nos permitem relacionar teoria com uma suposta realidade. São, portanto, criações mentais que mediam o processo de relacionar fenômeno e sua explicação.

Como explicita Mortimer (2000, p. 189) um modelo é:

uma imagem que construímos da realidade e que nos ajuda a entendê-la. Nesse sentido, deve haver aspectos em comum entre a realidade e o modelo; uma transformação que ocorre na realidade pode ser representada através do modelo. Isso não significa que o modelo tenha que ser uma cópia exata da realidade e sim que deve representá-la.

A Química, como aponta Johnstone (2006), apresenta três níveis conceituais, um macro, associado aos fenômenos, outro sub-micro, associado às explicações em termos das partículas sub-atômicas, e outro, ainda, representacional, em que se trata dos símbolos, fórmulas. Assim, ao se ensinar Química, é comum se recorrer a modelos relacionados à estrutura da matéria para que se possa buscar explicações para os fenômenos que são abordados.

Alguns estudos têm sido feitos sobre a construção de modelos pelos próprios estudantes em uma atividade de ensino de Química. Essas atividades de modelagem dão oportunidade aos estudantes de expressarem seus modos de compreensão sobre um fenômeno, expondo suas ideias e conhecimentos sobre a natureza submicroscópica da matéria (FERREIRA, 2006; GIBIN; FERREIRA, 2010; MENDONÇA, 2011; SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011).

Deve-se considerar, que existe uma dificuldade por parte dos estudantes em

estabelecer relações entre as transformações que ocorrem em nível fenomenológico e as explicações em nível atômico molecular (MORTIMER, 1995). A utilização da modelagem como recurso didático pode auxiliar os estudantes a estabelecer essas relações.

De acordo com Borges (1999, p. 66):

O construto de modelo mental vem sendo usado em várias áreas do conhecimento humano, embora não exista clareza sobre o seu significado. O interesse em modelos e modelos mentais deve-se, em parte, à aceitação ampla da idéia de que nós só podemos apreender o novo construindo modelos dele, a partir daquilo que já conhecemos.

Johnson-Laird (1983) baseia sua teoria sobre os modelos mentais na ideia de que nós usamos processos cognitivos tácitos para construirmos modelos de eventos e aspectos do mundo. e raciocinamos com esses modelos. Para o autor, a compreensão de um determinado aspecto da realidade ocorre quando se identifica a similitude entre o modelo construído para explicá-lo e a realidade modelada.

Gilbert, Boulter e Elmer (2000) apresentam uma, classificação do status ontológico dos modelos. Algumas das características apontadas por esses autores que podem estar relacionadas a atividades de modelagem estão destacadas:

- Um modelo mental é uma representação cognitiva pessoal;
- O modelo mental expresso é socializado por um indivíduo ou grupo, na maioria das vezes. para que outros indivíduos possam interagir com ele e apresentar outras formas de representação. A expressão por uma pessoa de seu modelo mental tem um efeito sobre o próprio modelo, isto é, ao expressá-lo, ele se altera.
- É possível a um grupo chegar a um modelo de consenso por meio da discussão e experimentação desse modelo (os autores destacam que modelos expressos por cientistas que passaram a ter aceitação por uma comunidade científica, após testes experimentais se tornam modelos científicos; tais modelos, produzidos em um dado contexto histórico, podem ser substituídos, e constituem, para fins de estudo, os chamados modelos históricos Um modelo incluído em um currículo escolar uma versão simplificada de um modelo histórico ou científico..

No ensino, versões simplificadas dos modelos históricos e científicos são elaboradas, podendo ocorrer, para fins da aplicação em sala de aula, a fusão de

algumas características dos vários modelos históricos e científicos, como se fosse um todo coerente.

De acordo com Ferreira (2006):

um modelo de ensino, apesar de apresentar simplificações em relação ao modelo científico ou de retratar apenas alguns aspectos do mesmo, deve preservar a estrutura conceitual do modelo científico correspondente, sem tornar-se incorreto. Entretanto, vários estudos têm mostrado que muitos desses modelos possuem aspectos negativos bem relevantes, que acabam por prejudicar o ensino e/ou aprendizagem dos alunos. Muitas vezes o problema não reside no modelo em si, mas na adequação do seu emprego ou na ausência de uma discussão que estabeleça suas aplicações e suas limitações. (p. 9).

A construção de modelos no ensino de Ciências é um recurso que pode levar os estudantes a esse engajarem no processo de construção do conhecimento, faz com que eles busquem organizar seu pensamento e buscar uma compreensão de fenômenos abstratos.

A respeito disso, Mendonça (2008) cita que:

Em situações regulares de ensino, pode ser possível compreender como o estudante evolui conceitualmente a partir do uso de modelos ao se analisar o processo de ensino vivenciado por ele, o que inclui as interações entre alunos e entre alunos e professor, ou seja, torna-se necessário examinar o contexto social no qual a construção, revisão e avaliação de modelos ocorre (o que vai além dos modelos de mudança conceitual que focavam apenas no aspecto cognitivo). (p. 6).

3.4. Íons

Entre as inúmeras formas de energia, a eletricidade certamente foi de grande importância para o desenvolvimento técnico-científico ao longo dos tempos. Algumas das transformações no modo de vida da nossa sociedade foram fruto da tecnologia desenvolvida a partir das inúmeras pesquisas que contribuíram para a compreensão da natureza da eletricidade.

Fenômenos relativos à eletricidade estática foram descritos já na antiguidade grega. Esses fenômenos ocorrem devido ao acúmulo de carga elétrica positiva ou negativa em um dado material, que pode ser gerado por atrito entre duas superfícies. Alguns séculos antes da era cristã, o filósofo Tales de Mileto (625-550 a.C.) havia observado que friccionando pedaços de âmbar (uma resina natural, de composição baseada em terpenóides e compostos fenólicos) com tecidos de seda, eles adquiriam a propriedade de atrair fragmentos de palha. Como o âmbar era conhecido em grego

pelo nome de “elektron”, nasceu então a palavra eletricidade.

William Gilbert (1540-1603), médico inglês, se dedicou a estudos sobre magnetismo e eletricidade, identificando as diferenças entre esses dois fenômenos. Gilbert, apoiado nas ideias de Galeno sobre os fluidos, procurou explicar a eletrização dos corpos pela liberação de um fluido elétrico, em consequência do aquecimento provocado pelo atrito.

Como menciona Oki (2000), os séculos 17 e 18 trouxeram muitas contribuições aos estudos sobre a eletricidade, com a formulação de muitos conceitos, baseados, principalmente, no pensamento mecânico-corpuscular. A ideia de fluido elétrico era utilizada para definir a eletricidade, ou seja, “uma espécie de fluido invisível e sem peso, que podia passar de um corpo para outro” (OKI, 2000, p. 35).

Charles Du Fay (1692 – 1738), físico francês, procurou explicar os fenômenos de atração e repulsão que ocorriam entre materiais eletrizados e neutros. Fazendo experiências com folhas de ouro, aproximando-as de diferentes materiais eletrificados, verificou que as folhas eram atraídas por materiais como âmbar ou cera, e repelidas por materiais como vidro. Du Fay propôs a existência de dois tipos de eletricidade: a resinosa e a vítrea, sendo que materiais com o mesmo tipo de eletricidade apresentariam repulsão entre si, e materiais com eletricidades diferentes se atrairiam (BOSS et al, 2009).

Contrário à ideia de dois tipos de eletricidade, Benjamin Franklin (1706 – 1790), propôs uma teoria de um único fluido elétrico, que se acumularia na superfície do material, formando uma “atmosfera elétrica” (SILVA; PIMENTEL, 2006). Um material eletricamente carregado apresentaria uma quantidade de fluido elétrico maior ou menor da quantidade dita normal. Como explicam Silva e Pimentel (2006) sobre as ideias de Franklin:

a eletrização de um corpo se daria pelo acúmulo de uma quantidade deste fluido elétrico no corpo às custas da perda da mesma quantidade de fluido elétrico por um outro corpo. O corpo que perdia matéria elétrica foi chamado de *negativo* e o corpo que recebia o excesso era chamado de *positivo* (p.3).

Nessa mesma época, Luigi Galvani (1737 – 1798), com seus estudos sobre eletricidade em medicina, propôs a existência de uma eletricidade animal, manifestada pela transmissão pelos nervos de um fluido elétrico gerado pelo cérebro. Tais ideias

foram baseadas em seus experimentos de contração muscular de rãs dissecadas, quando os músculos eram tocados por objetos metálicos e uma contração ocorria. Galvani fez uma série de experimentos com as rãs presas em grades de ferro ao ar livre, querendo verificar o efeito da eletricidade atmosférica, entretanto, observou contrações apenas quando os ganchos metálicos que prendiam os animais foram pressionados contra a grade de ferro. Desses experimentos, Galvani chegou à conclusão que alguma forma de eletricidade intrínseca, a qual chamou de eletricidade animal, existia nos animais, e era manifestada quando os nervos e músculos eram conectados por um condutor elétrico (PICCOLINO, 1998).

O físico Alessandro Volta (1745 – 1827), que estudava fenômenos associados à eletricidade, analisou os experimentos de Galvani, propondo uma explicação diferente. Com seus estudos, concebeu uma nova interpretação para aqueles experimentos, baseada no princípio de uma ação elétrica gerada por contato metálico. Assim, os músculos das rãs atuavam apenas como um sensor de eletricidade externa e não como uma fonte de energia interna (TOLENTINO, ROCHA-FILHO, 2000). Sua teoria do contato metálico foi a base para a construção da primeira pilha elétrica. Segundo Volta, o contato de dois metais gerava cargas opostas, positivas e negativas, e quando esses metais eram separados por um fluido condutor, uma corrente elétrica era gerada.

A pilha de Volta gerou muitas outras pesquisas no campo da eletricidade, e uma das questões que mobilizavam esses estudos era a origem da corrente elétrica. Humphry Davi (1778 – 1829), ao realizar experimentos com a pilha elétrica, propôs que a eletricidade dependia da ocorrência de uma reação química e não simplesmente do contato entre os metais, como preconizava Volta. (OKI, 2000).

O início do século XIX foi marcado, entre outros temas no campo da Química, pelo estudo de transformações químicas provocadas pela corrente elétrica. Michael Faraday (1791 – 1867), interessou-se pelos trabalhos de Davi, com o qual foi trabalhar, estudando as reações produzidas por ação de corrente elétrica, verificou que a quantidade de reagentes que se transformavam era proporcional à quantidade de eletricidade que atravessa o sistema. O estabelecimento dessa relação, embora não fosse explicada, deu origem a muitos estudos quantitativos.

Faraday introduziu a denominação de catodo e anodo para indicar os polos opostos de um sistema eletrolítico, de eletrólito, para designar as substâncias que

sofriam decomposição pela corrente elétrica e eletrólise, esse processo de transformação. Ainda, ele propôs que, no meio reacional, a corrente elétrica era transportada através da solução ou do material fundido por partículas, as quais chamou de íons. As partículas que se dirigiam ao anodo do sistema, Faraday designou de ânions, e as que iam para o catodo, de cátions. Embora, tenha identificado os íons como partículas transportadoras de eletricidade, Faraday não descreveu a natureza dessas partículas (GALACHE, CAMACHO, RODRIGUEZ, 1991).

A ideia de existência de partículas carregadas provenientes do próprio eletrólito se movimentando em solução, sem a necessidade de corrente elétrica externa, foi proposta pela primeira vez pelo físico alemão Rudolph Clausius (1822 – 1888), na metade do século XIX. Clausius afirmava que o número de partículas “eletropositivas” e eletronegativas era igual uma vez que a solução eletrolítica não possuía carga elétrica (PETIT, 2016).

O químico sueco Svante Arrhenius (1859 - 1927), propôs, em 1887, a teoria da dissociação iônica, para explicar a condutibilidade elétrica de eletrólitos em solução aquosa. Segundo Arrhenius, os eletrólitos se dissociavam parcialmente em íons quando se dissolviam em água, quer dizer, os íons eram produzidos como consequência da dissolução. Assim, um sal AB, por exemplo, poderia existir como moléculas não dissociadas e como íons A^+ e B^- , de maneira que em solução aquosa existiria um equilíbrio $AB \rightleftharpoons A^+ B^-$, com a diluição, haveria aumento das espécies iônicas em diluição infinita, existiriam apenas essas (DE BERG, 2003). Embora a teoria de Arrhenius aproximasse muitas das ideias da época, ela não foi bem aceita nos meios científicos. Um dos argumentos contra a ideia de dissociação iônica dizia respeito à dissociação de NaCl em água, em que não se sentia o cheiro característico do cloro, tampouco se percebia a reação de sódio com água, como era esperado acontecer (DE BERG, 2003). Parece que alguns químicos da época, não admitiam a diferença entre um íon de sódio e um átomo de sódio.

Somente com os conhecimentos sobre a estrutura da matéria pode-se entender a natureza elétrica da matéria, consequentemente a natureza dos íons.

Atualmente, a IUPAC¹, no compêndio de terminologia química, o “gold book”², apresenta as seguintes definições:

¹ IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry.

² IUPAC compendium of chemical terminology – the gold book. Disponível em: <<https://goldbook.iupac.org/>>. Acesso em 05/05/2019.

- Íon: uma partícula atômica ou molecular que possui uma carga elétrica líquida (an atomic or molecular particle having a net electric charge).
- Ânion: espécies monoatômicas ou poliatômicas que possuem uma ou mais cargas elementares do elétron (a monoatomic or polyatomic species having one or more elementary charges of the electron).
- Cátion - espécies monoatômicas ou poliatômicas que possuem uma ou mais cargas elementares do próton (a monoatomic or polyatomic species having one or more elementary charges of the proton (tradução nossa)).

A definição do conceito de íons apresentada Brown, Lemay e Bursten (2005) no livro “Química a Ciência Central”:

O núcleo de um átomo não se torna carregado por processos químicos ordinários, mas os átomos podem facilmente ganhar ou perder elétrons. Se elétrons são removidos ou adicionados a um átomo neutro, uma partícula carregada chamada íon é formada. Um íon com uma carga positiva é chamado de cátion; um íon carregado negativamente é chamado de ânion (p. 46).

4. Revisão Bibliográfica

A pesquisa em Ensino de Química tem revelado um alto nível de abstração dos conteúdos estudados em química, como a estrutura da matéria. Esse fato pode ser relacionado à dificuldade apresentada pelos estudantes na compreensão de conceitos sobre a natureza submicroscópica das substâncias, incluindo o conceito de íons (ADADAN, 2012; TAN, TABER, 2009).

Muitos estudos têm abordado a dificuldade de aprendizagem de conceitos que envolvem a estrutura da matéria. Nesta revisão, vamos focar trabalhos que procuraram conhecer ideias dos estudantes sobre o conceito de íon, tema de nossa investigação.

França, Marcondes e Carmo (2009), procuraram conhecer como os estudantes do ensino médio concebem a estrutura atômica e a formação de íons. Participaram da pesquisa 211 estudantes de quatro escolas estaduais do município de São Paulo, os quais responderam a um questionário com quatro questões abertas com os seguintes objetivos: verificar qual era o modelo de átomo que os estudantes conheciam e como consideravam a possibilidade de transferência de elétrons entre átomos. Dentre as dificuldades e concepções alternativas apresentadas pelos estudantes que participaram desta pesquisa estão:

- explicações em nível macroscópico da estrutura da matéria;
- compreensão do átomo como sendo indivisível;
- não aceitação da ideia de separação de elétrons de um átomo;
- não compreensão da diferença entre átomo, íon e molécula;
- similaridade entre conceitos de átomo e íon;
- não relaciona estrutura atômica e ligações químicas com íons;
- a neutralidade elétrica do átomo é relacionada à regra do octeto.

Os autores apontam que os estudantes não estabeleceram relações entre as representações de átomos e íons, mesmo quando estimulados a refletirem sobre uma entidade mais específica, como o átomo de sódio. Os autores sugerem que o conceito de íon deva ser introduzido em estreita relação com o modelo atômico que explica a natureza elétrica da matéria.

França (2009), baseado no modelo de reestruturação conceitual proposto por Pozo (2002), elaborou uma sequência de aulas para o ensino de íons. Iniciando pelo

conhecimento das concepções que os estudantes apresentavam sobre a estrutura da matéria e sobre íons. A partir desse levantamento, em que percebeu que os estudantes reconheciam a existência de diferentes modelos, mas os confundiam, o autor discutiu os modelos atômicos e convidou os estudantes a utilizarem essas ideias para explicar o teste de chamas³. A partir das explicações dos estudantes, o autor discute a possibilidade de os átomos perderem ou ganharem elétrons. França conclui que a apresentação e discussão do desenvolvimento histórico dos modelos sobre os átomos foi importante etapa no processo de elaboração do conceito de íon, pois ficam evidentes as relações entre esse conceito e a estrutura da matéria.

Carmona (2006), em seu artigo, propõe introduzir o ensino de estrutura eletrônica de átomos na educação básica. Assim, descreve uma proposta didática e apresenta uma investigação das possíveis concepções alternativas dos estudantes e dificuldades de aprendizagem sobre o tema:

- Com relação ao estado elétrico de um átomo, os estudantes confundem “ter carga” com “estar carregado”;
- Entendem neutralidade elétrica de um átomo como se o átomo estivesse carregado positiva e negativamente, de forma simultânea;
- Confundem neutralidade elétrica com a estabilidade eletrônica de um átomo;
- Entendem que a estabilidade atômica depende sempre do ganho de elétrons pelos átomos;
- Associam o caráter metálico ao fato de um elemento, em termos da regra do octeto, precisar ganhar ou perder poucos elétrons para atingir a estabilidade eletrônica;
- Assumem que um elemento metálico é aquele que possui muitos elétrons, não observando então os elétrons da camada mais externa – de valência;

De acordo com Carmona (2006) a introdução ao tema ainda no ensino básico possibilita aos estudantes uma compreensão adequada sobre a estrutura e propriedades da matéria.

Caamaño e Maestre (2004) abordam, em seu artigo, o desenvolvimento de um processo didático que permite construir com os estudantes o conceito de íon em

³ Teste de chamas: trata-se do aquecimento em alta temperatura de amostras de diferentes sais, evidenciando-se diferentes cores, de acordo com o cátion presente.

soluções e, posteriormente, em estado sólido. Os autores trazem também aspectos do contexto histórico da elaboração deste conceito, ressaltando a importância de se abordarem esses aspectos no ensino.

Com relação às dificuldades apresentadas por estudantes em compreender o conceito de íons, Caamaño e Maestre (2004) apontam que:

La mayoría de los cursos de química en la educación secundaria introducen el concepto de ión después de establecer la estructura electrónica de los átomos. Definen un ión como "un átomo que ha ganado o perdido electrones en su última capa". Tal forma de introducir el concepto de ión acostumbra a ser consecuencia de una filosofía didáctica transmisiva de los conceptos y las teorías de la química (p. 29).

Dessa forma, Caamaño e Maestre (2013) propõem como construir o conceito de íons em aula:

Hemos esbozado un itinerario didáctico para construir el concepto de ión como una entidad química diferenciada de los átomos. Hemos partido del estudio de la electrólisis de un electrolito molecular en disolución acuosa con objeto de interpretar la conductividad eléctrica de la disolución, la reacción química de descomposición que tiene lugar y la relación entre la carga eléctrica que circula y la cantidad de los elementos que se liberan. De este modo hemos establecido la Idea de ión como un átomo con una carga determinada. A continuación hemos intentado responder a una serie de preguntas sobre el proceso de formación de estos iones, en disolución, aventurando hipótesis que hemos contrastado con evidencias experimentales relacionadas con las propiedades físico-químicas de las disoluciones de los electrolitos. Por último, hemos diferenciado dos tipos de electrolitos, los moleculares y los iónicos, lo que nos ha llevado a aceptar la existencia de iones en estado sólido (p.34).

Os autores propõem iniciar o estudo visando a elaboração do conceito de íons por uma série de perguntas teóricas, relacionando-as a evidências experimentais. Para tal, sugerem a eletrólise de solução aquosa de HCl, questionando os estudantes sobre a condutibilidade elétrica da solução e de como se formam cloro e hidrogênio. Assim, pretendem discutir a migração dos íons aos eletrodos e as reações que acontecem quando os íons chegam aos eletrodos. Uma discussão sobre a carga dos íons possibilita o estabelecimento de relação com a estrutura da matéria e, dessa maneira, pode-se alcançar a formação do conceito de íon.

Caamaño e Maestre (2013) afirmam, ainda, que se deve levar em consideração a evolução histórica do conceito e as dificuldades conceituais apresentadas pelos estudantes e trabalhar atividades experimentais, nas quais os estudantes tenham de interpretar, investigar e elaborar de hipóteses mediante

evidências experimentais.

Quanto a estudos sobre aprendizagem colaborativa, a maior parte das pesquisas encontradas na literatura diz respeito a trabalhos em ambientes virtuais e ensino à distância. Poucos são os estudos sobre essa estratégia aplicada ao ensino de Ciências, em particular, à Química. Teodoro (2016) faz um extenso levantamento das publicações sobre aprendizagem colaborativa e cooperativa, na área do ensino de ciências, em periódicos nacionais, internacionais e nos anais do ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências) a partir de 1978 até 2013. Na literatura nacional, o autor apontou 5 trabalhos que abordam a aprendizagem colaborativa em aulas de Química.

Encontramos um número muito reduzido de trabalhos visando a aprendizagem de conceitos específicos de Química por meio da aprendizagem colaborativa. Pereira (2018), apresenta um estudo com foco no conceito de termoquímica. A estratégia de colaboração foi aplicada na resolução de questões após terem sido dadas aulas sobre o assunto. Os estudantes da 2ª série de um curso técnico integrado de ensino médio, em grupos de 2 a 3, procuraram responder a questões baseados nos conhecimentos mobilizados nas aulas. O autor verificou que a colaboração foi estabelecida entre os estudantes, que formularam respostas a partir de certos caminhos, diferentes daqueles tratados nas aulas. Segundo Pereira, a abordagem colaborativa possibilitou interações entre os pares, de maneira que cada estudante teve uma co-responsabilidade na aprendizagem dos colegas.

Silva e Soares (2011) investigaram a elaboração de conceitos e as interações entre os estudantes, em uma atividade de aprendizagem colaborativa baseada na leitura de textos. Os estudantes, de classes de 1ª série do ensino médio, deveriam interpretar tais textos, mobilizar seus conceitos de química, discuti-los no grupo e auxiliar os colegas na compreensão das ideias. Os autores apontam que os estudantes recorreram aos seus conhecimentos prévios para a interpretação do texto e que, a partir da exposição desses conhecimentos, houve a tentativa de elaboração conjunta de conceitos. Salientam que a mediação do professor foi importante nesse processo. Silva e Soares destacam que é necessário que se atribua maior relevância aos conhecimentos que o estudante já tem, pois foi a partir deles que se estabeleceu o processo de colaboração.

Costa, Oliveira e Alves (2008) relatam, em seu trabalho, uma pesquisa

realizada com 29 estudantes da 8ª série do Ensino Fundamental. O objetivo dos pesquisadores era analisar a construção individual e coletiva das explicações dos estudantes para um fenômeno observado em um experimento demonstrativo do conteúdo de ligações iônicas.

A aula foi planejada utilizando o trabalho em grupo (aprendizagem colaborativa) como recurso para promover a interação entre os estudantes e, desta forma foi dividida em diversos momentos, nos quais os estudantes tiveram a oportunidade de socializar suas hipóteses, dialogar e debater suas ideias a respeito do tema.

Foram analisados pelos pesquisadores os seguintes dados: resposta escrita de cada estudante nos diferentes momentos da aula; diálogo (interações) do grupo transcrito; resposta (explicação para o fenômeno) no início e no final da aula de cada estudante, bem como as respostas elaboradas pelos grupos formados espontaneamente e pelos grupos que foram recombinaados. As respostas foram categorizadas, de acordo com o instrumento elaborado por Mortimer e Scott (2002), como descrições, explicações ou generalizações, de natureza empírica ou teórica.

Os pesquisadores puderam concluir, a partir desta pesquisa, que a discussão realizada em grupo contribuiu para uma evolução e complexificação das explicações dos estudantes para o fenômeno.

Além do conteúdo específico, os alunos tiveram oportunidades de aprender a argumentar de várias formas. Ao fazer isso, principalmente na interação com os colegas, eles estavam aprendendo a levar em conta outras perspectivas e, portanto, tomando consciência do seu próprio ponto de vista (p. 104).

Desta forma, sobre as interações ocorridas em sala de aula, os autores concordam e trazem a citação dos pesquisadores Ajello, Pontecorvo e Marco (2005), que afirmam que estas podem:

“... ativar uma situação de aprendizagem, que se caracteriza pelo fato de que (principalmente por meio de oposições recíprocas mais ou menos fortes) os interlocutores produzem argumentos que são expressos como concessões, justificações, elaborações, em geral como formas de desenvolvimento de um raciocínio coletivo” (p. 247).

5. Metodologia

A análise em uma perspectiva integrada pode nos levar a uma melhor compreensão do fenômeno naquele contexto do qual ele faz parte (GODOY, 1995).

Visto que, na referida pesquisa, buscamos compreender o fenômeno de forma integral, observando e refletindo a respeito de diferentes aspectos da construção de conceitos, a pesquisa que desenvolvemos pode ser considerada uma pesquisa de natureza qualitativa.

Para se desenvolver esse tipo de pesquisa, segundo Godoy (1995):

[...] o pesquisador vai a campo buscando captar o fenômeno em estudo a partir da perspectiva das pessoas nele envolvidas, considerando todos os pontos de vista relevantes. Vários tipos de dados são coletados e analisados para que se entenda a dinâmica do fenômeno. Partindo de questões amplas que vão se aclarando no decorrer da investigação, o estudo qualitativo pode, no entanto, ser conduzido através de diferentes caminhos (p. 21).

Esse tipo de pesquisa apresenta, desta forma, características como: a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal; é descritiva, o interesse está no processo e não simplesmente em resultados e produtos; os dados tendem a serem analisados de forma indutiva e o significado é de importância vital nesse tipo de abordagem (BOGDAN; BIKLEN, 2006).

Em um esforço para melhor compreender os fenômenos investigados realizamos uma revisão bibliográfica nas bases de dados de revistas e periódicos de Educação em Química sobre o conceito de íons e sua aprendizagem pelos estudantes. Essa revisão mostrou-se uma etapa de suma importância no processo de planejamento dessa sequência didática, pois esse momento nos possibilitou reconhecer muitas das dificuldades e concepções alternativas com relação ao conceito de íons manifestadas por estudantes, que já haviam sido relatadas na literatura.

Em síntese, os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa consistem em quatro etapas: elaboração da sequência didática e intervenções piloto; replanejamento da sequência didática; elaboração dos instrumentos de coleta de informações; e métodos de análise das informações coletadas na implementação da sequência didática.

5.1. Elaboração da sequência didática

Um dos produtos desta pesquisa, a sequência didática intitulada *Condutibilidade elétrica e formação de íons* foi planejada para abordar o conceito de íons. Na elaboração, além do olhar atento àquelas dificuldades com relação ao conceito manifestadas por estudantes em estudos anteriores, buscamos, ainda, abranger estratégias que priorizassem a participação ativa do estudante, como a experimentação e atividades de modelagem.

Partindo desses princípios, sintetizamos, na Figura 1, os momentos que foram planejados, inicialmente, para essa sequência. Os detalhes desses momentos são apresentados na seção de resultados e discussões.

Figura 1. Momentos da sequência didática reformulada.

Fonte: da autora.

A seguir, faremos a descrição de cada um dos momentos planejados para a sequência didática final:

- 1º momento – Situação problema: No primeiro momento da sequência os estudantes responderam a um questionário para que se conhecessem as concepções prévias a respeito do que são íons e dos conhecimentos a respeito da estrutura da matéria.

A seguir, foi apresentada uma situação problema a respeito da condutibilidade elétrica da água e da água do mar. A partir disto os estudantes foram instigados a elaborar hipóteses sobre o fenômeno. Esse momento foi feito em conjunto, em diálogo entre a turma e a pesquisadora.

- 2º momento – Experimentação: Os estudantes, em grupos de no máximo 4 estudantes, realizaram um experimento de condutibilidade elétrica de diferentes materiais. A discussão feita em cada grupo foi gravada e os estudantes receberam um instrumento para elaborar uma conclusão, individualmente, sobre o experimento.

- 3º momento – Elaboração de hipóteses: Os estudantes de um grupo foram convidados a expor seus modelos explicativos elaborados individualmente e, após discussão, formularam, em grupo, uma explicação para a ocorrência do fenômeno da condutibilidade elétrica.

- 4º momento – Modelo de Bohr e formação de íons: No quarto momento da sequência foi feita uma apresentação pela pesquisadora sobre o modelo atômico de Bohr, de maneira a dar subsídios para a elaboração do conceito de íon. Os estudantes foram solicitados a construir, em grupo, representações do átomo de sódio e de cloro, bem como dos seus respectivos íons.

- 5º momento – Representações dos fenômenos estudados no experimento: Os estudantes construíram, individualmente, as representações a nível submicroscópico do fenômeno da condutibilidade elétrica por eles observado na atividade experimental. Para isto, cada um dos estudantes, elaborou uma representação de como eles imaginavam ser o estado sólido do cloreto de sódio, do sal no estado líquido, do processo de dissolução em água do sal e da solução.

Cada uma dessas representações foi discutida pelo grupo e uma única representação resultante dessas discussões foi elaborada.

- 6º momento – Síntese: Ao final destas atividades, cada grupo de estudantes elaborou uma síntese e fez uma apresentação de seus modelos

explicativos do fenômeno da condutibilidade elétrica para a turma.

- 7º momento – Potencial de ionização (ampliação): No sétimo momento da aula, foi feita uma ampliação pela pesquisadora, tratando da formação de outros íons. A partir da discussão dos potenciais de ionização, fez-se uma generalização do conceito de íons, explicando a formação de íons bivalentes e trivalentes, por exemplo.
- 8º momento – Aplicação de instrumento de metacognição para avaliar a participação social e cognitiva dos grupos de estudantes. Além disso, este instrumento também teve a finalidade de avaliar o conhecimento químico elaborado pelo estudante durante a sequência didática proposta.

Colaboraram com essa pesquisa estudantes do segundo ano do Ensino Médio, que preferencialmente já haviam estudado os modelos atômicos. Os estudantes foram convidados a participar de uma oficina de dois dias no período extra turno. A participação desses não foi condicionada à nota, assim participaram apenas estudantes que se mostraram interessados na oportunidade.

Todos os colaboradores da pesquisa, ou responsáveis legais, assinaram termos de consentimento livre e esclarecido e de autorização de videogravação sigilosa. Não incluímos na etapa de análise nenhuma informação daqueles estudantes que não assinaram os termos, não responderam aos questionários aplicados durante as atividades, bem como dos estudantes que participaram apenas de uma parte da intervenção.

5.2. Intervenções piloto

Inicialmente, implementamos a sequência planejada como uma intervenção piloto para dois grupos de estudantes do segundo ano do Ensino Médio de duas escolas públicas. O primeiro grupo, constituído por 15 de estudantes, de uma escola no bairro Vila Madalena na cidade de São Paulo e, o segundo grupo, por 17 estudantes do município de Santo André, no Estado de São Paulo.

Pretendíamos, com essas intervenções piloto, verificar a adequação de alguns aspectos da sequência elaborada, tais como: tempo demandado para as atividades propostas, clareza dos enunciados, interações possibilitadas pelas atividades, adequação dos recursos didáticos, grau de dificuldade conceitual, entre outros.

A partir desse estudo, nos empenhamos em fazer as adaptações necessárias para que a sequência pudesse ser aplicada novamente em situação real de ensino. Então, após modificações, uma terceira intervenção piloto foi realizada com 34 estudantes de uma escola da rede privada de ensino no município de São Bernardo do Campo, SP. Essa intervenção foi realizada por uma professora com uma ampla bagagem de sala de aula e esse fato nos possibilitou ter um retorno da professora a respeito dos momentos planejados para a sequência.

Assim, realizamos as últimas modificações na sequência elaborada e implementamos a última versão, que é fruto desse estudo, em uma escola da prefeitura no município de Barueri, SP. Contamos, nesse momento, com a colaboração de 17 estudantes. Esta última aplicação será o foco principal de análise neste trabalho.

5.3. Coleta de informações

Por se tratar de uma pesquisa com perspectiva qualitativa, é importante procurar captar o maior número possível de detalhes durante a coleta de informações. Desta forma, escolhemos utilizar a técnica de videogravação para a coleta de informações durante a implementação da sequência didática, além disso recolhemos registros escritos dos estudantes, registros esses que não foram obrigatórios aos estudantes, assim servirão apenas como suporte para discussão dos resultados.

A transcrição de trechos da videogravação se constitui como a principal fonte de informações para o estudo das interações, entre os estudantes e entre estudantes e professora, que ocorrem em sala de aula durante a implementação da sequência didática.

A fim de avaliarmos como se deu o processo de construção do conceito de íons pelos estudantes na implementação dessa sequência utilizamos instrumentos para coleta de informações na forma de questionários. O primeiro questionário (denominado nas páginas a seguir como Questionário inicial) foi planejado para buscar compreender o que o estudante já sabia a respeito do tema de estudo e também buscar compreender suas concepções alternativas. O instrumento aplicado, individualmente, no início da aula contou com quatro perguntas:

1. A estrutura do átomo foi e ainda é estudada por diversos cientistas. Embora não possamos vê-lo, há diversas evidências de como é a estrutura do átomo e, desta

forma, os cientistas criaram modelos, que são representações mentais de como seria um átomo. Desenhe, como você imagina que seja um átomo de sódio.

2. Os átomos são formados de diferentes partículas, uma delas, os elétrons. Você acha que é possível retirar elétrons de um átomo? Explique.

3. O que você entende por íons? Como você imagina que os íons são formados?

4. Como você explicaria o fato de que alguns materiais conduzem corrente elétrica, como por exemplo o fio de cobre presente na fiação elétrica da nossa casa, e outros não, como por exemplo um calçado de borracha?

O segundo questionário (denominado nas páginas a seguir como Questionário final) foi elaborado para que pudéssemos verificar possíveis evoluções conceituais nas manifestações dos estudantes ao final da implementação da sequência didática. Desta forma, utilizamos questões conceitualmente semelhantes às aquelas utilizadas no questionário inicial, no entanto mudando a abordagem. Novamente, foram apresentadas quatro questões:

1. O que você entende por íons?

2. Desenhe como você imagina que seja um íon Ca^{+2} .

3. O que é, para você, corrente elétrica?

4. Como você explicaria o fato de que alguns materiais conduzem corrente elétrica e outros não? Explique o fenômeno da condutibilidade elétrica, dando exemplos, se possível.

A utilização do recurso de representação pelos colaboradores da pesquisa foi planejada para um momento de organização do pensamento dentro da sequência didática. Para isso, elaboramos cartões em que as representações seriam feitas e cada um dos grupos recebeu um pacote com diversos círculos de papel colorido recortados, representando cada uma das espécies envolvidas no fenômeno estudado. Os colaboradores receberam instruções por escrito de quais eram as representações que eles deveriam fazer.

Foram três os momentos da sequência em que os estudantes deveriam elaborar as representações. A primeira representação, feita no cartão SÓLIDO/LÍQUIDO, no qual os estudantes deveriam representar como eles pensavam os íons de sódio e de cloro no cloreto de sódio sólido, representando os íons nos cristais do sal de cozinha. A seguir, os colaboradores deveriam representar os íons

de sódio e de cloro no cloreto de sódio líquido, que é obtido quando os cristais de cloreto de sódio são aquecidos até a temperatura de fusão deste sal

No segundo momento de representação, os colaboradores utilizaram o cartão DISSOLUÇÃO/SOLUÇÃO para representar como imaginavam que se encontravam os íons de sódio e os de cloro e as moléculas de água nessa solução. Além disso, representaram o processo que ocorre na dissolução do sal em água.

A terceira, e última, foi a representação de um átomo e de seu respectivo íon, utilizando o modelo de Bohr e considerando, entretanto, a quantidade de nêutrons no núcleo do átomo.

Utilizamos, por fim, um instrumento de metacognição, para que os colaboradores procurassem avaliar a si mesmos, seu empenho, seu aprendizado e as interações que ocorreram durante a implementação da sequência didática. Para isso, planejamos as seguintes perguntas que norteariam a reflexão dos colaboradores:

1. Você aprendeu alguma coisa nova nesta oficina?
2. O experimento do teste de condutibilidade elétrica ajudou você a compreender melhor os íons?
3. O trabalho com as representações ajudou você a pensar sobre uma explicação plausível para o fenômeno de condutibilidade elétrica?
4. Você acha que o trabalho no seu grupo colaborativo ajudou a elaborar as ideias a respeito do tema estudado? Explique.

As informações obtidas com a implementação da sequência didática junto aos estudantes foram analisadas quanto às interações dos estudantes em sala de aula, bem como, quanto às concepções manifestadas pelos estudantes no exercício da elaboração explicações e, também, de representações para os fenômenos relacionados ao conceito de íons.

5.4. Métodos de análise

Para a análise das informações coletadas foi utilizada a técnica da Análise do Conteúdo proposta por Bardin (2010). Tal técnica baseia-se em três etapas: pré-análise, onde o material foi organizado, as aulas foram transcritas e as primeiras hipóteses foram levantadas; exploração do material com a criação das categorias e códigos de análise e, por fim, a etapa de tratamento, com a categorização e

codificação das informações coletadas.

5.4.1. Análise dos questionários

Com a leitura das respostas dos estudantes nos questionários pré e pós desenvolvimento da sequência didática, foi possível identificar concepções sobre: a possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons, o conceito de íon, a representação submicroscópica de um átomo ou íon, a condutibilidade elétrica e a corrente elétrica. Para cada um desses itens foram identificadas palavras ou termos semelhantes, a partir dos quais foram criadas as categorias, como descritas no Quadro 2. Cabe ressaltar que tais categorias não são excludentes, de modo que, a ideia do estudante pode permear por uma ou mais categorias.

Quadro 2. Categorias encontradas a priori nos questionários.

Área	Categoria	Descrição
Possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons	Estabilidade	Considera a necessidade de estabilidade ou a regra do octeto para explicar a perda ou o ganho de elétrons por um átomo
	Ligação Química	Considera a possibilidade de perda ou ganho de elétrons por um átomo por meio de ligações químicas
	Reação Química	Considera que um átomo perde ou ganha elétrons por meio de reações químicas
Conceito de íon	Presença de cargas	Define íons pela presença de cargas elétricas
	Cargas formadas por reações químicas	Considera que as cargas elétricas que caracterizam os íons são formadas a partir de reações químicas
	Átomos e compostos iônicos	Define íon como átomos ou compostos dotados de cargas elétricas, podendo possuir cargas positivas ou negativas
	Estabilidade	Considera os íons instáveis e, por isso, precisam fazer ligações para se estabilizarem segundo a regra do octeto
	Dissociação e ionização	Justifica a formação dos íons a partir da ionização e da dissociação iônica
	Eletricidade	Define o conceito de íons pela

		capacidade desses de gerar eletricidade ou corrente elétrica
Representação submicroscópica de um átomo ou íon	Núcleo e eletrosfera	Representação a eletrosfera e do núcleo do átomo
	Átomo como esfera	Representa uma esfera, sem distinguir núcleo e eletrosfera ou representar as partículas subatômicas. Se assemelha ao modelo atômico de Dalton.
	Partículas subatômicas	Representa todas as partículas subatômicas: prótons, nêutrons e elétrons
	Quantidade de partículas subatômicas	Representa uma determinada quantidade de partículas subatômicas de um átomo de sódio
	Representação Simbólica	Representa o símbolo do elemento e não um modelo submicroscópico
	Formação do íon	Representa o processo de formação do íon, ou seja, o átomo eletricamente neutro perdendo ou ganhando elétron
Condutibilidade elétrica	Carga e mobilidade	Justifica o fenômeno da condução elétrica pela presença de cargas elétricas em movimento
	Ligação química	Justifica o fenômeno da condução elétrica a partir do tipo de ligação química que forma o material
	Íons livres	Justifica o fenômeno da condução elétrica pela presença de elétrons ou íons livres no material condutor, inclusive alguns mencionam a analogia do “mar de elétrons”.
Corrente elétrica	Cargas elétricas	Associa o conceito de corrente elétrica à presença de cargas elétricas
	Íons livres	Associa o conceito de corrente elétrica aos íons livres
	Elétrons livres	Associa o conceito de corrente elétrica aos elétrons livres
	Movimento das cargas elétricas	Associa o conceito de corrente elétrica ao movimento de cargas elétricas, sejam elas elétrons ou íons
	Eletricidade ou fonte de energia	Define corrente elétrica como eletricidade ou uma fonte de energia

Fonte: da autora.

Posteriormente, foram criados códigos que indicam o nível de compreensão

ou aprofundamento conceitual para cada uma das categorias, sendo eles: 0 - não responde ou não manifesta a categoria; 1- manifesta a categoria de maneira incorreta; 2 - manifesta esta categoria, mas não explicita adequadamente; 3 - manifesta esta categoria, responde de maneira correta.

Inicialmente, as respostas de cada uma das perguntas do questionário inicial foram lidas individualmente pela pesquisadora. Essa primeira leitura-flutuante permitiu observar alguns padrões de respostas e, a partir dessas, as categorias foram elaboradas. Na medida em que as respostas se diferenciavam umas das outras, novas categorias eram criadas. A descrição dessas categorias foi sendo modificada e complementada ao longo desse processo de leitura, posteriormente essas categorias receberam nomeações de acordo com o principal aspecto apresentado na descrição.

Em um segundo momento, uma leitura cuidadosa de cada uma das respostas foi realizada e buscou-se alocar cada uma das respostas na descrição de uma das categorias elaboradas. O mesmo foi realizado com o questionário final e, assim, pudemos novamente buscar uma melhor abrangência e adequação das descrições de cada uma das categorias e, analisamos a necessidade de acrescentar categorias.

Buscando facilitar a análise posterior foram designadas cinco áreas para as categorias (vide Quadro 2), desta forma as áreas são os pontos de convergência que permitem uma comparação entre as respostas dos estudantes nos questionários inicial e final.

As categorias elaboradas foram validadas por participantes de nosso grupo de pesquisa. Essa etapa contou com a participação de 13 pesquisadores: três doutores, três doutorandas, uma mestra e seis mestrandos. Para a validação, os pesquisadores tiveram acesso às respostas dos estudantes e puderam categorizá-las, estas respostas foram trocadas entre eles até que todas as respostas tivessem sido analisadas por pelo menos dois dos pesquisadores do grupo. Ao final desse processo, os pesquisadores expuseram em quais categorias eles alocaram as respostas e realizamos uma discussão das discrepâncias encontradas até chegarmos a um consenso.

5.4.2. Análise dos modelos elaborados pelos estudantes

Os modelos que os estudantes elaboraram no decorrer da sequência didática

serviram de instrumento de análise para que pudéssemos caracterizar a adequação conceitual dos modelos mentais criados por eles para explicar o fenômeno da condutibilidade elétrica.

Assim, analisamos as representações apresentadas para o cloreto de sódio quanto ao:

- Número de partículas no sólido.
- Mesmo número de partículas de cargas diferentes no líquido.
- Mesmo número de partículas de cargas diferentes no sólido.
- Mesmo número de partículas de cargas diferentes do sólido se conserva no líquido.
- Presença de água no líquido.
- Cátion e ânion separados ou juntos no sólido.
- Cátion e ânion separados ou juntos no líquido.
- Representação de par iônico e de íons separados no processo de dissolução.
- Representação de par iônico e de íons separados na solução.
- Presença de moléculas de água na solução, quantidade.
- Interação entre íons e moléculas de água na solução.

5.4.3. Análise das interações em sala

Para a análise das interações em sala de aula, assistimos aos vídeos das aulas, observando e transcrevendo os momentos principais de interação. Desta forma, as falas dos estudantes e da pesquisadora transcritas foram divididas em diferentes episódios de interação para facilitar a análise, sendo dispostas de forma cronológica.

A análise da interação em sala de aula foi realizada por meio do instrumento elaborado por Souza e Marcondes (2013). Este instrumento parte da categorização das interações que ocorrem em sala de aula em duas dimensões, verbal e cognitiva. Os autores definem as duas dimensões:

- Dimensão verbal: “se refere ao caráter, propósitos e estratégias comunicativas das declarações feitas em sala de aula; a segunda dimensão” (SOUZA; MARCONDES, 2013, p. 97).
- Dimensão cognitiva: “se refere aos caminhos e estratégias cognitivas

pelos quais o conhecimento é construído de forma individual ou coletiva na realização de atividades e resolução de problema” (SOUZA; MARCONDES, 2013, p. 97).

Para cada uma destas dimensões, Souza e Marcondes (2013) elaboraram categorias de interações descritas por um código (vide quadros 3 e 4).

Cada fala foi enquadrada em uma ou mais categorias de análise da dimensão verbal, bem como da dimensão cognitiva. Portanto, a quantidade de interações categorizadas é superior à quantidade de falas durante os episódios, isso acontece devido à natureza das interações que são distintas. Por exemplo, uma fala da pesquisadora pode, ao mesmo tempo, ser uma repetição da fala de um estudante e trazer, logo em seguida, um questionamento, fazendo parte, assim, de duas categorias diferentes das interações verbais.

As categorias propostas por Souza e Marcondes (2013) são descritas a seguir:

Quadro 3. Categorias de análise da dimensão verbal das interações em sala de aula.

Categoria	Código	Descrição
Questionamento	Q	Proposição de uma questão.
Resposta	R	Informação dada em decorrência de uma questão.
Feedback	FB	Avaliação de uma resposta. Pode ser tanto positivo, confirmando uma resposta correta, quanto negativo.
Ditado	D	Pronúncia de algo com objetivo de que o ouvinte escreva o que foi dito.
Repetição	REP	Repetição da fala do outro. Não apresenta função cognitiva de grande valor. Usa-se geralmente para demonstrar atenção e valorização da fala do outro (função afetiva).
Leitura	L	Leitura de texto ou outra linguagem simbólica tal como gráfico ou tabela (sem interpretação).
Afirmação	AF	Fazer uma declaração ou dar uma informação.
Organização	O	Informação para organizar/ordenar uma atividade ou o grupo.
Convite	C	Chamada para a participação na aula através de uma opinião, comentário ou resposta.

Fonte: SOUZA e MARCONDES (p. 102, 2013).

Quadro 4. Categorias de análise da dimensão cognitiva das interações em sala de aula.

	Categoria	Código	Descrição
Ordem Mais Baixa	Questão retórica	QR	Questão feita para organizar o próprio pensamento, sem que haja intenção de que alguém a responda.
	Questão de confirmação	QC	Questão para avaliar se a última informação dada foi assimilada pelo ouvinte. Geralmente usa-se de questões curtas, do tipo “Você entendeu?” ou “Alguma dúvida?”.
	Questão fechada	QF	Questão que apresenta apenas uma ou poucas respostas corretas. São questões que buscam como resposta informações e não uma opinião pessoal ou uma explicação.
	Resposta descritiva	RD	Descreve um fenômeno ou objeto; apresenta as características observadas sem a explicação do fato.
	Resposta informativa	RI	Uma informação específica, como o nome de uma substância, a classificação de um ácido ou a definição de um conceito.
	Complete	CP	Inicia-se uma frase para que alguém a complete. Tem função e valor cognitivo semelhante à QF e são contadas entre as Q.
	Discordância	DIS	Apresenta uma divergência de ideias. Geralmente são frases curtas e sem justificativa.
	Concordância	CON	Apresenta uma convergência de ideias. Geralmente são frases curtas e sem justificativa.
	Revisão	REV	Relembra ideias vistas anteriormente.
	Exemplificação	EX	Oferece um exemplo como resposta a uma questão, ilustração de uma ideia ou demonstração da aplicação de um conceito.
	Paráfrase	PAR	Tradução de uma ideia com outras palavras para demonstrar entendimento.
	Informação	INF	Exposição de teorias, dados ou regras sem prévio

Ordem Mais Alta			requerimento.
	Reformulação	REF	Refazer uma ideia, conciliar ou negociar significados em busca de uma ideia mais correta.
	Questão aberta	QA	Questão que possibilita diversas respostas ou formas de respondê-las, sendo comum na explicação de fenômenos.
	Questão de equilíbrio	QD	Questão feita para que o questionado reflita, amplie ou reformule uma resposta dada a outra questão ou ideia apresentada por ele. Pode ser uma questão do tipo aberta como “Por quê?” ou um pedido de esclarecimento como “Justifique sua resposta”.
	Questão subjetiva	QS	Questão que busca saber a opinião pessoal do questionado. Não há resposta certa ou errada.
	Resposta explicativa	RE	Composição de ideias para elaborar uma explicação de um fenômeno.
	Síntese, resumo ou generalização	SIN	Junção de diferentes informações para a composição de uma ideia mais complexa ou abrangente. Resumo das ideias anteriormente discutidas.
	Análise	ANLS	Decomposição de uma ideia complexa e abrangente em fragmentos mais simples.
	Hipótese	HIP	Levantamento de uma teoria provável, uma suposição admissível.
	Analogia	ANLG	Explicação de uma ideia complexa através de uma comparação com outras coisas de fácil compreensão.
	Juízo de valores	JV	Avaliação e tomada de posição embasada nos conhecimentos adquiridos, na moral e na ética.

Fonte: SOUZA e MARCONDES (p. 102, 2013).

Além disso, realizamos uma análise a respeito do conteúdo dessas falas. Neste momento verificamos: concepções dos estudantes, ideias iniciais;

inadequações conceituais e de linguagem; quem elaborou hipóteses e a conclusão, a professora ou os estudantes.

A análise das interações, categorizadas nas dimensões verbal e cognitiva foi realizada nos cinco episódios de interações que correspondem aos vários momentos da intervenção. Assim foram considerados: episódio 1 – introdução ao assunto, com o objetivo de evocação de conhecimentos; episódio 2 – aproximação ao tema de estudo (cloreto de sódio) e sua composição; episódio 3 – elaboração de hipóteses, durante a atividade experimental, a respeito do fenômeno da condutibilidade elétrica; episódio 4 – introdução aos modelos explicativos do fenômeno; e por fim, o episódio 5 – síntese das atividades desenvolvidas durante a sequência e explicação do fenômeno.

Utilizando a quantidade de falas dos professores e dos estudantes, a quantidade de questionamentos e respostas, bem como a quantidade de Interações Verbais (IV) que ocorreram durante os episódios da sequência didática, foi realizado o cálculo da interatividade de cada episódio, bem como da interatividade total da aula.

A interatividade foi calculada considerando-se a participação dos estudantes (porcentagem de falas dos estudantes em relação ao total de falas) e o número de questões e respostas nas interações verbais (porcentagem de questionamentos e respostas em relação ao total de interações verbais). Assim, para se calcular a interatividade é feita uma média aritmética entre $A \times 100 / (A + P)$ e $(Q + R) \times 100 / IV$.

Para obter o nível cognitivo que foi atingido em cada um dos episódios da sequência foram realizados cálculos considerando-se a porcentagem de Interações Cognitivas de Ordem Alta (ICOA) em relação ao total de interações cognitivas, ou seja, o somatório de Interações Cognitivas de Ordem Alta e Interações Cognitivas de ordem Baixa (ICOA + ICOB) e a porcentagem de questionamentos e respostas de ordem cognitiva mais alta (QROA) em relação ao total de questionamentos e respostas, ou melhor, o somatório da quantidade de questionamentos e respostas de Ordem Mais Alta e a quantidade de questionamentos e respostas de Ordem Mais Baixa (QROA + QROB). Foi feita uma média aritmética entre esses dois valores: $ICOA \times 100 / (ICOA + ICOB)$ e $QROA \times 100 / (QROA + QROB)$.

Fizemos uma comparação entre interatividade com o nível cognitivo. Elaboramos um quadro, separando-o em quatro quadrantes que caracterizam a aula em níveis cognitivos e de interatividade:

Ao relacionar o nível cognitivo e a interatividade de cada um dos episódios da aula pudemos fazer uma caracterização geral da intervenção quanto ao seu nível cognitivo e interatividade. A Figura 2 apresenta um exemplo do gráfico que se pode obter utilizando esta metodologia:

Figura 2. Caracterização da sequência didática.

Fonte: adaptado de SOUZA e MARCONDES (2013).

Nesta figura são apresentados quatro quadrantes e, de acordo com a distribuição dos episódios ao plotar o gráfico a partir da interatividade e do nível cognitivo destes respectivos episódios, o momento da intervenção pode ser caracterizado pelo quadrante em que aparecer o maior número de pontos (episódios). Desta forma cada um dos quadrantes do gráfico caracteriza o momento da intervenção como:

- 1º quadrante: interativa de alto nível cognitivo;
- 2º quadrante: pouco interativa de alto nível cognitivo;
- 3º quadrante: interativa de baixo nível cognitivo;
- 4º quadrante: pouco interativa de baixo nível cognitivo.

O fato de estes quadrantes estarem separados por uma linha que demarca os eixos na unidade 40, tanto do eixo das ordenadas quanto das abscissas, se deve ao

fato de que é considerado que no processo de ensino-aprendizagem haja uma quantidade superior de falas do professor, visto que se pode: “considerar a importância da fala do professor de ciências, pois repousa sobre ele a incumbência de conduzir a aula” (SOUZA; MARCONDES, 2013, p. 108), bem como espera-se que o número de falas do professor seja superior em relação aos estudantes “pela necessidade intrínseca de um modelo didático de transmissão cultural em certos momentos, dependendo de quais conteúdos científicos se deseja ensinar” (SOUZA; MARCONDES, 2013, p. 109).

Também, é preciso ponderar que, possivelmente as interações cognitivas de ordem mais baixa aparecerão com muito mais frequência que as de ordem mais alta, isso acontece porque “em alguns momentos a construção de ideias mais elaboradas podem ocorrer através do uso de sequências adequadas de interações cognitivas de ordem mais baixa” (SOUZA; MARCONDES, 2013, p. 109).

Desta forma, considera-se, então, como uma aula de nível cognitivo baixo aquela em que menos de 40% das interações cognitivas forem de ordem mais alta. Aulas com mais de 40% de interações cognitivas de ordem mais alta seriam consideradas como aulas de nível cognitivo alto.

Assim, com base nas demandas de aprendizagem previamente identificadas na literatura e, levando em consideração a análise das interações em sala de aula e das representações elaboradas pelos estudantes, foi possível demarcar os pontos positivos e negativos da sequência didática elaborada. A partir dessas observações a sequência foi reformulada buscando melhor atender aos objetivos desta pesquisa.

6. Resultados e Análise

Nesta seção apresentamos inicialmente a descrição do piloto da sequência didática planejada e aplicada e, posteriormente, as análises que foram realizadas desta com o intuito de identificar os episódios que deveriam ser modificados para a aplicação da sequência final. Apresentamos, também, como a sequência didática foi reformulada, os resultados e análises da aplicação final, realizada com 16 estudantes.

6.1. Descrição da sequência piloto aplicada

A pesquisadora inicia a aula pedindo para que os estudantes não se intimidem com a câmera e explica que a presença desta é para coleta e análise de dados que será realizada pela própria pesquisadora.

No primeiro momento, todos os estudantes estão na mesma bancada, em frente à pesquisadora, pois essa primeira parte da aula foi planejada para ser trabalhada em conjunto já que o experimento foi demonstrativo (pela falta de tempo) e porque havia apenas um modelo para representação dos átomos e íons.

1º momento - Introdução / levantamento de concepções

Inicialmente, a pesquisadora questiona os estudantes se eles já tinham ouvido falar que não se pode mudar a temperatura do chuveiro sem desligá-lo, alguns estudantes respondem que sim porque pode dar choque, um outro estudante responde que “dá choque térmico” e a colega diz pra ele “dá choque, mas térmico não”. A discussão encaminha quando a pesquisadora dá exemplo de um eletricista que, ao trabalhar com a fiação de uma casa, não pode trabalhar descalço. A pesquisadora dá um segundo exemplo, perguntando aos estudantes se eles se já ouviram falar de pessoas que morreram atingidos por raios que caem na água do mar, ela questiona por que que isso acontece.

A pesquisadora explica aos estudantes que nessa aula eles estudariam

condutibilidade elétrica e que existe uma forma de saber se certas substâncias conduzem ou não corrente elétrica. Inicia-se então o experimento de forma demonstrativa, explicando como funciona o equipamento⁴ e, posteriormente, fazendo o teste para a água de torneira, água do mar, solução de cloreto de sódio, solução de sacarose, hidróxido de sódio fundido, solução de hidróxido de sódio.

2º momento - Elaboração de hipóteses

Os estudantes recebem uma folha com uma tabela para fazerem anotações individuais das suas observações sobre o experimento. Durante a execução do experimento questionamentos são feitos para levar os estudantes a refletirem sobre os fenômenos que estão acontecendo, como por exemplo, o que é corrente elétrica, qual a diferença dos estados físicos da matéria, porque o mesmo material no estado sólido não conduz corrente elétrica, mas em seu estado líquido conduz e acende a lâmpada.

Nesse momento, os estudantes começam a elaborar hipóteses de porque a água da torneira não ter acendido a lâmpada e a água do mar sim. No entanto, são poucos estudantes que falam e interagem durante a discussão.

3º momento - Elaboração do conceito de íons

A pesquisadora inicia, a partir dos questionamentos, uma atividade de representação dos átomos de sódio e de cloro e de seus respectivos íons, a partir do modelo atômico de Bohr. Para iniciar a atividade, a pesquisadora relembra, juntamente com os estudantes, alguns dos modelos atômicos que eles já haviam estudado, como os de Dalton e Rutherford, até chegar ao modelo de Bohr.

Dessa forma, a pesquisadora começa a explicar os princípios do modelo atômico de Bohr. Os estudantes falam quais são as partículas que compõem um átomo e discute-se sobre suas cargas elétricas e o que diferencia um átomo de um elemento do de outro elemento. Explica-se também sobre as camadas eletrônicas e a quantidade de elétrons que cada uma delas comporta.

⁴ Utilizou-se um dispositivo com três lâmpadas de potências diferentes, com as extremidades do fio elétrico desencapado, de maneira a tocar o sistema que está sendo alvo da medida de condutibilidade.

Fornecendo aos estudantes, como subsídio, a quantidade de prótons, elétrons e nêutrons que o átomo de sódio e cloro possuem é solicitado que eles representem em uma cartolina como estas partículas estariam distribuídas na representação do modelo. Dois estudantes representam os átomos e então discutimos sobre a possibilidade da perda ou ganho de elétrons formando íons, neste momento a pesquisadora traz, desenhando no quadro, as representações formais dos íons que foram representados no modelo.

Embora à época em que Bohr propôs suas ideias sobre a estrutura dos átomos, os nêutrons não fossem conhecidos (só o foram em 1932), foi uma decisão nossa introduzir a quantidade de nêutrons, para que os estudantes pudessem incorporar conhecimentos mais atuais.

4º momento - Movimento dos íons e corrente elétrica

Discute-se, posteriormente, a importância do movimento das cargas elétricas para se ter corrente elétrica e qual a influência dos estados físicos nessa mobilidade. Os estudantes, então, formam grupos e é solicitado que façam uma representação do cloreto de sódio em algumas situações. É dada uma folha com instruções para essa representação, na qual pede-se que os estudantes representem os estados sólido e líquido do sal, bem como o processo de dissolução do sal e como estariam esses íons em uma solução aquosa de cloreto de sódio.

Na medida em que os estudantes conversam em seus grupos e fazem as representações, a pesquisadora passa de grupo em grupo questionando e fazendo discussões que levem os estudantes a pensarem sobre suas representações.

5º momento - Explicação química do fenômeno

Por fim, é feita uma discussão a respeito das representações e pede-se que os estudantes expliquem a condução elétrica observada no experimento.

6.2. Análise das representações elaboradas pelos estudantes

O terceiro momento da sequência didática, foi planejado para que, ao final deste, os estudantes compreendessem o conceito de íons e como eles são formados.

De acordo com Carmona (2006), uma forma de conduzir o estudante à elaboração do conceito de íons é a construção do modelo atômico, pois ao representar os prótons e os elétrons na estrutura atômica o estudante pode perceber as interações eletrostáticas entre eles e, assim, a possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons, formando um íon.

Sendo assim, foi fornecida aos estudantes, como subsídio, a quantidade de prótons, elétrons e nêutrons que os átomos de sódio e de cloro possuem, e foi solicitado que eles representassem, em uma cartolina, como essas partículas estariam distribuídas no átomo, tendo como referência o modelo de núcleo e eletrosfera, com as camadas eletrônicas. Nesse momento, dois estudantes se dispuseram a cumprir a tarefa que é dada à turma e, com o auxílio dos outros, fizeram as representações solicitadas. Discutimos, então, sobre a possibilidade da perda ou do ganho de elétrons por um átomo, formando íons e, posteriormente, é feita a representação dos íons Na^+ e Cl^- utilizando o mesmo modelo.

Figura 3 (a) e (b). Estudantes representando o núcleo do átomo de sódio

Fonte: da autora.

Pode-se observar na Figura 3 (a) que, ao representar o átomo de sódio, o estudante começa a distribuição pelas partículas do núcleo. Os nêutrons e prótons são dispostos no núcleo de forma organizada, de um lado nêutrons e de outro, prótons. É possível observar também que o núcleo por eles representado (Figura 3 (b)) ocupa uma grande circunferência, quase indo ao encontro da primeira órbita do modelo atômico.

Já, na Figura 4 (a), é possível perceber que, ao dispor os elétrons do átomo

de cloro no modelo, estes são organizados da camada mais interna para a mais externa, o que mostra uma compreensão dos postulados de Bohr pelos estudantes.

Observa-se, na Figura 4 (b), relativa à representação do átomo de cloro, que, novamente, os estudantes representam um núcleo com uma circunferência relativamente grande, na qual os prótons e nêutrons estão organizados de forma segregada, não respeitando as interações eletrostáticas. Os elétrons foram devidamente distribuídos nas camadas eletrônicas, da mais interna para a mais externa. Podemos inferir, então, que os estudantes compreendem como os elétrons estão distribuídos nas camadas, no entanto mostram dificuldade em representar a estrutura do núcleo do átomo, pois, apesar de o núcleo estar carregado positivamente, os prótons e os nêutrons estão segregados e ocupam uma circunferência que não é proporcional. De La Fuentes et al. (2003) relacionam esta dificuldade que os estudantes demonstram para construir um modelo para um átomo ao fato de as dimensões atômicas serem um aspecto muito afastado dos que os nossos sentidos podem perceber.

Figura 4 (a) e (b). Representação do átomo de cloro.

Fonte: da autora.

A representação que os estudantes elaboram para o núcleo atômico pode, também, estar associada à representação para o modelo atômico encontrada em alguns os livros didáticos, nos quais não se especifica como os prótons e neutrôns estão dispostos no núcleo do átomo. Por exemplo, a Figura 5 apresenta a imagem, retirada do volume 1 do livro Química Cidadã, embora represente um modelo mais atual do átomo, não se pode perceber a representação de nêutrons e prótons no

núcleo, e sim apenas um tipo de partícula.

Figura 5. Representações do modelo atômico no livro didático Química Cidadã.

Fonte: Santos.; Mól (2014, v.1, p.172).

Já, no livro Ser Protagonista, a Figura 6 ilustra o núcleo do átomo formado por dois tipos de partículas, porém, sem representação de cargas positivas.

Figura 6. Representação do átomo de lítio.

Fonte: Antunes (2013, v.1, p.99).

As partículas estão organizadas de forma que os nêutrons estão dispostos no centro e os prótons ao redor destes, havendo uma segregação entre estas partículas, como foi representado também pelos estudantes na Figura 4 (b).

Dessa forma, como os livros didáticos são uma das principais fontes de consulta dos estudantes e dos professores, podemos inferir que a ausência da

explicação de como os prótons e neutrões estão distribuídos no núcleo pode causar uma concepção alternativa de que as partículas estão segregadas. Isso também acontece porque as representações não seguem um padrão cientificamente aceito e, nas representações do modelo atômico encontradas nos livros, a forma de se representar o núcleo do átomo não se mantém, hora o núcleo é representado sem a indicação das partículas, hora estas partículas são representadas, mas com diversas organizações.

No quarto momento da aula, os estudantes são convidados a formarem grupos para fazer representações do cloreto de sódio em diferentes contextos. O objetivo dessa atividade é a de se procurar relacionar os fenômenos observados na demonstração experimental (condutibilidade elétrica de materiais) a explicações em nível da estrutura da matéria. Assim, ao fazerem tais representações, os estudantes podem compreender as condições necessárias para que haja condução de corrente elétrica em soluções aquosas e sólidos fundidos e também compreender por que alguns sólidos não conduzem corrente, enquanto em solução há condução, por conta do movimento dos íons. Para isto, os estudantes recebem uma folha com instruções

Em grupo, utilize as representações dos íons de cloro e de sódio, bem como as moléculas de água para fazer representações nos cartões pretos.

Primeiramente, no cartão SÓLIDO/LÍQUIDO:

1. Represente, no retângulo que indica SÓLIDO, os íons de sódio e cloro no cloreto de sódio sólido, representando os íons nos cristais do sal de cozinha.
2. Represente, no retângulo que indica LÍQUIDO, os íons de sódio e cloro no cloreto de sódio líquido. O NaCl líquido é obtido quando os cristais de NaCl são aquecidos até a temperatura de fusão deste sal (801°C).

No cartão DISSOLUÇÃO/SOLUÇÃO:

1. Represente, no retângulo que indica SOLUÇÃO, os íons de sódio e cloro uma solução aquosa de cloreto de sódio.
2. Represente, no retângulo que indica DISSOLUÇÃO, o processo de dissolução do cloreto de sódio sólido em água.

para essas representações:

Quadro 5. Instruções para as representações.

Fonte: da autora.

A representação elaborada pelos estudantes do grupo 4 (Figura 7a), nos possibilitou inferir que, por terem feito a representação do estado sólido com apenas um par iônico, os estudantes podem não saber que o estado sólido do sal cloreto de sódio é formado por um retículo cristalino. Possivelmente, eles também entendem que um único par iônico pode representar o todo, uma ideia substancialista de que a partícula tem propriedade do todo (SILVEIRA, 2003):

O substancialismo suplanta a ideia de que as propriedades são substanciais, ou seja, são atributos inerentes às substâncias. Desta forma, por exemplo, não é possível entender a propriedade como fruto das relações estabelecidas entre as substâncias ou entre uma substância e a energia, pois substâncias possuem propriedades e isto justifica o todo observado. É esta ideia substancialista que define um obstáculo substancialista, ou seja, este sempre será relacionado à condensação de explicações a partir do objeto que encerra todas as possibilidades (SILVEIRA, 2003, p.42).

Figura 7 (a) e (b). Representações dos estudantes dos grupos 4 e 1 para o sal NaCl.

Fonte: da autora.

Os estudantes do grupo 4 podem ter confundido estado líquido do cloreto de sódio com uma solução deste sal, pois mesmo depois de ter sido explicado a eles que este sal em sua forma líquida era obtido a partir da fusão do sólido, os estudantes representaram o estado líquido com os íons Na^+ e Cl^- separados e uma molécula de água. Os estudantes não representam o processo de dissolução, apenas os íons separados e nenhuma molécula de água; a representação da solução de cloreto de sódio fica exatamente igual a representação que este grupo fez para o estado líquido, os íons separados e uma molécula de água.

A solução também é representada por apenas um íon de sódio e um íon de

cloro com uma molécula de água, representação esta, que também foi encontrada por Silva, Eichler e Del Pino (2012) em uma pesquisa em que cerca de um terço dos estudantes participantes também apresentaram esta representação unitária, concordamos com a explicação dada por eles:

Uma vez que a proporção de moléculas de solvente é maior que a de partículas do soluto seria mais adequado representar o fenômeno a partir da coleção de partículas. O fenômeno da solubilidade é explicado, pelos professores e pelos autores de livros didáticos, através da solvatação, que em sua definição e representação envolve um conjunto de moléculas solventes para as partículas do soluto. Dessa forma, quando o estudante utiliza uma representação por unidades pode-se depreender que a solvatação é um conceito que não está suficientemente diferenciado pelo aluno (SILVA; EICHLER; DEL PINO, 2012, p. 10).

Na representação (Figura 7b), feita pelos estudantes do grupo 1, nota-se que, ao representarem o estado sólido do cloreto de sódio, há uma igualdade na quantidade de íons Na^+ e Cl^- e estes são dispostos de forma organizada, cada íon Na^+ não interage somente com um íon Cl^- , mas também com outros íons Cl^- , o que sugere a compreensão de uma estrutura no sólido, mesmo que esta estrutura não seja parecida com o retículo cristalino do NaCl .

O estado líquido é representado corretamente, existe uma distância entre os íons e manteve-se a proporcionalidade entre eles. Na representação do processo de dissolução pode-se perceber que os estudantes representaram a água interagindo com os íons Na^+ e Cl^- , no entanto todos os íons estão separados, não é representada a possibilidade de ainda haver NaCl que não foi solubilizado.

Há um equívoco na representação da solução, pois os íons se encontram unidos, formando NaCl em meio a moléculas de água dispostas aleatoriamente. Para esses estudantes é forte a ideia de que o sal é molecular, e traz indícios ainda de que esses estudantes não consideram as forças eletrostáticas entre os íons. Isso demonstra que estudante pode não compreender o que é uma solução formada por água e cloreto de sódio, ou por um sal solúvel. Se assim fosse, não haveria condução de corrente elétrica por essa solução.

Na representação elaborada pelos estudantes do grupo 2 (Figura 8a), observa-se que os estudantes também não representaram o retículo cristalino do sal NaCl , mas, ao representarem o estado sólido, há uma proporção na quantidade de íons Na^+ e Cl^- e estes se encontram organizados de forma que os cátions estão juntos e centralizados e os ânions sobre os cátions. Essa observação é um indício de que os

estudantes desse grupo também não consideram as forças eletrostáticas entre os íons envolvidos.

Figura 8 (a) e (b). Representações dos estudantes do grupo 2 para o sal NaCl.

Fonte: da autora.

Esta representação pode revelar que os estudantes compreendem que há uma organização dos íons para formar o cloreto de sódio sólido, embora eles não saibam como se dá esta organização.

Os estudantes demonstram uma confusão entre o processo de fusão e o de dissolução do cloreto de sódio, pois representaram vários íons Na^+ e Cl^- em meio a moléculas de água. A representação do processo de dissolução não mostra interação da água com o NaCl e todos os íons encontram-se separados, se assemelhando a representação que este grupo elaborou para o estado líquido do NaCl.

A representação da solução se assemelha à do estado sólido, assim pode-se observar que não houve a continuidade que era esperada na representação do processo sólido/dissolução/solução, cada uma das etapas parece ser representada separadamente, sem vínculo uma com a outra, e isso pode indicar que os estudantes não compreenderam esse processo, nem o que é uma solução.

Essa representação (Figura 8b) é a reformulação da Figura 8a, também elaborada pelos estudantes do grupo 2 após orientações dadas pela pesquisadora, como, por exemplo, um questionamento que ela faz aos estudantes sobre a representação dos íons na solução, se quando estivessem solvatados pela água eles ainda ficariam unidos ou não. Mesmo com os questionamentos da pesquisadora sobre a solvatação e a influência da água, essa ainda não é representada pelos estudantes

na solução.

No processo sólido/dissolução/solução representado, as moléculas de água que aparecem na dissolução foram suprimidas na representação da solução, dessa forma podemos inferir que talvez os estudantes não compreendam o conceito de solução.

Apesar de as representações do estado sólido e do processo de dissolução terem sido mantidas, verifica-se que a solução, anteriormente representada da mesma forma que o estado sólido, passa a ser representada sem um aglomerado de íons. Alguns cátions e ânions são representados combinados e outros separados, a distribuição destes é aleatória, visto que, além dos íons separados encontram-se dois Cl^- unidos a um Na^+ e também um Cl^- unido a dois Na^+ . Há um balanço das cargas representadas, a soma de todas as cargas positivas é exatamente igual à soma das cargas negativas e solução.

Figura 9 (a) e (b). Representações dos estudantes do grupo 3 para o sal NaCl.

Fonte: da autora.

Na representação (Figura 9a) feita pelos estudantes do grupo 3, observa-se que, ao representarem o estado sólido, os estudantes mantêm uma proporção na quantidade de íons Na^+ e Cl^- e organizam os íons com os ânions em volta dos cátions. O estado líquido é representado com os cátions separados dos ânions, mas já não se mantém a proporcionalidade que havia sido representada no estado sólido. O processo de dissolução é representado por vários íons Na^+ e Cl^- em meio a moléculas de água; os estudantes compreendem que uma solução de cloreto de sódio possui os íons Na^+ e Cl^- e moléculas de água, e representam os íons unidos às moléculas de

água, o que pode ser uma evidência que eles sabem que há uma interação entre o sal e a água, mesmo não entendendo de que forma ocorre essa interação.

A representação elaborada para a solução já foi observada por Mendonça (2008) ao trabalhar com atividades de modelagem para o tema ligação iônica com uma turma de primeiro ano do ensino Médio. Ao solicitar que os estudantes pensassem em um modelo para a dissolução do sal de cozinha em água, uma das representações produzidas pelos estudantes é esta a seguir:

Figura 10. Modelo de dissolução do sal de cozinha em água.

Fonte: Mendonça (2008, p.93).

A incoerência presente na representação da solução de cloreto de sódio, em que as partículas do soluto se ligam às partículas do solvente, já foi relatada outras vezes na literatura como uma concepção alternativa (ECHEVERRÍA, 1996). Mendonça (2011) associa essa dificuldade ao fato da pouca utilização de modelos no Ensino de Química. Pode-se inferir, também, que, ao representar o processo de dissolução, os estudantes podem ter pensado o processo a partir do cloreto de sódio líquido e não no cloreto de sódio sólido.

A Figura 9b é a reformulação da 9a, também elaborada pelos estudantes do grupo 3 após orientações dadas pela pesquisadora de forma dialógica, onde se discutiu com o grupo as representações que eles haviam feito. Essa discussão partiu de questionamentos como, por exemplo: se o processo de dissolução era feito a partir do sólido em meio aquoso porque todos os íons já estavam representados separados; porque os estudantes uniram as partículas para representar as soluções; se haveria movimento das cargas se as partículas estivessem unidas desta forma.

Nota-se que não há alterações na representação do estado sólido do NaCl, no entanto as representações do processo de dissolução e a solução são reformuladas. O grupo representa no processo de dissolução aproximação entre partículas de água e do NaCl e também alguns íons Na^+ e Cl^- já separados. Já, na

representação da solução, em vez do aglomerado de água e íons, eles passam a representar os íons e as moléculas de água separadamente.

Figura 11 (a) e (b). Representações dos estudantes do grupo 5 para o sal NaCl.

Fonte: da autora.

Na representação (Figura 11a), feita pelos estudantes do grupo 5, pode-se observar que, ao representarem o estado sólido do cloreto de sódio, há uma proporção na quantidade de íons Na^+ e Cl^- e estes também se encontram organizados de forma que os cátions circundam os ânions. Essa representação pode ter sido elaborada pensando no modelo atômico, pois assim como os estudantes representaram um aglomerado de cargas no núcleo do átomo, parecem repetir esse tipo de organização para o estado sólido do NaCl, porém com cargas negativas ao centro e positivas externamente.

Para representar o estado líquido, o grupo manteve a proporção de ânions e cátions e, apesar de agora estes estarem separados, aparentemente ainda se mantém o sistema de um núcleo, cátions ao centro e ânions circundando-os; no processo de dissolução os estudantes representaram os íons já separados, de forma organizada e proporcional, e nenhuma molécula de água estava presente no processo.

A representação elaborada para a solução é interessante, pois os estudantes deixam de lado a proporcionalidade e representam alguns íons separados, mas a maioria das moléculas de água representadas se concentra em uma extremidade da representação, o que pode indicar que os estudantes supõem que não há interação entre os íons e a água. Podemos inferir que os estudantes não têm noção da interação entre a água e os íons.

A Figura 11b apresenta a reformulação da 11a, também elaborada pelos estudantes do grupo 5 após alguns questionamentos feitos pela pesquisadora, como por exemplo, o porquê de não haver moléculas de água na representação da dissolução; como acontecia o processo de dissolução e se todos os íons já estariam solvatados durante o processo; e também a respeito da proporcionalidade dos íons em solução.

Observa-se que não há alterações na representação do estado sólido do NaCl, no entanto as representações do processo de dissolução e a solução são reformuladas. O processo de dissolução passa a ser representado agora com alguns pares de íons Na^+ e Cl^- unidos e íons separados, os estudantes também acrescentaram moléculas de água à representação.

A única alteração que o grupo fez na representação da solução foi a de deixar a quantidade de íons Na^+ e Cl^- proporcional, representando apenas um par de íons, no entanto as moléculas de água ainda são representadas separadas dos íons em uma extremidade da representação. É possível inferir, ainda, que os estudantes não entenderam o processo, isto é, que existe uma interação entre os íons e a água para formar a solução.

Nas figuras 7a e 11a, que representam o processo de dissolução, e nas Figuras 8a e 8b, que representam a solução aquosa de cloreto de sódio, pode-se observar que os estudantes não apresentaram moléculas de água. Em um trabalho que procurou identificar concepções dos estudantes sobre a formação de soluções, Echeverría (1996) questiona os estudantes se, durante o processo de dissolução, aconteceriam mudanças com o sal e com a água, sobre isso a autora comenta:

[...] a maioria das respostas demonstrou que os alunos, mesmo afirmando que a dissolução tinha ocorrido na água, não admitiu que o fenômeno era causado pela interação entre as duas substâncias. Alguns chegaram a declarar que a água não era importante nesse processo. A expressão utilizada com frequência para explicar as mudanças na água era que ela ficava salgada. Nenhum entrevistado referiu-se à solvatação de íons, o que evidencia a ausência de uma compreensão microscópica da dissolução. (ECHEVERRIA, 1996, p.16)

A autora, citando Cachapuz e Martins (1988)⁵, comenta que os estudantes, apesar de evidenciarem saber que o sal se dissocia em íons na água, eles atribuem à água um papel secundário no processo.

⁵ Cachapuz, A, Martins, I P. Language in Chemistry learning: a study of pupils' conceptions of acid/ base reactions. Artigo de circulação interna, 1988

Dessa forma, podemos inferir que os estudantes participantes desse estudo, ao elaborarem suas representações, podem, também, ter interpretado que a água seria um coadjuvante no processo de dissolução. Parece que os estudantes não criaram modelos mentais sobre os fenômenos observados no experimento, ou não associaram as observações dos experimentos na hora de construir os modelos explicativos a partir destas representações.

A fim de resumir os dados obtidos, o quadro 6, a seguir, foi construído. A partir destes dados podemos inferir que, dos três grupos que reelaboraram suas representações após a intervenção da pesquisadora:

- o grupo 2 (Figuras 8a e 8b) não teve nenhuma evolução na sua representação;
- o grupo 3, que representava os íons separados no processo de dissolução, passou, então, a representar tanto pares iônicos quanto íons separados, o que pode mostrar que ele compreendeu que o processo de dissolução partiria do sal sólido e que, durante o processo nem todo sal estaria dissolvido em água;
- o grupo 3, que antes representava em solução as moléculas de água agregadas aos íons Na e Cl, passa a representar as moléculas mescladas aos íons em solução, o que pode também representar um tipo de interação, mas mostra que o estudante pode ter compreendido que não há a formação de uma nova substância quando há dissolução de um sal em água;
- o grupo 5, ao reelaborar a representação do processo de dissolução passou a representar tanto pares iônicos quanto íons separados. Diferentemente da representação anterior, na qual o grupo só representava os íons separados, o que pode mostrar que ele compreendeu que para representar o processo era preciso representar as partículas de sal que ainda estariam em solução, e também as partículas já dissolvidas em água.

Podemos inferir então que, nesse processo, pode ter havido estabelecimento, de maneira geral, de uma fraca relação entre o fenomenológico e explicações em nível submicroscópico, uma vez que os modelos criados pelos estudantes pouco refletem os dados experimentais. Nesse aspecto, a mediação pela pesquisadora também pareceu não ter sido conduzida de uma forma eficiente, pois não foi suficiente para desequilibrar as ideias dos estudantes, devendo ser reformulada na proposição da sequência didática.

Quadro 6 – Sistematização dos dados obtidos na análise das representações dos estudantes.

Figura	Grupo	Número de partículas no sólido: - Apenas 1 par iônico - Mais de 1 par iônico	Mesmo número de partículas de cargas diferentes no líquido	Mesmo número de partículas de cargas diferentes no sólido	Mesmo número de partículas de cargas diferentes do sólido se conserva no líquido	Presença de água no líquido	Cátion e ânion separados ou juntos no sólido	Cátion e ânion separados ou juntos no líquido	Representação de par iônico e de íons separados no processo de dissolução	Representação de par iônico e de íons separados na solução	Presença de moléculas de água na solução, quantidade	Interação entre íons e moléculas de água na solução, tipo
7a	4	1	Sim	Sim	Sim	Sim	Juntos	Separados	Íons	Não	Sim, uma	Sim
7b	1	Mais de 1	Sim	Sim	Sim	Não	Juntos	Separados	Íons	Sim	Sim, mais de uma	Sim, mesclados
8a	2	Mais de 1	Sim	Sim	Sim	Sim	Juntos	Separados	Íons	Não	Não	Sim, mesclado
8b	2	Mais de 1	Sim	Sim	Sim	-	Juntos	-	Íons	Não	Não	-
9a	3	Mais de 1	Não	Sim	Não	Não	Juntos	Separados	Íons	Não	Sim, mais de uma	Sim, agregado
9b	3	Mais de 1	Não	Sim	Não	-	Juntos	-	Ambos	Não	Sim, mais de uma	Sim, mesclado
11a	5	Mais de 1	Sim	Sim	Não	Não	Juntos	Ambos	Íons	Não	Sim, mais de uma	Não, segregados
11b	5	Mais de 1	Sim	Sim	Não	-	Juntos	-	Ambos	Não	Sim, mais de uma	Não, segregados

Fonte: da autora.

6.3. Análise das interações em sala de aula

A partir da transcrição das falas dos estudantes e da pesquisadora, as interações que ocorreram durante a aplicação da sequência didática piloto foram analisadas a partir da metodologia proposta no trabalho de Souza e Marcondes (2013).

Cada fala foi enquadrada em uma ou mais categorias de análise da dimensão verbal, bem como da dimensão cognitiva. Portanto, a quantidade de interações categorizadas é superior à quantidade de falas durante os episódios, isso acontece devido a natureza das interações que são distintas. Por exemplo, uma fala da pesquisadora pode, ao mesmo tempo, ser uma repetição da fala de um estudante e trazer, logo em seguida, um questionamento, fazendo parte, assim, de duas categorias diferentes das interações verbais.

As categorias propostas por Souza e Marcondes (2013) foram descritas na metodologia. Além disso, foi realizada, também, uma análise do conteúdo das falas transcritas, explicitada na coluna intitulada “Conteúdo” dos quadros 1, 2, 3, 4 e 5. A respeito do conteúdo, foi verificado:

1. concepções dos estudantes, ideias iniciais;
2. inadequações conceituais e de linguagem;
3. quem elaborou hipóteses e a conclusão;

A análise das interações, categorizadas nas dimensões verbal e cognitiva foi dividida em cinco episódios de interações tendo em vista os vários momentos da intervenção. Assim foram considerados: episódio 1 – introdução ao assunto, com o objetivo de evocação de conhecimentos; episódio 2 – aproximação ao tema de estudo (cloreto de sódio) e sua composição; episódio 3 – elaboração de hipóteses, durante a atividade experimental, a respeito do fenômeno da condutibilidade elétrica; episódio 4 – introdução aos modelos explicativos do fenômeno; e por fim, o episódio 5 – síntese das atividades desenvolvidas durante a sequência e explicação do fenômeno.

Episódio 1

Neste episódio, a pesquisadora introduz a situação problema, fazendo questionamentos aos estudantes sobre situações cotidianas, para assim, fazer um

levantamento de concepções prévias:

Quadro 7. Categorização das interações no episódio 1

	Trechos	Conteúdo	Dimensão verbal	Dimensão cognitiva
1	<i>P: Vocês já ouviram falar que, por exemplo, a gente não pode mudar a temperatura do chuveiro enquanto a gente tá tomando banho, com o chuveiro ligado? Por quê?</i>	A professora introduz um contexto cotidiano.	Q	QF QS
2	<i>A: Dá choque térmico!</i>		R	RI
3	<i>P: Por exemplo, um eletricista, ele vai mexer na fiação de uma casa descalço com o pé molhado?</i>		Q	EX
4	<i>A: Não né?!</i>		R	RI
5	<i>P: Nunca né?! Porque a chance dele morrer é grande.</i>		REP AF	INF
6	<i>P: Vocês já ouviram falar de pessoas que tomaram choque no mar, na água do mar?</i>		Q	EX
7	<i>P: Teve até um caso aqui no litoral de São Paulo, uns anos atrás, que acho que morreram umas 5 pessoas pelo menos, e às vezes até quando você tá na areia da praia você ainda consegue sentir um raio. Certo? Por que isso, vocês sabem?</i>		AF Q	QA QC
8	<i>P: O que é um raio?</i>		Q	QF
9	<i>P: Como que uma pessoa que está na areia da praia consegue sentir um raio que caiu na água?</i>		Q	QF

Fonte: da autora.

Episódio 2

No segundo episódio inicia a aproximação ao tema de estudo, discutindo a composição do cloreto de sódio e o fato da água do mar ser uma solução deste sal.

Quadro 8. Categorização das interações no episódio 2.

	Trechos	Conteúdo	Dimensão verbal	Dimensão cognitiva
10	<i>A: Porque está úmido.</i>	Conclusão do estudante.	R	HIP
11	<i>P: E o que tem na água?</i>		Q	QA
12	<i>A: Sal.</i>		R	
13	<i>P: Sal, e que será que esse sal tem a ver com isso tudo?</i>		REP Q	QD
14	<i>P: Será que tem diferença a água do mar e a da piscina?</i>		Q	QF
15	<i>A: Uma tem sal e a outra só tem cloro.</i>		R	RI
16	<i>A: Qual a diferença do sal para o açúcar?</i>		Q	QR ANLS
17	<i>P: O que você acha?</i>		Q	QA QD
18	<i>A: Que sal tem o que é?! Sódio e cloro e o açúcar tem?</i>		R Q	QF SIN
19	<i>P: Oxigênio, carbono e hidrogênio.</i>		AF	RI
20	<i>P: Então vocês já perceberam a diferença, eles não têm os mesmos átomos, certo?</i>		Q	QR
21	<i>P: Solução de cloreto de sódio, o que é uma solução?</i>		Q	QF
22	<i>A: É uma mistura.</i>		R	RI
23	<i>P: É uma mistura, uma mistura homogênea. O que significa uma mistura homogênea? Vocês já estudaram isso?</i>		REP AF Q	REF QF QS
24	<i>P: Não tem divisão de fases, é uma fase só.</i>		REP AF	COM
25	<i>P: Vocês me disseram que a água do mar tem o que?</i>		Q	QF VER
26	<i>A: Sal.</i>		R	RI

Fonte: da autora.

Episódio 3

No terceiro episódio, a pesquisadora instiga os estudantes para que eles comecem a levantar hipóteses, durante a atividade experimental, do porquê da solução salina e da água do mar conduzirem corrente elétrica. Tratando também da

diferença de composição do cloreto de sódio (sal de cozinha) e da sacarose (açúcar). São feitos questionamentos a partir das observações da atividade experimental e, a partir do fenômeno, tenta-se conduzir a mediação para que o estudante consiga elaborar hipóteses que expliquem a condução elétrica.

Quadro 9. Categorização das interações no episódio 3.

	Trechos	Conteúdo	Dimensão verbal	Dimensão cognitiva
27	<i>P: A água com sal acendeu, a solução de cloreto de sódio acendeu. A água do mar que te sal, cloreto de sódio, também acendeu, mas o sal sólido não acendeu. Por que será isso? Vocês tem alguma explicação?</i>		Q O	QD VER
28	<i>A: O sal não conduz eletricidade.</i>	Conclusão alcançada pelo estudante.	R AF	INF HIP
29	<i>P: Ele sólido não conduziu eletricidade, certo? Mas enquanto ela tava na água do mar ou na água destilada que eu coloquei aqui ele conduziu. Por que será que ele conduz no estado líquido e quando ele foi dissolvido e ele não conduz no estado sólido?</i>		AF Q	QA QD QC
30	<i>P: Porque será que a água da torneira não conduz, ou conduz tão pouco que nem acende a lâmpada e a água do mar conduz?</i>		Q	QA QD
31	<i>A: Porque é água tratada (se referindo à água da torneira).</i>	Hipótese do estudante.	R	RD
32	<i>P: Qual que é a principal diferença? (entre a água do mar e a da torneira)</i>		Q	QF
33	<i>P: A água do mar tem sal né?! E a da torneira tem sais minerais, mas não tem uma quantidade tão grande igual a água do mar.</i>	A pesquisadora dá a resposta aos estudantes.	AF	
34	<i>A: Será que a sujeira não vai influenciar também? Ou não?! É acendeu na água com sal, só que na água da pia não e na água do mar tem sal, mas também tem sujeira, lixo, acenderia.</i>	O estudante elabora uma hipótese para a condutibilidade elétrica da água do mar.	Q	SIN HIP

35	<i>P: Vamos lembrar, o sal, quando a gente testou ele sólido não conduziu, quando a gente testou ele na água conduziu. O açúcar, quando a gente testou ele sólido não conduziu, vamos ver se na água ele conduz.</i>		C	
36	<i>A: Será que tem que ser os dois juntos? Porque se água e o sal acendeu e, só o sal em si, não acendeu. E o açúcar?</i>	O estudante começa a formular a hipótese de que a água junto ao sal seja responsável pela condução elétrica.	Q	SIN HIP
37	<i>P: Porque será que a água com sal conduz eletricidade e a água com açúcar não?</i>		Q	QD
38	<i>A: Porque o sal e o açúcar são substâncias diferentes.</i>		R	RI
39	<i>P: Porque o sal e o açúcar são substâncias diferentes! Certo?! Então, talvez quando a gente coloca em água será que forma uma coisa diferente já que elas são substâncias diferentes?</i>	A pesquisadora trata os íons com o termo “coisas”.	REP Q	QD QC
40	<i>P: Então vamos pensar! O sal quando ele está sólido ele acendeu ou não acendeu? Não Acendeu! E o hidróxido de sódio sólido também não acendeu, certo?! Mas o hidróxido de sódio em solução acendeu igual ao sal em solução. Junto com a água os dois acenderam não foi? E ele líquido, quando eu coloquei ele pra aquecer, ele também acendeu, porque será?</i>	Uso inadequado da linguagem.	Q	VER QD QC
41	<i>A: Por causa do sódio?</i>	O estudante levanta uma hipótese, já que NaCl e NaOH conduzem corrente elétrica ela infere que a capacidade de	Q	HIP

		condução está ligada aos átomos do elemento sódio presente nas duas substâncias. Ele não conseguiu enxergar outro padrão, como o da condução em solução e no estado líquido.		
42	<i>P: Eles têm elementos em comum, certo?! O sódio, mas será que é só o sódio que faz ele acender? Porque que o sódio conduz eletricidade? Será que é o sódio que conduz eletricidade?</i>	Pesquisadora procura discutir a ideia do estudante.	Q	QR QA QC
43	<i>P: O sódio misturado com a água é uma substância condutora. Isso explica porque que o açúcar não conduz eletricidade, certo? Só que se você disse que o sódio com a água é uma substância condutora porque que quando eu coloquei ele aqui e não coloquei água nenhuma ele conduziu?</i>	Uso de linguagem inadequada.	Q	QA QC
44	<i>A: Por causa do hidrogênio?</i>		R	RI
45	<i>P: Porque ele possui hidrogênio? Mas eu disse que se eu fizer a mesma coisa com o NaCl, que é o sal e não possui hidrogênio, ele também vai conduzir eletricidade. Se eu aquecer ele até chegar em 801 °C e ele virar um líquido, se eu colocar o mesmo equipamento nele ele vai conduzir. Então não é por causa do hidrogênio! E também não é só porque o sódio entra em contato com a água, porque aqui a gente tem sódio sem entrar em contato com a água (NaOH fundido). Qual a diferença de um sólido pra um líquido?</i>		Q AF	QR DIS REF QF
46	<i>P: Então porque será que ele sólido, quando tá tudo juntinho,</i>		Q C	QD

	<i>ele não conduz eletricidade e quando ele começa separar, no estado líquido ou na dissolução com a água ele conduz? Vamos pensar! Alguém tem alguma explicação?</i>			
47	<i>A: A água da torneira não tem energia suficiente para conduzir eletricidade ou ela simplesmente não gera, pode ser essas duas?!</i>		R	RI

Fonte: da autora.

Episódio 4

O quarto episódio trata-se da introdução à discussão dos modelos atômicos, em especial o de Bohr, para tentar tornar as explicações dos estudantes mais complexas ao introduzir um elemento submicroscópico.

Quadro 10. Categorização das interações no episódio 4.

	Trechos	Conteúdo	Dimensão verbal	Dimensão cognitiva
48	<i>P: Lembra que é comparado à uma bola de bilhar? Uma bola de jogar sinuca? Que Dalton falava o que? Que o átomo era a menor partícula da matéria e que ele era indivisível. Isso é verdade?</i>	Ao perguntar se isso é verdade, pode-se causar a impressão de que a ciência é dividida entre modelos certos e errados, e não de que a ciência é evolutiva.	Q	QF ANLG
49	<i>P: E o que o Bohr falou, que o núcleo tem o que? O que que fica no núcleo?</i>		Q	QF
50	<i>A: Cargas!</i>		R	RI
51	<i>P: Quais cargas?</i>		Q	QF
52	<i>A: Cargas positivas e negativas.</i>	Esse episódio mostra uma concepção alternativa do estudante, que apesar de reconhecer que estas cargas elétricas fazem	R	RI

		parte do átomo, não reconhece como estas cargas estão dispostas no modelo.		
53	<i>P: No núcleo ficam cargas positivas e neutras. Como chamam essas partículas?</i>		AF Q	QF
54	<i>A: Prótons e nêutrons!</i>		R	RI
55	<i>P: Quando a gente fala em cargas elétricas, positivas e negativas, vocês já ouviram falar que positivo e negativo formam o que? Eles se... anulam!</i>	Esse episódio mostra uma inadequação na linguagem da pesquisadora, pois cargas positivas e negativas não se anulam.	Q R	QR RI
56	<i>P: A gente tem um átomo de sódio e sobrou um elétron na última camada, se esse elétron sai e é transferido para outro átomo, o que acontece? Já não é mais um átomo de sódio? Ó um átomo de sódio tem esse elétron aqui, se eu tirei ele e ele foi transferido para outro átomo, por exemplo, vou transferir ele para o átomo de cloro, ele vai continuar sendo um átomo de sódio?</i>		Q	QD
57	<i>A: Não!</i>		R	
58	<i>P: Vai! Só que ele é um íon, vocês já ouviram falar em íons? O que é um íon? Um íon nada mais é do que um átomo que perdeu ou ganhou um elétron, ou dois elétrons, três elétrons...</i>	A pesquisadora não explora a resposta do estudante e, posteriormente, apresenta uma.	FB Q R	DIS QF RI

Fonte: da autora.

Episódio 5

No quinto, e último, episódio da sequência didática piloto aplicada, a pesquisadora faz uma síntese das atividades realizadas nas aulas, bem como das observações feitas nas atividades experimentais e também das representações elaboradas pelos estudantes para tentar explicar o fenômeno.

Quadro 11. Categorização das interações no episódio 5.

	Trechos	Conteúdo	Dimensão verbal	Dimensão cognitiva
59	<i>P: Quando a gente tinha o estado sólido, a gente tinha os íons de sódio junto com os de cloro, certo?! Foi isso que vocês fizeram? Estão todos juntinhos formando o cristal de cloreto de sódio, certo?! No cristal de cloreto de sódio, como tá todo mundo juntinho, os íons vão se movimentar pra produzir corrente elétrica? Não! Por isso que o sal não conduziu!</i>	A pesquisadora fornece a resposta e explica o fenômeno. Também pode-se perceber o uso de uma linguagem coloquial.	AF	SIN QC
60	<i>P: Agora quando a gente tem o estado líquido eles estão separados. Então eles começam a ter movimento para conduzir corrente elétrica, não foi isso que vocês representaram?</i>		Q	QC
61	<i>P: E quando a gente tem ele dissolvido em água? A gente tem o sódio e o cloro separados, junto com aquela molécula de água e aí eles vão se movimentando e conduzem corrente elétrica. Isso explica porque que a água do mar conduz eletricidade e a água da torneira, não?</i>	Pesquisadora responde a própria questão.	Q	QC
62	<i>P: Na verdade, elas se separam, esse H₂O ele vai se separar. Ele vai se separar em que?</i>		AF Q	QF
63	<i>P: Em H⁺, que também é um íon, e OH⁻, que também é um íon. Só que, a quantidade de íons é bem pequenininha, já no sal que a gente tem, os íons da água mais os íons do sal, vocês concordam que a quantidade é bem maior?</i>	Pesquisadora conclui, não solicitando a participação dos estudantes.	AF Q	QS
64	<i>P: Por isso que quando a gente colocou o aparelho pra testar a água da torneira ele nem acendeu, porque ele conduz tão</i>		AF Q	QS

	<i>pouco que ele não consegue nem acender uma lâmpada, mais ainda dá choque se você for ligar o seu chuveiro com o pé molhado lá né?!</i>			
65	<i>P: Mas se fosse a água do mar, o choque é muito maior porque a gente tem todos os íons da água mais os íons do sal, certo?</i>		AF Q	QC

Fonte: da autora.

Com base na análise de interações foi possível observar que, durante a sequência didática, houve pouca interação entre os estudantes e também entre eles e a pesquisadora e que a maioria destas foi do tipo questionamentos e respostas.

Na dimensão verbal, a categoria Questionamento (Q) aparece 43 vezes em 65 falas, no entanto 37 das vezes em que esta categoria aparece são em falas da pesquisadora, isto é 86% dos questionamentos. Assim, a mediação não atingiu o nível esperado, precisando ser melhor planejada para fazer com que os estudantes se questionem mais, desta forma criando mais hipóteses e melhorando seus argumentos para explicar o fenômeno.

Muitas das interações foram de questionamentos e respostas, um seguido do outro. Questionamentos estes que, na maioria das vezes, partiram da pesquisadora e as respostas dos estudantes. Além disso, a maior parte das respostas deles se tratava de respostas informativas, no entanto, alguns estudantes fizeram questionamentos, analisando fatos e elaborando hipóteses. Não houve, durante a sequência, nenhuma resposta dos estudantes considerada de alta ordem.

Apresenta-se, na tabela 1, a distribuição das interações verbais na sequência didática.

Tabela 1. Distribuição das interações verbais na sequência didática.

	Categoria	Quantidade de vezes que aparece no episódio					Total de vezes que aparece na aula
		Episódios					
Dimensão Verbal		1	2	3	4	5	
	Q	6	10	14	7	6	43
	R	2	6	5	6	0	19
	FB	0	0	0	1	0	1
	REP	1	3	1	0	0	4
	AF	2	3	4	1	5	15
	O	0	0	1	0	0	1

	C	0	0	2	0	0	2
Quantidade de falas	P	7	10	13	7	7	44
	A	2	6	8	4	0	20

*As categorias D e L não foram identificadas na sequência didática.

Fonte: da autora.

Nota-se que o segundo e o terceiro episódios foram os que apresentaram maior número de Interações Verbais (IV). É possível observar, também, uma quantidade de falas da pesquisadora muito superior à quantidade de falas dos estudantes, no entanto este fato era esperado “por se considerar a importância da fala do professor de ciências, pois repousa sobre ele a incumbência de conduzir a aula” (SOUZA, MARCONDES, 2013, p.108).

Já, na dimensão cognitiva, as categorias são divididas em ordem cognitiva mais baixa (ICOB) e ordem cognitiva mais alta (ICOA). A tabela 2 mostra o número de vezes que cada categoria aparece nos episódios analisados.

Tabela 2. Distribuição das interações cognitivas na sequência didática.

Dimensão Cognitiva	Categoria	Quantidade de vezes que aparece no episódio					Total de vezes que aparece na sequência didática
		Episódios					
		1	2	3	4	5	
Ordem Mais Baixa	QR	0	2	2	1	0	5
	QC	1	0	5	0	4	10
	QF	3	5	2	5	1	16
	RD	0	0	1	0	0	1
	RI	2	4	3	5	0	14
	DIS	0	0	1	1	0	2
	COM	0	1	0	0	0	1
	VER	0	1	2	0	0	3
	EX	2	0	0	0	0	2
	INF	1	0	3	0	0	2
	REF	0	1	1	0	0	2
Ordem Mais Alta	QA	1	2	4	0	0	7
	QD	0	2	7	1	0	10
	QS	1	1	0	0	2	4
	SIN	0	1	2	0	1	4
	ANLS	1	0	0	0	0	1

	HIP	0	1	4	0	0	5
	ANLG	0	0	0	1	0	1

*As categorias CP, PAR, RE e JV não foram identificadas na sequência didática.

Fonte: da autora.

Em dois momentos, falas 34 e 36, podemos notar um padrão na sequência das categorias: na dimensão verbal Q, SIN e HIP. Pode-se inferir, então, que, nestes momentos, os estudantes refletiram para elaborar hipóteses que explicam a condutibilidade elétrica da água do mar.

Durante toda a sequência aplicada houve 32 Interações Cognitivas de Ordem Alta e 58 Interações Cognitivas de ordem Baixa. A partir do número total de interações cognitivas e de ICOA de cada episódio, foi feito o cálculo da porcentagem de ICOA para cada um dos episódios da sequência. A Figura 12 apresenta os resultados obtidos:

Figura 12. Porcentagem de Interações Cognitivas de Ordem Alta (ICOA) em cada episódio.

Fonte: da autora.

Analisando a figura, pode-se perceber que, a maior porcentagem de ICOA aconteceu no terceiro episódio. Este episódio foi o que apresentou maior número de interações cognitivas (vide tabela 2) e também maior número de ICOA. Como esse episódio se refere ao momento da atividade experimental, podemos inferir, então, que esse recurso pode estimular os estudantes a se manifestarem mais e estas interações também começam a se tornar mais complexas no momento da atividade experimental.

Utilizando a quantidade de falas dos professores e dos estudantes, a

quantidade de questionamentos e respostas, bem como a quantidade de Interações Verbais (IV) que ocorreram durante os episódios da sequência didática, foi realizado o cálculo da interatividade de cada episódio, bem como da interatividade total da aula.

A interatividade foi calculada considerando-se a participação dos estudantes (porcentagem de falas dos estudantes em relação ao total de falas) e o número de questões e respostas nas interações verbais (porcentagem de questionamentos e respostas em relação ao total de interações verbais). Assim, para se calcular a interatividade é feita uma média aritmética entre $A \times 100 / (A+P)$ e $(Q+R) \times 100 / IV$.

A tabela 3, apresentada a seguir, mostra um panorama geral das interações verbais e cognitivas que ocorreram na sequência didática:

Tabela 3. Avaliação da interatividade na sequência didática. Onde A, representa estudantes; P, professores; Q + R, quantidade de questionamentos somada à quantidade de respostas; IV, total de interações verbais.

Episódio	A	A+P	$A \times 100 / (A+P)$	Q+R	IV	$(Q+R) \times 100 / IV$	Interatividade
1	2	9	22,2	8	11	72,7	47,4
2	7	17	41,2	16	22	72,7	56,9
3	8	21	38,1	19	27	70,4	54,2
4	4	11	36,4	13	15	86,7	61,5
5	0	7	0	6	11	54,5	27,2
TOTAL	21	65	32,3	62	86	72,1	52,2

Fonte: da autora.

A partir desta análise podemos ressaltar que, apesar do episódio 3 ter apresentado maior número de interações verbais e, também, maior número de interações cognitivas de ordem mais alta, o mesmo não foi o episódio que apresentou maior a interatividade durante a sequência. Mas, ainda assim, o episódio proporcionou uma boa interatividade e, podemos esperar que, na reelaboração da sequência, quando o estudante realizará o experimento em grupo, e não de forma demonstrativa, a interatividade será maior, pois haverá mais discussões internas no grupo, além das socializações com o restante da turma.

Já o quarto episódio foi considerado, a partir deste método de análise, o mais interativo, no entanto as interações ocorridas neste episódio foram de baixa ordem cognitiva. Sendo este, o episódio no qual foi proposta a modelagem para explicar o

fenômeno da condutibilidade elétrica é compreensível que tenha sido o de maior interatividade já que os grupos discutiram suas representações que, posteriormente, foram socializadas e debatidas com a turma e a pesquisadora.

O baixo nível de interatividade observado no quinto episódio já era esperado, já que este foi o momento de fechamento da sequência, no qual a pesquisadora reflete sobre os conceitos construídos durante a sequência e elabora conclusões. O primeiro momento, no qual foi feita a introdução e o levantamento de concepções também apresentou pouca interatividade. Portanto, esses dois momentos serão reformulados para que haja maior interatividade e para que possamos dar mais abertura aos estudantes para que eles façam a socialização e conclusão da aula.

Para calcular o nível cognitivo atingido em cada um dos episódios da sequência foram realizados cálculos considerando-se a porcentagem de ICOA em relação ao total de interações cognitivas (ICOA + ICOB) e a porcentagem de questionamentos e respostas de ordem cognitiva mais alta (QROA) em relação ao total de questionamentos e respostas (QROA + QROB). Foi feita uma média aritmética entre esses dois valores: $ICOA \times 100 / (ICOA + ICOB)$ e $QROA \times 100 / (QROA + QROB)$.

A tabela 4, a seguir, apresenta os dados obtidos:

Tabela 4. Avaliação do nível cognitivo na sequência didática. Onde ICOA significa Interações Cognitivas de Ordem Alta; ICOB, Interações Cognitivas de ordem Baixa; QROA – quantidade de questionamentos e respostas de Ordem Mais Alta; QROB - quantidade de questionamentos e respostas de Ordem Mais Baixa.

Episódio	ICOA	ICOA + ICOB	$ICOA \times 100 / (ICOA + ICOB)$	QROA	QROA + QROB	$QROA \times 100 / (QROA + QROB)$	Nível cognitivo
1	3	11	27,3	2	8	25	26,1
2	7	21	33,3	5	16	31,2	32,2
3	17	27	63	11	24	45,8	54,4
4	2	14	14,3	1	12	8,3	11,3
5	3	8	37,5	2	7	28,6	33,0
TOTAL	32	81	39,5	21	67	31,3	35,4

Fonte: da autora.

O episódio considerado, por meio desta metodologia de análise, o de maior nível cognitivo, como já se pode perceber na Figura 10, foi o terceiro, seguido do quinto e do segundo. Visto que o terceiro episódio aconteceu no momento da atividade

experimental sobre condutibilidade elétrica de materiais era de se esperar que apresentasse maior nível cognitivo, já que os estudantes foram instigados a explicar por que do fenômeno ocorrer.

Já o quarto episódio, apesar de ter sido o episódio que apresentou maior interatividade (vide tabela 3), as interações ocorridas neste episódio foram de baixa ordem cognitiva. O momento em que ocorre o episódio 4 é quando os estudantes elaboram modelos explicativos para o fenômeno da condutibilidade elétrica, logo após a atividade experimental. Isto pode demonstrar que, os estudantes tiveram maior dificuldade em construir modelos que explicassem o fenômeno.

Na Figura 13, a seguir, foi feita uma comparação entre interatividade com o nível cognitivo. Como explicado anteriormente (vide metodologia) construiu-se a figura, separando-a em quatro quadrantes que caracterizam a aula em níveis cognitivos e de interatividade:

Figura 13. Caracterização da sequência didática quanto ao nível cognitivo e a interatividade.

Fonte: da autora.

A maioria dos episódios da sequência ficaram agrupados no terceiro quadrante demarcado no gráfico e, a partir desta análise de caracterização, a sequência didática aplicada como piloto desta pesquisa foi então classificada como uma aula interativa de nível cognitivo baixo.

6.4. A sequência didática piloto

A sequência piloto elaborada seguiu a seguinte estrutura: inicialmente procurou-se trazer fatos do cotidiano, como um organizador prévio, para se conhecer as concepções dos estudantes a respeito da condutibilidade elétrica. Em seguida, foi feita uma aproximação do assunto, na qual se discutiu a composição do cloreto de sódio e o fato da água do mar ser uma solução deste sal. Posteriormente, a pesquisadora realizou, de forma demonstrativa, a atividade experimental de condutibilidade elétrica e instigou os estudantes a elaborarem hipóteses que explicassem o fenômeno. Logo após a atividade experimental, os estudantes foram solicitados a elaborar modelos explicativos para o fenômeno, e também representam os átomos de sódio e cloro com base no modelo atômico de Bohr e a perda e do ganho de elétrons por estes átomos, formando íons. No último momento planejado para a sequência foi feita uma síntese das atividades realizadas nas aulas.

Essa sequência piloto aplicada foi um recorte de uma sequência maior proposta, mas que, devido às condições de tempo que as escolas ofereceram, foi preciso fazer uma adaptação. Dessa forma, a sequência original planejada foi revista, trazendo a situação problema, a experimentação, a modelagem e a síntese.

Na reelaboração da sequência para aplicação final foram considerados: a maior disponibilidade de tempo (conforme acordo com a escola), o que permite aprofundamentos no tratamento dos conceitos, e as análises realizadas sobre a aplicação do piloto. I. Para isto, nos baseamos em algumas considerações provindas das análises daquela aplicação:

- O primeiro episódio apresentou um nível de interatividade relativamente bom, no entanto o nível cognitivo foi baixo. Para este episódio não se esperava um alto nível cognitivo, já que não foi exigido que os estudantes dessem explicações, pois os questionamentos foram planejados apenas para apresentar os fatos, observar o que os estudantes sabiam e se estavam elaborando algumas hipóteses. No entanto, as ideias prévias dos estudantes não passaram do nível da constatação de fenômenos. Os exemplos utilizados não foram bons como organizadores prévios, pois os estudantes não conseguiram fazer relações com situações cotidianas. Acreditamos também que, possivelmente, os estudantes se sentiram inibidos com a presença de câmeras e gravadores e, também, por não conhecerem a pesquisadora. Desta forma, o momento da introdução será reelaborado, trazendo questionamentos mais próximos

do contexto dos estudantes.

- O segundo episódio apresentou uma boa interatividade e o nível cognitivo se aproximou do que foi considerado alto. O fato de o conteúdo tratado neste episódio ser mais familiar ao estudante fez com que eles passassem a participar mais e, desta forma, há um aumento no nível cognitivo da aula.

- Podemos perceber que o momento da experimentação, terceiro episódio, foi produtivo, apresentando interatividade e um bom nível cognitivo, o mais alto observado durante a aula. O fato de os estudantes terem de registrar os dados, exteriorizar o que eles acreditam que esteja acontecendo, ou seja, alguma hipótese para o fenômeno da condutibilidade elétrica e, também, os questionamentos feitos pela pesquisadora, parecem estimular o pensamento reflexivo dos estudantes. Desta forma, podemos concluir que esse recurso foi uma boa escolha para tratar o conceito de íons na sequência didática e será mantido na reformulação dessa sequência, porém a atividade será realizada pelos próprios estudantes e não apenas demonstrativa;

- O quarto episódio, que se refere ao momento de construção do modelo, apresentou o maior nível de interatividade da aula, no entanto, o nível cognitivo foi o menor observado. É possível notar um esforço do pesquisador em fazer questionamentos para mobilizar os estudantes, no entanto eles pouco falam e expõem suas ideias. Podemos inferir, então, que os questionamentos feitos durante a discussão dos modelos não foram suficientes para fazer com que os estudantes refletissem a respeito das hipóteses, elaboradas por eles, para explicar o fenômeno tratado no experimento e relacioná-lo no momento da construção dos modelos. Portanto este episódio será reformulado na nova proposição da sequência didática.

- O quinto episódio apresentou uma baixa interatividade e baixo nível cognitivo, ou seja, ficou centrado mais no professor e os estudantes pouco participaram da síntese, embora o nível cognitivo seja bom. Portanto, a reelaboração deste momento é necessária para fazer com que os estudantes falem mais e façam a síntese.

6.5. Sequência didática final

Tendo como base os conhecimentos que a aplicação da sequência piloto nos

proporcionou, tanto do ponto de vista cognitivo, quanto das interações e, considerando o maior número de aulas disponíveis para aplicação, a sequência didática reformulada está representada e descrita na Figura 1.

6.6 Análise da aplicação da sequência didática final

A seguir, apresentamos a análise das concepções iniciais dos estudantes com relação ao conceito de íons e das concepções que os estudantes apresentaram ao final da aplicação da sequência didática.

Posteriormente, são apresentadas as representações que os estudantes elaboraram durante a sequência didática e analisados os indícios que elas podem nos revelar sobre as concepções dos estudantes.

As interações entre os estudantes que constituíram dois dos grupos formados na sala de aula (grupos 1 e 4) que ocorreram no decorrer da construção de suas representações coletivas são analisadas com o intuito de se perceber o papel do processo de aprendizagem colaborativa.

6.6.1 Concepções iniciais apresentadas pelos estudantes

Com a leitura das respostas dos estudantes aos questionários pré e pós desenvolvimento da sequência didática, foi possível identificar concepções sobre: a possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons, o conceito de íon, a representação submicroscópica de um átomo ou íon, a condutibilidade elétrica e a corrente elétrica. Denominamos esses aspectos de “áreas” a fim de facilitar a posterior comparação entre as ideias manifestadas nos dois momentos.

A elaboração das categorias de análise foi realizada segundo a análise de conteúdo (BARDIN, 2010), por agrupamento das manifestações dos estudantes, a partir das similaridades que foram encontradas nas respostas elaboradas pelos estudantes. Feito esse agrupamento, construímos a descrição de cada uma das categorias, apresentadas no Quadro 2, da metodologia.

É importante ressaltar que tais categorias não são excludentes, de modo que, a ideia do estudante pode permear por uma ou mais categorias. A fim de analisar mais profundamente o que essa categorização pode nos mostrar a respeito das

concepções dos estudantes, para cada uma das áreas apresentadas no quadro 12 calculamos a frequência das respostas.

A tabela 5 apresenta para a área representações submicroscópicas de um átomo, as porcentagens de respostas para cada categoria e cada um dos códigos empregados para caracterizar as respostas dos estudantes. Tais informações referem-se à primeira questão, quando foi solicitado ao estudante que desenhasse como ele imagina um átomo de sódio.

Quadro 12. Respostas dos estudantes ao questionário prévio, por categoria e código.

Área	Representação submicroscópica de um átomo					Possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons			Conceito de íon					Condutibilidade elétrica		
Categorias	Núcleo e eletrosfera	Átomo como esfera	Partículas subatômicas	Quantidade de partículas subatômicas	Representação simbólica	Estabilidade	Ligação química	Reações Químicas	Presença de cargas elétricas	Cargas formadas por interações químicas	Estabilidade	Dissociação e ionização	Eleticidade	Cargas e movimento	Ligação química	Elétrons e íons livres
A1	0	3	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0
A2	2	0	1	1	3	0	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
A3	3	0	0	0	3	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2
A4	3	0	2	2	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0
A5	0	3	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0
A6	0	0	1	0	0	0	2	2	1	0	0	1	0	0	1	0
A7	3	0	3	2	0	0	2	0	1	0	1	0	0	2	2	2
A8	0	3	0	0	3	3	2	0	2	0	0	0	0	1	0	0
A9	3	0	2	2	0	0	1	0	2	0	0	2	0	3	3	0
A10	3	0	2	2	0	1	0	0	3	0	0	0	0	2	2	3
A11	2	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0
A12	3	0	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2

A13	0	0	0	0	1	0	1	0	2	2	0	0	0	0	0	0
A14	0	0	0	0	1	0	2	2	1	1	0	0	2	1	0	0
A15	0	3	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0
A16	0	3	0	0	3	2	1	0	2	0	0	0	0	2	0	2

Fonte: da autora.

Tabela 5. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 1, em cada código.

Representação submicroscópica de um átomo					
Categorias Códigos	Núcleo e eletrosfera	Átomo como esfera	Partículas subatômicas	Quantidade de partículas subatômicas	Representação Simbólica
1	-	-	12,5 %	6,3 %	-
2	12,5 %	-	31,3 %	37,5 %	12,5 %
3	37,5 %	31,3 %	6,3 %	-	37,5 %

Fonte: da autora.

Pudemos observar que dos 16 estudantes, cinco (31,3%) representaram o átomo de sódio como uma esfera com o símbolo do sódio no centro, como é o exemplo da representação de um estudante na Figura 14(a).

Figura 14. Representações do átomo de sódio elaboradas pelos estudantes.

Fonte: estudantes participantes da pesquisa.

Esse tipo de representação pode ser explicado pelo fato de que é muito comum em livros didáticos que a representação do átomo seja apresentada para um átomo genérico. Além disso, muitas vezes, as ilustrações de átomos nesses livros não

representam adequadamente as partículas subatômicas, mostrando o núcleo como uma esfera única e assim o estudante não reconhece a existência das partículas

No trabalho de França, Marcondes e Carmo (2009), foi solicitado aos estudantes do 3º ano do EM participantes da pesquisa, que elaborassem um desenho de um átomo, indicando as partes que o constituem. As autoras relatam que 16% dos estudantes que participaram da pesquisa fizeram uma representação simbólica. De acordo com as autoras, essa representação pode ser explicada pelo tipo de ensino que esses estudantes tiveram, que possivelmente enfatizava fórmulas químicas e representações simbólicas.

Nyachwaya et al. (2011), em um estudo sobre a compreensão de estudantes sobre a natureza corpuscular da matéria, perceberam a maior facilidade de os estudantes utilizarem representação simbólica do que desenharem apropriadamente representação das partículas. Os autores argumentam que os estudantes têm dificuldade em traduzir seus entendimentos de um nível (simbólico) para outro (submicroscópico).

Observamos também representações que se aproximam do modelo atômico proposto por Rutherford, como o da Figura 14(b). Consideramos, nesse caso, que o estudante já demonstrava um conhecimento de que átomo é composto por um núcleo e uma eletrosfera.

Um fato interessante que pode ser observado é que metade dos estudantes representara núcleo e eletrosfera para o átomo de sódio, no entanto, desses 50%, apenas 6,3% explicitaram a presença das partículas subatômicas adequadamente, mas nenhum deles representou adequadamente a quantidade de partículas que compunham o átomo de sódio.

Na Figura 15(a), o estudante representa uma quantidade adequada de elétrons para o átomo de sódio e podemos observar a representação de um núcleo como uma esfera maciça, sem distinguir os prótons e nêutrons.

Figura 15. Representações do átomo de sódio elaboradas pelos estudantes.

(a)

(b)

Fonte: estudantes participantes da pesquisa.

Já na (b), o estudante faz a diferenciação do núcleo e da eletrosfera, representa cada uma das partículas subatômicas, além de diferenciar as camadas e indicar o número de elétrons por camada. No entanto, nenhum dos dois estudantes indicou as quantidades de prótons e neutros no núcleo do átomo.

A Figura 16 (a e b) mostra duas representações que consideramos inadequadas. A primeira (a) é a representação simbólica de um íon de sódio e, apesar de ser uma representação cientificamente aceita, não se encaixou em nenhuma das categorias, pois a questão solicitava a representação de um átomo.

Figura 16. Representações do átomo de sódio elaboradas pelos estudantes.

Fonte: estudantes participantes da pesquisa.

A representação na Figura 16(b) não responde à expectativa para a questão, no entanto consideramos que o estudante buscou representar, inadequadamente, as partículas subatômicas. Apesar de não ser uma representação cientificamente aceita, o estudante demonstra um conhecimento de que um átomo não é uma esfera maciça e indivisível, visto que representou diversas esferas agrupadas e espaços vazios.

A segunda questão traz aos estudantes o questionamento da possibilidade ou

não de se retirar elétrons de um átomo. Para essa questão, de área “Possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons”, os dados se encontram na tabela 6.

Tabela 6. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 2, em cada código.

Possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons			
Categorias Códigos	Estabilidade	Ligação química	Reações Químicas
1	18,8 %	12,5 %	-
2	18,8 %	31,3 %	18,8 %
3	18,8 %	6,3 %	-

Fonte: da autora.

A partir dessas informações, podemos inferir que mais da metade dos estudantes participantes da pesquisa admite a possibilidade de os átomos perderem elétrons.

Uma parcela de 50,1 % dos estudantes compreende que as ligações químicas são responsáveis pela perda de elétrons por um átomo.

“Sim, é o que ocorre por exemplo na ligação iônica, onde um elemento doa um elétron e o outro recebe [...]”. (A4)

Essa não é uma concepção inadequada, no entanto é importante que os estudantes compreendam de que maneira as ligações químicas influem nesse fenômeno. Ferreira⁶ (1962, apud MORTIMER; MOL; DUARTE, 1994) esclarece que “a energia eletrostática entre o cátion Na^+ e o ânion Cl^- é que dá estabilidade ao cloreto de sódio. Nesse caso, como em outros, não é a tendência de adquirir um octeto de elétrons a causa do fenômeno de transferência eletrônica.” França, Marcondes e Carmo (2009), em um estudo sobre a formação de íons, também obtiveram respostas dos estudantes para a perda de elétrons de um átomo baseadas na ideia de ligação química. As autoras argumentam que tais explicações podem ser devidas à ênfase

⁶ Ferreira, R (1962). Ciência e Cultura, 14, 76, p. 78.

dada pelos professores ao ensino de ligações.

Do total de estudantes que admitem a possibilidade de um átomo perder elétrons, 56,4% explicam que a perda de elétrons por um átomo ocorre para que esse atinja uma estabilidade. No entanto, apenas 18,8% explicam adequadamente esse fenômeno, utilizando como argumento o fato de o átomo buscar a estabilidade eletrônica. A seguir, apresentamos um exemplo de uma resposta considerada relativamente adequada com relação à estabilidade:

“Sim, é possível, o que não pode ser mudado são os prótons. Os elétrons se alteram, fazem ligações para se estabilizar.” (A8)

Na maioria das respostas que se enquadram na categoria de Estabilidade, os estudantes utilizam a regra do octeto como suporte a essa explicação.

Embora seja incorreto, é comum se ouvir falar de uma teoria ou um modelo como se este regesse o fenômeno. No ensino é muito importante atentar-se a esse fato, pois as teorias e os modelos são elaborados para buscar uma explicação condizente para aquele fenômeno, ou seja, o fenômeno não deixa de existir se não houver um modelo que o explica.

A respeito do uso da regra do octeto pelos estudantes para explicar os fenômenos, Mortimer, Mol e Duarte (1994) argumentam que há uma “[...] clara evidência do caráter dogmático que predomina no ensino de química, onde as evidências, os resultados, ou os dados valem pouco ou nada frente às regras práticas ensinadas como princípio.” (p. 250)

De acordo com Mortimer, Mol e Duarte (1994, p. 251):

a ênfase no conhecimento “ritual” em detrimento ao conhecimento de “princípios” químicos. A “crença” na regra do octeto como panaceia explicativa revela seu caráter de fé, totalmente distante de um procedimento racional que seria esperado de alguém que supostamente aprende uma “ciência”. O uso da racionalidade e do conhecimento empírico como critérios para avaliação do alcance de afirmações teóricas é claramente prejudicado pelo excessivo apelo a um conjunto de procedimentos práticos, ritualísticos; que parece permeiar diferentes assuntos ensinados em Química no Ensino Médio. [...] Não há como negar o valor desses procedimentos práticos, pois eles conferem agilidade ao processo de resolução de problemas práticos. [...] No entanto, é inaceitável que esses procedimentos substituam, como fonte de explicação para os fatos químicos, os princípios químicos que lhe deram origem. Reverter essa tendência ritualística e resgatar princípios químicos e sua relação com os fatos experimentais como temas centrais do ensino da Química como

ciência racional e não como conhecimento dogmático e ritualístico.

A questão três busca compreender o que os estudantes entendem por íons e como eles imaginam que os íons são formados. A tabela 7 apresenta os dados de porcentagem de respostas para cada categoria de resposta em cada um dos códigos.

Tabela 7. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 3, em cada código.

Conceito de íon					
Categorias Códigos	Presença de cargas elétricas	Cargas formadas por interações químicas	Estabilidade	Dissociação e ionização	Elettricidade
1	56,3 %	18,8 %	18,8 %	6,3 %	-
2	37,5 %	6,3 %	-	6,3 %	6,3 %
3	6,3 %	-	-	-	-

Fonte: da autora.

A respeito da compreensão do conceito de íons, 56,3 % dos estudantes associam o conceito de íons à presença de cargas elétricas, no entanto muitos elaboram uma explicação errônea ou fazem confusões de termos científicos, como nos exemplos a seguir:

“São elementos que possuem cargas” (A1)

“O íon é quando o elétron é energizado por carga. Eles são formados por carga” (A4)

No primeiro exemplo, o estudante demonstra uma confusão entre os termos “átomo” e “elemento químico”. Enquanto no segundo exemplo o estudante associa o conceito de íons à carga elétrica e, também, a energia, mas não explicita de forma adequada essa relação. Como esses conceitos são abstratos, muitas vezes o estudante ainda não desenvolveu um nível de conceituação que possibilite o estabelecimento de diferenças entre eles e, acabam utilizando os termos indiscriminadamente (BEM-ZVI; YLON; SILBERSTEIN, 1987)

Alguns estudantes compreendem que íons são dotados de cargas elétricas que são formadas em interações químicas, são 25,1 % dos estudantes que adotam esse tipo de explicação (mesmo que inadequadamente), como é o caso do exemplo:

“Os íons são os átomos com carga, são os átomos instáveis (cátions e ânions), sem fazer ligação. Ex: Mg^{2+} - para perder essa carga ele precisa fazer ligação” (A3).

O estudante associa a necessidade da ligação química à estabilidade dos íons, no entanto esse tipo de resposta ignora o fato de que existem íons que são mais estáveis que seus respectivos átomos.

Um bom exemplo de definição de íons, apesar de não aprofundar muito na explicação é o do estudante A9:

“Por íons eu entendo carga positiva ou negativa de átomos/moléculas. Eles são formados a partir de processos como a ionização e a dissociação iônica” (A9).

Nesse caso, o estudante já demonstra compreender a existência de compostos dotados de carga elétrica e utiliza dois fenômenos diferentes que levam à formação de íons.

Essas concepções ainda um tanto confusas que os estudantes apresentam, nos reporta à descrição de íons como partículas transportadoras de eletricidades, feita por Faraday, no século XVIII (GALACHE; CAMACHO; RODRIGUEZ, 1991). Embora os estudantes tenham se utilizado da ideia de átomo, nos parece que para vários deles não estão suficientemente claras as diferenças entre íons, átomos e cargas elétricas.

Na quarta questão, pedimos aos estudantes que explicassem o fato de alguns materiais conduzirem corrente elétrica e outros não. A Tabela 8 apresenta as porcentagens de respostas para cada categoria, em cada código.

Tabela 8. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 4, em cada código.

Condutibilidade elétrica

Categorias Códigos	Cargas e movimento	Ligação química	Elétrons e íons livres
1	12,5 %	18,8 %	-
2	25,0 %	25,0 %	25,0 %
3	12,5 %	6,3 %	6,3 %

Fonte: da autora.

Muitos estudantes explicam o fenômeno da condutibilidade elétrica pela diferença entre as ligações químicas que constituem determinado material.

“Os átomos do fio (de cobre) apresentam um maior número de ligações iônicas, fazendo com que conduza corrente elétrica. Já no calçado de borracha, tem maior ligações covalentes. Então não conduz eletricidade.” (A6)

Podemos conjecturar que o estudante não consegue diferenciar o fenômeno da condutibilidade elétrica que ocorre em compostos que fazem ligação iônica, como um sal, e compostos que fazem ligação metálica, como ocorre, por exemplo, em um fio de cobre. Mas, compreende que o tipo de ligação química pode diferenciar a capacidade de condução elétrica de determinados compostos.

Metade dos estudantes cita carga e movimento como fatores responsáveis pela condução de corrente elétrica, mas apenas 12,5 % conseguem trazer uma explicação plausível. Além disso, 31,3 % dos estudantes explicam a condutibilidade elétrica pela presença de íons ou elétrons livres.

Com base nessas informações traçamos um panorama das respostas dos estudantes, analisando a coerência entre suas respostas. Para isso, fizemos dois agrupamentos a partir das representações que eles elaboraram, chamamos esses agrupamentos de *Perfil*.

Tabela 9. Respostas dos estudantes do Perfil I.

Área	Representação submicroscópica de um átomo					Possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons			Conceito de íon					Condutibilidade elétrica		
	Questão 1					Questão 2			Questão 3					Questão 4		
Categorias	Núcleo e eletrosfera	Átomo como esfera	Partículas subatômicas	Quantidade de partículas subatômicas	Representação simbólica	Estabilidade	Ligação química	Reações Químicas	Presença de cargas elétricas	Cargas formadas por reações químicas e ligações	Estabilidade	Dissociação e ionização	Eletricidade	Cargas e movimento	Ligação química	Elétrons e íons livres
A2	2	0	1	1	3	0	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0
A3	3	0	0	0	3	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	2
A4	3	0	2	2	0	3	3	0	1	0	0	0	0	0	1	0
A7	3	0	3	2	0	0	2	0	1	0	1	0	0	2	2	2
A9	3	0	2	2	0	0	1	0	2	0	0	2	0	3	3	0
A10	3	0	2	2	0	1	0	0	3	0	0	0	0	2	2	3
A11	2	0	2	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0
A12	3	0	2	2	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2

Fonte: da autora.

O primeiro agrupamento (Perfil I) é composto por aqueles estudantes que representaram átomos com núcleo e eletrosfera e que consideraram a existência de partículas subatômicas e, o segundo (Perfil II), por estudantes que representaram átomos como uma esfera. A tabela 9 apresenta as respostas dadas pelo Perfil I.

Perfil I: os estudantes A4, A7, A9, A10, A11 e A12 souberam representar o átomo de sódio como sendo composto por um núcleo e uma eletrosfera. Desses 6 estudantes, o A9 e o A10 podem ser considerados os mais avançados conceitualmente, pois souberam explicar o conceito de íons adequadamente e chegaram a explicar o fenômeno da condutibilidade elétrica. Os estudantes A4 e A7 explicaram a formação de íons, porém não a condutibilidade; enquanto os estudantes A11 e A12 não avançam além da representação adequada do átomo de sódio. Chama a atenção que apenas um estudante representa adequadamente as partículas subatômicas, o que pode indicar que a imagem do modelo núcleo – eletrosfera parece estar ancorada na estrutura cognitiva do estudante, porém não seu significado.

A tabela 10 apresenta a síntese das respostas dos estudantes que representam o átomo como esfera (Perfil II).

Perfil II: os estudantes A1, A5, A8, A15 e A16, apesar de representarem o átomo de sódio como uma esfera e de não considerarem as partículas subatômicas nessa representação, deram explicações para a formação dos íons. O estudante A8 soube conceituar íons e A1, A5 e A16 chegaram a formular uma explicação para a condutibilidade elétrica. O fato de não representarem o átomo como núcleo e eletrosfera, mas saberem dar algumas explicações que demandam ideias relativas a íons, nos faz considerar que esses estudantes não elaboraram um esquema mental sobre átomos que possibilite certa coerência nas respostas. Talvez, para esses estudantes as representações pictóricas associadas aos diferentes modelos atômicos não se diferenciam.

Apenas os estudantes A6 e A13 não apresentaram conceitos adequados nas respostas às questões.

Tabela 10. Respostas dos estudantes do Perfil II.

Área	Representação submicroscópica de um átomo					Possibilidade de um átomo perder ou ganhar elétrons			Conceito de íon					Condutibilidade elétrica		
Categorias	Núcleo e eletrosfera	Átomo como esfera	Partículas subatômicas	Quantidade de partículas subatômicas	Representação simbólica	Estabilidade	Ligação química	Reações Químicas	Presença de cargas elétricas	Cargas formadas por reações químicas e ligações	Estabilidade	Dissociação e ionização	Eletricidade	Cargas e movimento	Ligação química	Elétrons e íons livres
A1	0	3	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0
A5	0	3	0	0	3	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0
A8	0	3	0	0	3	3	2	0	2	0	0	0	0	1	0	0
A15	0	3	0	0	3	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0
A16	0	3	0	0	3	2	1	0	2	0	0	0	0	2	0	2

Fonte: da autora.

6.6.2 Concepções apresentadas pelos estudantes ao final da sequência didática

Ao final da sequência didática, foi aplicado um instrumento para que pudéssemos conhecer as ideias dos estudantes com o estudo realizado. As questões apresentadas no instrumento foram similares às do instrumento aplicado inicialmente, de maneira a possibilitar uma comparação entre as manifestações nos dois momentos. As respostas dos estudantes a esse último instrumento estão resumidas no Quadro 13.

Na primeira questão pede-se que o estudante desenhe como ele imagina que seja um íon de cálcio. As mesmas categorias empregadas no questionário inicial foram utilizadas nessa análise e as respostas, em termos percentuais, estão apresentadas na tabela 11.

Tabela 11. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 1.

Representação submicroscópica de um átomo					
Categorias Códigos	Núcleo e eletrosfera	Átomo como esfera	Partículas subatômicas	Quantidade de partículas subatômicas	Representação simbólica
1	-	-	-	-	12,5 %
2	56,3 %	-	93,8 %	100,0 %	37,5 %
3	43,8 %	-	6,3 %	-	25,0 %

Fonte: da autora.

A partir dessas informações, podemos observar que, diferentemente do questionário prévio, nenhum dos estudantes representa o íon como uma esfera e, além disso, todos apresentam as partículas subatômicas em suas representações. Podemos, assim, inferir que houve uma evolução no modelo mental que os estudantes elaboraram para representar átomos e íons. As representações simbólicas ainda persistem, talvez pelo fato de a questão tratar de um íon específico, e alguns estudantes, então, julgam necessário apresentar o símbolo.

Quadro 13. Respostas dos estudantes categorizadas para as questões apresentadas.

Área	Representação submicroscópica de um átomo					Conceito de íon				Condutibilidade elétrica			Corrente elétrica				
Categorias	Núcleo e eletrosfera	Átomo como esfera	Partículas subatômicas	Quantidade de partículas subatômicas	Representação simbólica	Presença de cargas elétricas	Cargas formadas por interações químicas	Dissociação e ionização	Eletricidade	Cargas e movimento	Ligação química	Elétrons e íons livres	Cargas elétricas	Íons livres	Elétrons livres	Movimento das cargas elétricas	Eletricidade ou fonte de energia
A1	2	0	2	2	3	3	0	0	0	2	0	0	0	2	0	2	0
A2	2	0	2	2	2	2	0	0	0	2	0	1	0	0	1	0	1
A3	2	0	2	2	3	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2
A4	3	0	2	2	0	3	0	0	1	3	1	0	2	2	0	0	2
A5	2	0	2	2	2	0	1	0	0	3	3	3	0	0	0	0	2
A6	2	0	2	2	0	0	0	0	1	3	3	2	0	2	0	0	0
A7	3	0	3	2	3	3	0	0	3	3	3	0	0	0	2	0	2
A8	3	0	2	2	2	3	0	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0
A9	3	0	2	2	0	3	0	0	3	3	3	0	0	2	0	3	2

A10	3	0	2	2	3	3	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	2
A11	2	0	2	2	1	3	0	0	0	0	0	3	0	2	0	2	0
A12	2	0	2	2	1	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3	0
A13	2	0	2	2	2	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	1
A14	3	0	2	2	0	3	0	0	3	2	0	0	0	0	0	2	0
A15	3	0	2	2	2	3	1	1	3	3	3	0	2	2	0	3	2
A16	2	0	2	2	2	3	0	0	0	2	0	0	0	2	2	2	0

Fonte: da autora.

O fato de 93,8 % das representações elaboradas pelos estudantes se enquadrarem no código 2 para a categoria de *Partículas subatômicas* se deve à representação não apresentar algumas dessas partículas, como, por exemplo, estudantes que representaram elétrons e prótons, mas não representaram os nêutrons (Figura 17). Esses resultados diferem daqueles obtidos por Fitiriza e Gazzali, (2018), que investigaram as concepções de 135 estudantes do ensino médio de escolas de Padang (Sumatra) sobre a estrutura dos átomos. Nesse estudo, 78% dos estudantes representaram o átomo com as três partículas.

Figura 17. Representação do íon de cálcio elaborada por estudante

Fonte: estudante participante da pesquisa.

Esse tipo de representação pode nos levar a pensar que o estudante compreende a constituição do íon, no entanto não levou em consideração a representação de parte do núcleo. Chama a atenção, no desenho, que a última camada, da qual os elétrons foram retirados para formar o íon, permaneceu, o que pode significar que esse estudante dá uma concretude material a esse construto teórico. Um modelo teórico, ao procurar descrever um objeto, auxilia a explicar o comportamento do objeto descrito, podendo ser entendido como uma aproximação simplificadora da realidade (MAKI, 2001).

Nesse sentido, embora o modelo de Bohr se refira a uma entidade abstrata, os estudantes podem considerar o modelo como verdadeiro, isto é, deve apresentar semelhança ao sistema real, como aponta Maki (2001), e, assim, as órbitas, segundo essa visão, devem existir de fato, independentemente de carregarem ou não elétrons

Podemos compreender que não é simples para o estudante pensar no fenômeno submicroscopicamente, e extrapolar essa visão para explicar a formação

de um íon também não tem se mostrado uma tarefa simples (CAAMAÑO, 2004).

A Figura 18 traz a representação de um estudante que embora o núcleo tenha sido representado por uma esfera maciça, sem menção a prótons ou elétrons, ele representou adequadamente a eletrosfera e a quantidade de elétrons em cada camada é correta para um íon de cálcio. Além disso, o estudante mostrou o processo de formação do íon, assim como outros estudantes fizeram.

Figura 18. Representação do íon de cálcio elaborada por estudante.

Fonte: estudante participante da pesquisa.

Alguns estudantes representaram todas as partículas subatômicas, prótons, elétrons e neutros, mas nem todas com as quantidades adequadas para o íon que foi solicitado representar. No entanto, todos os estudantes representaram os elétrons e o fizeram em quantidades adequadas à representação de um íon de cálcio (Ca^{2+}), com dois elétrons a menos na eletrosfera do que o átomo de cálcio, como no exemplo da Figura 18.

Chama a atenção, nesse caso, a representação dos elétrons, com pequenos círculos que, quando comparados ao tamanho da representação das partículas do núcleo, parecem exageradamente grandes e, ainda, não foi apresentada a carga negativa. Como não exploramos o significado que o estudante deu às suas representações, podemos, apenas, conjecturar que, embora o estudante tenha utilizado a representação do modelo de Bohr, os elétrons parecem ter maior importância na configuração do átomo do que as demais partículas subatômicas.

Fitriza e Gazali (2018), em um estudo realizado com estudantes do ensino médio sobre a concepção de átomos, encontraram representações feitas pelos estudantes semelhantes a que encontramos em nosso estudo. Os autores sugerem que os estudantes têm ideias alternativas ao representarem o modelo atômico de Bohr, e recomendam que os materiais de ensino apresentem modelos representando

todas as partículas subatômicas.

Na segunda questão buscávamos conhecer o que os estudantes entendiam pelo conceito de íons. A tabela 12 apresenta os dados.

Tabela 12. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 2.

Conceito de íon				
Categorias Códigos	Presença de cargas elétricas	Cargas formadas por interações químicas	Dissociação e ionização	Eleticidade
1	-	12,5 %	6,3 %	12,5 %
2	12,5 %		-	-
3	68,8 %		-	25,0 %

Fonte: da autora.

Para 81,3 % dos estudantes, a presença de cargas elétricas é uma das principais características que define um íon. Um exemplo de resposta dada por um dos estudantes que se enquadraram no código 3 dessa categoria, está mostrada a seguir.

“Etimologicamente entende-se como viajantes. Entretanto são espécies que apresentam diferentes números de elétrons (carga negativa) e prótons (carga positiva), ou seja, mais ou menos elétron que próton, sendo chamados de cátions e ânions respectivamente e que livres conduzem eletricidade.” (A7)

Várias respostas à essa questão se aproximaram ao conceito de íon adotado pela IUPAC como “uma partícula atômica ou molecular que possui uma carga elétrica líquida”. Mesmo que, algumas vezes, tenham sido utilizados termos inadequados, entendemos que esses estudantes reconhecem a principal característica dos íons, as cargas elétricas. Como, por exemplo:

“Íons são as moléculas que possuem cargas.” (A2)

“Íons são espécies dotadas de carga, podendo essas cargas serem positivas, no caso dos cátions, ou negativas, no caso dos ânions.” (A10)

Diferentemente das respostas dadas a essa questão no primeiro questionário, no instrumento aplicado no término da sequência didática 37,5% dos estudantes associaram o conceito de íons à condução de corrente elétrica, como nos exemplos a seguir:

“Por íons entendo cargas. Se temos íons e movimento, podemos conduzir corrente elétrica.” (A9)

“Íons são cargas presentes nas moléculas, que junto ao movimento conduz energia”. (A14)

Possivelmente, esse fato se deve aos experimentos realizados pelos estudantes, o fenômeno foi relevante para o estudante a ponto de ele conseguir vincular suas observações à elaboração de uma definição para o conceito que levou em consideração mais os aspectos submicroscópicos do que os fenomenológicos.

Três dos estudantes apresentaram respostas insatisfatórias para o conceito de íons:

“Íons são átomos.” (A13)

“Íons são átomos que sofrem interação entre si.” (A5)

“Íons são átomos que possuem eletricidade.” (A6)

Esses estudantes, apesar de não apresentarem a resposta esperada para essa questão, buscaram nas outras questões representar o íon e explicar o fenômeno.

A terceira questão abordava o conceito de corrente elétrica. A tabela 13 apresenta dos dados referentes às porcentagens de respostas dadas pelos estudantes a cada categoria

Tabela 13. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 3.

Corrente elétrica					
Categorias Códigos	Cargas elétricas	Íons livres	Elétrons livres	Movimento das cargas elétricas	Eletricidade ou fonte de energia
1	6,3 %	-	6,3 %	-	12,5 %
2	12,5 %	50,0 %	18,8 %	31,3 %	43,8 %
3	-	-	-	18,8 %	-

Fonte: da autora.

Mais da metade dos estudantes utilizou os termos eletricidade ou fonte de energia para definir corrente elétrica. Apesar de não estarem incorretas, essas explicações não ultrapassam o nível fenomenológico. Esperávamos que, nesse momento, os estudantes já trouxessem explicações mais elaboradas, usando aspectos submicroscópicos e apresentando uma linguagem um pouco mais científica.

Aproximadamente metade das respostas dos estudantes trazem definições com relação ao movimento de cargas elétricas, como no exemplo a seguir:

“A corrente elétrica precisa de dois requisitos, que são as cargas e o movimento. Quando testamos se o NaCl é bom condutor, mesmo tendo carga por ser uma ligação iônica, ele não possui movimento, ou seja, em estado sólido ele não conduz.” (A12)

Se somarmos a ocorrência das categorias “Elétrons livres” e “Íons livres”, temos um total de 75,1 % das respostas que explicam o conceito de corrente elétrica pela presença de cargas elétricas “livres”:

“Corrente elétrica ocorre quando há íons livres, logo, há carga e movimento gerando eletricidade.” (A15)

Na quarta questão pedimos que o estudante explique o fato de alguns materiais conduzirem corrente elétrica e outros não. Pede-se que os estudantes deem exemplos na resposta. A tabela 14 apresenta os dados referentes a essa questão.

Tabela 14. Porcentagem de respostas para cada uma das categorias da questão 4.

Condutibilidade elétrica			
Categorias Códigos	Cargas e movimento	Ligação química	Elétrons e íons livres
1	-	6,3 %	6,3 %
2	31,3 %	-	6,3 %
3	62,5 %	31,3 %	12,5 %

Fonte: da autora.

Cargas e movimento fazem parte de 93,8 % das explicações dadas pelos

estudantes para o fenômeno da condutibilidade elétrica.

“Os materiais sólidos não conduzem, exceção da ligação metálica. Não conduzem, pois há apenas carga, não tem o movimento. Ao misturar a água ou fundir, onde temos a separação das cargas e temos íons livres, criamos o movimento, tendo carga e movimento temos bons condutores. A ligação covalente, como a sacarose não conduz, pois, ligação covalente não tem cargas, logo, não produzem a corrente elétrica.” (A15)

Vários são os estudantes que utilizam os tipos de ligações químicas que as substâncias apresentam para explicar o fenômeno da condutibilidade e 31,3% desses estudantes explicam adequadamente essa relação:

“Para a condutibilidade precisamos de carga e movimento. Substâncias que fazem ligação iônica conduzem em estado líquido e solução aquosa. Algumas substâncias que fazem ligação covalente conduzem em solução aquosa. Apenas os metais conduzem em estado sólido. Exemplos: HCl faz ligação covalente, mas, quando em solução aquosa, sofre ionização, assim conduzindo. NaCl faz ligação iônica (já tem carga), então só precisa de movimento. O fio de cobre é um metal e conduz em estado sólido (elétrons livres).” (A9)

A fim de traçar um panorama da aprendizagem dos estudantes no momento posterior ao ensino, agrupamos os estudantes de acordo com as suas respostas à questão que se remete ao conceito de íon. De forma geral, ao observar linearmente as respostas dos estudantes às questões podemos perceber 5 *Padrões* de respostas:

Padrão I: os estudantes A4, A8, A9 e A15 demonstraram um bom desenvolvimento conceitual ao final da sequência didática. Todos souberam definir adequadamente o conceito de íon e o representaram usando núcleo, eletrosfera e partículas subatômicas. Além disso conseguiram explicar o fenômeno da condutibilidade elétrica e reconhecer a existência de cargas elétricas em movimento.

Padrão II: os estudantes A1, A11 e A16 demonstram compreender o conceito de corrente elétrica, de movimento de cargas, íons livres. Mas, não associam adequadamente o fenômeno da condutibilidade elétrica ao movimento de cargas elétricas.

Padrão III: os estudantes A7, A10 e A12 fazem representações adequadas e compreendem o conceito de íons, relacionando-o às cargas elétricas. No entanto, não avançam tanto como o grupo anterior nas explicações do fenômeno da condutibilidade

elétrica.

Padrão IV: os estudantes A2 e A3 manifestam ideias a respeito do conceito de íons e da condutibilidade elétrica, mas parece não apresentarem os conectivos necessários para transformar essas ideias em explicações para o fenômeno. Dessa forma, podemos inferir que eles não elaboraram ainda um modelo mental para o fenômeno.

Padrão V: os estudantes A5, A6 e A13 apresentaram no início da sequência conceitos inadequados, e alguns desses conceitos persistiram ao final do processo. Esses estudantes manifestam algumas ideias, eles apreenderam conceitos, mas seria necessário um esforço de parte deles de verbalização desses conceitos para que o professor pudesse questionar as ideias apresentadas, e dar subsídios para que possam reestruturar conceitos, convergindo para a construção de um modelo mental sobre os fenômenos em estudo. Esses estudantes ainda não demonstraram uma clareza conceitual para criar seu próprio modelo explicativo.

O estudante A9 já apresentava explicações razoáveis e mostrou evoluir ainda mais com o ensino. Alguns estudantes que tinham a ideia do átomo como esfera, como o A8 e o A15, apresentaram uma evolução conceitual significativa. Os estudantes A1 e A16 melhoraram suas explicações para o fenômeno.

O A4 já manifestava a compreensão do conceito de íons, mas avançou na ideia da corrente elétrica e passa a perceber o movimento das cargas e a condutibilidade elétrica. O estudante A1 reconhece a carga elétrica, os íons razoavelmente o movimento dessas cargas. O A16 e o A13 que tinham conceitos inadequados, tiveram mais dificuldades, mas, embora apresentassem inicialmente um modelo maciço para o átomo, foram capazes, ao final do processo de ensino-aprendizagem, de explicar o fenômeno da condutibilidade elétrica.

Alguns desses movimentos conceituais dos estudantes têm relação com o trabalho colaborativo que realizaram no trabalho em grupo, como será discutido mais adiante.

Para melhor visualizar a evolução dos estudantes, em cada um dos 5 grupos, construímos gráficos para representar as respostas dadas de cada estudante aos conceitos de íon e condutibilidade elétrica. As Figuras 19 a 22, apresentam esses dados para os grupos de 1 a 5, respectivamente.

Figura 19. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 1.

Fonte: da autora.

Os estudantes do Grupo 1 apresentaram uma evolução conceitual, com três dos integrantes atingindo o padrão I ou II, mas já manifestavam concepções no início da aplicação da sequência diferente de zero, isto é, já possuíam ideias a respeito desses conceitos, mesmo que equivocadas, que foram reformuladas com o ensino.

Figura 20. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 2.

Fonte: da autora.

Todos os estudantes do Grupo dois apresentaram uma considerável evolução conceitual. Dois dos estudantes (A10 e A12) compreendem o conceito de íons e de condutibilidade elétrica adequadamente ao final do desenvolvimento da sequência

didática. Enquanto os estudantes A3 e A7 compreendem de forma satisfatória, mas sem explicar aprofundadamente, o conceito de íon e compreendem adequadamente a condutibilidade elétrica.

Figura 21. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 3.

Fonte: da autora.

Podemos perceber que os estudantes do Grupo 3 apresentaram uma evolução conceitual considerável, uma vez que os níveis iniciais dos conceitos de íon e de corrente elétrica manifestado foram enquadrados no zero, apresentando, entretanto, conceituações adequadas ao final do estudo realizado. Esses estudantes se enquadram nos padrões I ou II, mencionados anteriormente, padrões esses que correspondem à elaboração adequada dos conceitos. Assim, nos parece que a aplicação da sequência e o trabalho por eles realizado atingiu os objetivos propostos.

Os estudantes do Grupo 4, por outro lado, parecem não ter se beneficiado da aplicação da sequência da mesma forma que os dos grupos 1 e 3, uma vez que, a despeito de algum avanço mostrado por alguns deles, como A2 e A14, apresentam ainda níveis conceituais inadequados e até alguns conceitos em níveis inferiores ao que manifestaram no início do estudo. Esses estudantes compuseram os padrões IV e V, de menos complexidade conceitual.

Não se espera que todos os estudantes tenham o mesmo desempenho em situações de ensino, pois seus comprometimentos epistemológicos e seus objetivos pessoais são diferentes. Recorremos a Tardif (2002, p.132), quando menciona que “nada nem ninguém pode forçar um estudante a aprender se ele mesmo não se

empenhar no processo de aprendizagem”.

Figura 22. Evolução conceitual dos estudantes do Grupo 4.

Fonte: da autora.

6.6.3 Representações elaboradas pelos estudantes

No quarto momento da sequência didática, após a discussão do modelo atômico de Bohr com os estudantes, solicitamos que esses buscassem representar, em grupo, os átomos de sódio e de cloro, bem como dos seus respectivos íons.

Para isso, cada um deles recebeu uma folha com a representação das camadas da eletrosfera e várias peças circulares coloridas que representavam os prótons, elétrons e nêutrons. Essas peças, foram criadas para esse trabalho e eram todas de mesmo diâmetro, pois, com o intuito de simplificar, nós desconsideramos o tamanho proporcional dessas partículas subatômicas na representação, no entanto os estudantes tinham conhecimento dessa característica das partículas.

Equivocadamente, na folha que os estudantes receberam, representamos as camadas eletrônicas de tal modo que os estudantes não conseguiriam removê-las se assim julgassem necessário. Dessa maneira, todas as representações apresentaram uma camada vazia, a mais externa. Não foi nossa intenção, mas, com essa representação das camadas eletrônicas talvez possamos ter contribuído para que o estudante formasse uma ideia errônea do modelo, pois ficou evidente a existência da órbita sem elétron.

Convém lembrar que os estudantes tinham como informação para elaborar

essas representações os números atômicos do sódio e do cloro, bem como o número de massa de cada um dos elementos químicos. Assim, eles puderam representar os números de prótons, nêutrons e elétrons dos átomos e, posteriormente, simular a formação dos íons, como pode ser observado no exemplo da Figura 23.

Figura 23. Representação do (a) íon de sódio Na^+ (b) íon de cloro Cl^- (cloreto) elaborada por um grupo de estudantes.

Fonte: estudantes participantes da pesquisa.

Todos os grupos formados, ao serem solicitados para que construíssem as representações dos átomos de sódio e cloro e seus respectivos íons, os fizeram adequadamente. Consideramos interessante observar que, nesse momento, os estudantes representaram a quantidade correta de partículas no núcleo do átomo e as distribuíram de forma aleatória, diferentemente de representações que foram observadas na aplicação da sequência didática piloto (Figura 23 (b)).

Como discutido anteriormente, a dificuldade de compreender a estrutura atômica pode estar relacionada às representações de átomos encontradas em livros didáticos. De acordo com Melo e Neto (2013) a forma como os livros didáticos abordam a modelos atômicos pode gerar incompreensões com relação ao conceito de modelo e, ainda, a respeito da evolução histórica dos modelos atômicos que são apresentados uma ordem cronológica não problematizada.

Percebemos, na maioria dos livros didáticos, seleções de ocorrências históricas nas quais as conexões necessárias para justificar a discussão dos diversos modelos atômicos não ficam claras. A consequência desse recorte é a conclusão de que um modelo substitui o outro, sendo o anterior pior que o posterior, fazendo o aluno

questionar o porquê de não se aprender apenas o modelo correto ou modelo padrão. (MELO; NETO, 2013, p. 114).

Mas, nos parece que, nesse caso, os estudantes apresentaram um conhecimento mais elaborado a respeito da representação do modelo atômico de Bohr. Além disso, os estudantes demonstraram reconhecer a quantidade máxima de elétrons que podem ser distribuídos por camadas eletrônicas e o fizeram corretamente.

Consideramos importante esse momento da sequência didática elaborada, em que os estudantes tiveram a oportunidade elaborar a representação de átomos e íons, porque os estudantes puderam refletir sobre a distância entre o núcleo e as camadas eletrônicas e o quão as partículas subatômicas do núcleo e da eletrosfera estão atraídas entre si, inferindo sobre quais átomos tem a tendência de perder ou de ganhar elétrons.

De acordo com Carmona (2006)

Do ponto de vista didático, na educação básica, acreditamos que é aconselhável introduzir a estrutura eletrônica dos átomos como uma consequência das interações eletrostáticas produzidas no interior deles. Assim, os níveis energéticos dos elétrons estão associados à sua energia potencial eletrostática, devido às suas interações com os prótons do núcleo e os diferentes níveis são determinados pelas distâncias dos elétrons ao núcleo. (p. 414; tradução nossa).

Posteriormente, foi solicitado aos estudantes que representassem o cloreto de sódio no estado sólido (a) e líquido (b), durante a dissolução (c) e em solução aquosa (d). O objetivo planejado para essa atividade de representação foi levar os estudantes a pensar sobre o fenômeno da condutibilidade elétrica para o sal em questão. A Figura 24 ilustra uma representação esperada.

No estado sólido, as substâncias iônicas existem como arranjos tridimensionais de íons, assim os íons que compõe o sal cloreto de sódio encontram-se organizados em um retículo cristalino. Já, no estado líquido, quando o sal sofre fusão à temperatura aproximada de 801 °C, a rede cristalina é rompida e os íons sódio e cloreto adquirem liberdade de movimento (BROWN, 2005).

Figura 24. Ilustração de uma representação esperada para o cloreto de sódio (NaCl) quando em: (a) estado sólido; (b) estado líquido (fundido); (c) processo de dissolução, (d) solução aquosa.

Fonte: da autora.

Para a representação do processo de dissolução esperávamos que os estudantes representassem as moléculas de água interagindo com os íons provenientes do cristal de cloreto de sódio, no entanto, como é um processo, gostaríamos que os estudantes buscassem representar esse processo da aproximação das moléculas de água do retículo cristalino e, posteriormente, os íons livres em solução, com as moléculas de água solvatando-os.

Na última representação, a referente à solução, esperávamos que os estudantes representassem a interação entre as moléculas de água e os íons e que essa representação manifestasse a ideia da liberdade de movimento dos íons em solução aquosa.

Assim, a fim de analisar as representações elaboradas pelos estudantes criamos critérios visando identificar os principais aspectos representados, tendo em vista a adequação das representações em cada um desses aspectos.

Para a representação do estado sólido do cloreto de sódio foram considerados critérios de análise:

- a presença de um ou mais pares iônicos, visto que a representação de um único par iônico pode ser uma manifestação de que o estudante compreende a ideia do retículo cristalino;
- a organização dos pares iônicos nos mostra se os estudantes compreendem que a conformação de arranjo do sal é o que confere a impossibilidade das partículas se movimentarem e, conseqüentemente, conduzem corrente elétrica. A organização classificada como pares iônicos agrupados é quando os pares iônicos

se encontram em uma mesma região, mas sem configurar a organização de um retículo cristalino.

Consideramos como critérios para a análise da representação do cloreto de sódio no estado líquido (fundido):

- a organização dos íons, isto é, se os estudantes representam os íons livres ou como pares iônicos que apresentam uma neutralidade elétrica;
- a disposição dos íons ou pares iônicos que nos leva a compreender se o estudante percebe a ideia de movimento das partículas nesse estado. O critério de disposição organizada significa uma representação de cátions em uma mesma região e os ânions em outra, segregados. Já a disposição aleatória dos íons ou pares iônicos confere à representação uma ideia de movimento dessas partículas.

Na representação do processo de dissolução temos como critérios de análise:

- a organização dos íons, ou seja, se os estudantes representam íons livres, pares iônicos e/ou retículo cristalino, assim é possível compreender se os estudantes entendem a dissolução como um processo em que os íons vão sendo solvatados pelas moléculas de água;
- a interação entre íons e moléculas de água pode nos mostrar como os estudantes percebem as interações que ocorrem em uma solução salina, como quando os estudantes representam as moléculas de água unindo os íons, eles podem estar manifestando a ideia de que há uma ligação entre esses.

No APÊNDICE apresentamos um quadro com todas as informações dessa análise. No quadro¹⁴ apresentamos a análise das representações elaboradas pelos estudantes do Grupo 1. Cabe ressaltar que, apresentamos tanto as informações das representações elaborada por cada um dos integrantes do grupo, quanto as representações elaboradas coletivamente, para que possamos perceber a contribuição do grupo na construção da representação coletiva. A Figura 25 mostra as representações dos estudantes desse grupo.

Na representação do estado sólido do cloreto de sódio elaborada coletivamente pelos estudantes do Grupo 1 podemos perceber que prevalece uma estrutura organizada, de retículo cristalino, apesar de dois dos estudantes terem representado os pares iônicos separados. Podemos inferir, dessa forma, que a discussão do grupo pode tê-los levado a um consenso de que a melhor representação para explicar a não condutibilidade do NaCl sólido seria a organização rígida desses

íons no cristal.

Ao representarem o estado líquido do cloreto de sódio, os estudantes trouxeram, ainda, a representação de pares iônicos organizados aleatoriamente. Apesar de dois dos estudantes do grupo terem representado, individualmente, como íons, nos parece que, durante a discussão, a ideia que prevaleceu é a de que o retículo cristalino do sal se desfaz, mas ainda teriam os pares iônicos. Essa representação pode ser considerada inadequada, visto que ao fornecer energia para a fusão do sal, as ligações entre os íons se rompem, tendo-se, portanto, íons livres em movimento, fato esse que explica a condutibilidade elétrica do sal no estado líquido.

Figura 25. Representações do Grupo 1.

Fonte: estudante participante da pesquisa.

Quadro 14. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 1

	SÓLIDO		LÍQUIDO		PROCESSO DE DISSOLUÇÃO		SOLUÇÃO	
	Número de pares iônicos	Organização dos pares iônicos	Organização dos íons	Disposição dos íons ou pares iônicos	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água
A1	2	Separados	Íons	Organizados	Íons	Entre os íons	Íons	Unindo os íons
A5	4	Retículo cristalino	Pares iônicos	Aleatórios	Pares iônicos	Entre os pares iônicos	Pares iônicos	Unindo os pares iônicos
A8	2	Separados	Íons	Organizados	Íons	Entre os íons	Íons	Unindo os íons
A16	4	Retículo cristalino	Pares iônicos	Aleatórios	Íons	Entre os íons	Íons	Unindo os íons
G1	4	Retículo cristalino	Pares iônicos	Aleatórios	Retículo cristalino e pares iônicos	Entre os pares iônicos	Pares iônicos	Água entre os pares iônicos

Fonte: da autora.

Com relação à organização dos íons ou pares iônicos na representação do processo de dissolução, os estudantes representam a “desconstrução” do retículo cristalino, mostrando que durante o processo o retículo se transforma em unidades menores até chegar ao par iônico Na^+ e Cl^- . Essa é uma boa representação do processo, mas, embora três dos estudantes representarem íons ao invés de pares iônicos, a representação que prevaleceu foi a dos pares.

A solução aquosa de cloreto de sódios foi representada por pares iônicos com moléculas de água entre eles. Podemos observar que na transição da representação do processo de dissolução para a representação da solução, os estudantes parecem compreender que o retículo vai se rompendo em unidades menores, mas não chegam a representar os íons solvatados pelas moléculas de água.

As categorias das representações de cada integrante do Grupo 2, bem como a do grupo, estão apresentadas no Quadro 15.

Dois dos estudantes do Grupo 2 representam adequadamente o estado sólido do NaCl , como um retículo cristalino. O A10, reconhece que os íons não estão separados no estado sólido, visto que o estudante representa um agrupamento de íons, mas parece ainda não compreender o arranjo dos íons em um retículo cristalino. Já o estudante A12 representa pares iônicos, sem que haja interação uns com os outros. Com a discussão, a representação dos dois primeiros estudantes é a que prevalece, sendo representado adequadamente o retículo cristalino do cloreto de sódio.

A dificuldade de compreensão da estrutura do retículo cristalino pode ser explicada pelo fato de que para a compreensão dessas representações é necessária uma bagagem de conhecimentos químicos, como, nesse caso da estrutura de um átomo e de um íon. Dependendo dessa bagagem que o estudante traz, ele pode não compreender que o retículo cristalino do cloreto de sódio é um exemplo de uma substância iônica, porque a representação gráfica desse retículo utiliza o modelo de Dalton, o que não permite (fora de um contexto) a compreensão do que significam as bolinhas e os traços e como elas se mantêm unidas. (AYMERICH, 2004).

Quadro 15. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 2

	SÓLIDO		LÍQUIDO		PROCESSO DE DISSOLUÇÃO		SOLUÇÃO	
	Número de pares iônicos	Organização dos pares iônicos	Organização dos íons	Disposição dos íons ou pares iônicos	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água
A3	6	Retículo cristalino	Íons	Organizados	Pares iônicos	Ao redor do par iônico	Íon	Ao redor de cada íon
A7	4	Retículo cristalino	Íons	Organizados	Pares iônicos	Ao redor do par iônico	Íon	Ao redor de cada íon
A10	5	Agrupados	Íons	Aleatórios	Íons	Entre os íons	Íon	Ao redor de cada íon
A12	2	Separados	Íons	Organizados	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íon	Entre íons
G2	6	Retículo cristalino	Íons	Organizados	Íons	Entre os íons	Íon	Ao redor de cada íon

Fonte: da autora.

Na representação do NaCl no estado líquido, três dos estudantes representaram os íons de maneira organizada, cátions Na^+ de um lado e ânions Cl^- de outro. Apenas um estudante (A10) representou os íons distribuídos aleatoriamente, uma representação que dá a ideia do movimento dos íons e justificaria a condutibilidade elétrica do sal fundido. No entanto, inferimos que, quando eles socializaram suas representações individuais e a discutiram com o grupo a fim de construir a representação coletiva, o estudante A10 não teve argumentos para sustentar sua representação frente à concordância das representações dos colegas.

Nos chamou a atenção a representação o processo de dissolução, pois, embora os estudantes tenham se valido da representação de íons no estado líquido, essa representação não se manteve para explicar a dissolução, pois três deles representam a dissolução por pares iônicos interagindo com as moléculas de água. Isso pode significar que a ideia de íons livres ainda está em processo de formação para esses estudantes. Na elaboração do modelo coletivo, talvez por perceberem essa contradição, os três estudantes concordam com as ideias expressas no modelo apresentado pelo A10, de íons e moléculas de água entre eles, sendo essa a representação coletiva (Figura 26).

Na representação elaborada para a solução, os estudantes optaram por representar íons, porém a interação com a água foi simulada por moléculas de água ao redor de cada íon, parecendo não dar ideia de mobilidade. A representação da solução elaborada pelos estudantes é uma representação coerente pois mostra os íons sendo solvatados pelas moléculas de água, que são representadas com orientação adequada. No entanto, os estudantes representam apenas um íon de cada espécie.

Figura 26. Representações do Grupo 2.

Fonte: estudante participante da pesquisa.

As categorias das representações elaboradas pelos participantes do Grupo 3, bem como a elaborada coletivamente estão apresentadas na Quadro 16.

O Grupo 3 representa, coletivamente, o estado sólido como um retículo cristalino e parece compreender que a fusão desse sal leva à separação desses íons do arranjo. O fato de cada um dos quatro estudantes que integram esse grupo ter representado o estado sólido por apenas um par iônico nos sugere que a representação coletiva do retículo cristalino tenha partido da discussão do grupo, buscando explicar a não ocorrência da condutibilidade elétrica para um sólido iônico.

Todos os estudantes representam, tanto individualmente quanto em grupo, o estado líquido com íons livres. Mas, só podemos inferir a respeito da organização desses íons na representação elaborada pelo grupo, já que as representações individuais apresentam apenas um íon de cada espécie.

Quadro 16. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 3

	SÓLIDO		LÍQUIDO		PROCESSO DE DISSOLUÇÃO		SOLUÇÃO	
	Número de pares iônicos	Organização dos pares iônicos	Organização dos íons	Disposição dos íons ou pares iônicos	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água
A4	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
A9	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
A11	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
A15	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
G3	3	Retículo cristalino	Íons	Aleatórios	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Entre os íons

Fonte: da autora.

A representação do grupo, entretanto, parece ter sido coerente com a representação do sólido feita coletivamente, uma vez que os íons são colocados de forma aleatória, mostrando que no processo de discussão coletiva, eles compreendem o movimento desses íons, como pode ser observado na Figura 27.

Figura 27. Representações do Grupo 3.

Fonte: estudante participante da pesquisa.

Ao representarem o processo de dissolução, entretanto, a representação de múltiplos íons não se manteve, prevalecendo o que foi representado individualmente por todos os estudantes, um único par iônico com as moléculas de água ao seu redor. Uma justificativa que podemos apresentar é a de que, ao elaborar essa representação eles tenham buscado mostrar a atração entre as partes positiva e negativa da molécula de água para separar os íons de sódio e de cloro. Tal justificativa se baseia na representação que o grupo apresentou da solução, em que os íons estão separados e as moléculas de água estão entre esses íons.

Na representação da solução, o grupo utilizou apenas um íon de cada espécie. Não nos parece razoável considerar que esses estudantes não compreendem que na solução haveria um conjunto de íons de cada espécie, pois representaram, coletivamente, o estado sólido e o líquido com mais de um íon sódio e de cloro. Talvez, a não tenham percebido a poder explicativo que uma representação pode ter e, para eles, representar um íon ou um conjunto de íons pode parecer adequado, pois nos dois casos, significaria estarem fazendo a mesma representação.

As categorias das representações apresentadas pelos componentes do Grupo 4 estão apresentadas no quadro 17. A Figura 28 mostra as representações feitas pelo grupo.

Quadro 17. Categorias das representações de cada integrante e do coletivo do Grupo 4

	SÓLIDO		LÍQUIDO		PROCESSO DE DISSOLUÇÃO		SOLUÇÃO	
	Número de pares iônicos	Organização dos pares iônicos	Organização dos íons	Disposição dos íons ou pares iônicos	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água
A2	3	Separados	Íons	Aleatórios	Par iônico	Separado	Íons	Entre os íons
A6	2	Separados	Íons	Aleatórios	Íons	Ao redor do íon	Íons	Entre os íons
A13	2	Separados	Íons	Aleatórios	Íons	Ao redor do íon	Íons	Entre os íons
A14	3	Retículo cristalino	Íons	Aleatórios	Íons	Ao redor do íon	Íons	Entre os íons
G4	2	Retículo cristalino	Íons	Aleatórios	Pares iônicos	Entre os íons no par iônico	Íons	Entre os íons

Fonte: da autora.

Figura 28. Representações do Grupo 4.

Fonte: estudante participante da pesquisa.

O Grupo 4, apesar de três dos integrantes representarem pares iônicos separados para o estado sólido, apresenta, em seu modelo elaborado coletivamente, o retículo cristalino do cloreto de sódio. O compartilhamento das representações individuais e a discussão em busca de explicar o modelo pode tê-los levado a mudar essa representação. Além disso, os estudantes utilizam a menor quantidade possível de íons para representar como se dá esse arranjo iônico.

A representação do sal fundido (líquido) é adequada, apresentando a mesma quantidade de íons representada no estado sólido, no entanto agora esses íons estão separados e dispostos aleatoriamente, podendo demonstrar que os estudantes compreenderam o movimento desses íons.

O processo de dissolução do sal foi representado por esse grupo por pares iônicos, com uma molécula de água interagindo com cada par representado. Chama a atenção que três dos integrantes do grupo representaram a dissolução por meio de íons e não pares iônicos, o entanto, no processo coletivo, parece que o estudante que utilizou pares iônicos na representação apresentou argumentos que convenceram os colegas a compartilhar sua representação.

Podemos conjecturar que os estudantes buscaram representar como ocorre a separação desses íons com a interação com a água para se tornarem íons livres. Tal conjectura pode se sustentar quando analisamos a representação da solução salina, com as moléculas de água entre os íons de sódio e de cloro. Nessa representação, os estudantes a colocam as partículas com orientação adequada, com o polo positivo da água voltado para o íon negativo (Cl^-) e o polo negativo voltado para o íon positivo (Na^+).

6.6.4 Interações entre estudantes no grupo de aprendizagem colaborativa

6.6.4.1 Grupo 1

Nesta seção vamos analisar as interações observadas entre os estudantes no grupo colaborativo, buscando compreender as discussões que ocorrem entre os estudantes no momento de elaboração das representações coletivas. Procuramos perceber quais são as ideias que eles apresentam e como as discutem com os outros integrantes do grupo.

Para isso, vamos analisar as interações entre os integrantes de dois grupos: Grupo 1 e Grupo 4. Para compreender como ocorreram essas interações escolhemos esses dois grupos por serem os grupos que apresentaram uma evolução conceitual com relação ao conceito de íon e de condutibilidade diferente dos outros grupos.

O Grupo 1 é constituído pelos estudantes A1, A5, A8 e A16. No questionário prévio, ao serem solicitados para representar como eles imaginavam que seria o átomo de sódio, todos o representaram como uma esfera. Dentre eles, somente o estudante A8 demonstrou ter uma ideia mais adequada do conceito de íons. Os estudantes A1, A5 e A16 apresentam uma ideia do conceito de íon, ainda que não explícita, e dão uma explicação para a condutibilidade elétrica utilizando a ideia de cargas e de movimento. No instrumento final, o estudante A8 mostrou respostas compatíveis com o agrupamento Padrão I, enquanto o A16, com o Padrão II e o A5, com o Padrão V.

Ao observar as representações que os estudantes elaboraram para tentar explicar o fenômeno da condutibilidade elétrica, A1 e A8 representam o estado líquido como íons organizados (Na^+ de um lado, Cl^- , do outro), enquanto A5 e A16 representam o NaCl líquido como pares iônicos, embora eles os representem de forma aleatória. Assim, não é possível perceber a ideia das cargas elétricas em movimento. Os dois estudantes que representam íons organizados no estado líquido, ao representar a solução representam como íons e a água unindo os íons. O estudante A5 representa o cloreto de sódio na solução por pares iônicos, demonstrando em sua representação e no questionário final uma certa dificuldade em avançar para a ideia de íons livres, apesar disso, ele parece convencer os colegas a representarem o NaCl

na solução por pares iônicos.

O quadro 18, traz as representações do Grupo 1 e as respectivas explicações que os estudantes elaboraram para cada uma dessas representações elaboradas coletivamente.

Quadro 18. Representações e explicações dos estudantes do Grupo 1.

	Representação	Explicação
Sólido		Formam uma cadeia, deixando as moléculas muito próximas e dificultando a mobilidade.
Líquido		O calor quebra essa cadeia, liberando as moléculas, ganhando mobilidade.
Dissolução		Neste processo, o NaCl ainda está sólido, sem mobilidade, eles estão tendo o primeiro contato com a água.
Solução		A solução é o resultado da mistura, a rede de NaCl já está desfeita, a ligação entre NaCl e H ₂ O não ocorre, eles apenas são atraídos pelas cargas. Sendo assim, a solução contém carga (íons NaCl) e mobilidade, já que o NaCl está disperso e a água também.

Fonte: da autora.

Ao socializar suas representações com os colegas da turma os estudantes do

Grupo 1, trazem uma justificativa para representação que o grupo elabora, usando o par iônico:

Estudante de outro grupo pergunta: *“Olhando no meu (representações) eu falo. É que você fez o líquido de um jeito e eu fiz de outro.”*⁷

Pesquisadora: *“Como?”*

Estudante de outro grupo: *“Porque o seu está junto e o meu está separado.”*

Estudante do G1: *“O que a gente pensou no sólido a gente tem várias moléculas de NaCl junto, NaCl, NaCl e NaCl, quando eles se desprendem a ligação não se perde, a ligação de Na e Cl não se perde, o que se dispersa são as moleculazinhas, mas não se separam. É como se NaCl fosse uma pessoa, por exemplo: eu sou uma pessoa e ele também. Eu só fiz isso aqui [aluna abraça colega e depois se separa], não cortou meu corpo em duas partes.”*

A estudante busca uma analogia para tentar explicar como o seu grupo, após discutir, compreende a separação dos pares iônicos do arranjo cristalino. Para isso, ela compara o par iônico, NaCl, com uma pessoa.

Ao socializar os modelos individualmente pensados, ou construídos, muitas vezes se faz necessário utilizar instrumentos para conseguir expressá-lo de uma forma que os outros o compreendam. Assim, o uso de uma analogia, nesse momento, pela estudante pode ser explicado pelo fato de que os *modelos mentais* são uma representação pessoal e interna e para se tornar um *modelo expresso* utilizamos recursos de representação (Gilbert; Boulter; Elmer, 2000).

⁷ Os trechos que se encontram em itálico são as falas dos estudantes.

Figura 29. Representações do retículo cristalino do NaCl.

É possível inferir que a estudante tem a ideia de que a energia de atração entre um Na^+ e um Cl^- é superior à energia que mantém a união entre esse íon Na^+ com os outros íons cloreto próximos na rede cristalina, por exemplo. Assim, podemos entender que esses estudantes ainda não têm claro a ideia do retículo cristalino, de como essa rede é formada. É muito comum observar em livros didáticos e outros materiais de ensino, representações, como as da Figura 29, para o retículo cristalino do sal cloreto de sódio.

Fonte: REIS (2015, p. 277)⁸.

As falas dos estudantes sempre trazem a ideia de que o NaCl seja uma molécula, esse fato pode demonstrar que talvez não tenha ficado claro durante a sequência didática que os compostos moleculares são aqueles que fazem ligações covalentes, e não iônicas.

Os diálogos a seguir ilustram o processo interativo no grupo, na elaboração das representações coletivas. Nesse momento, não vamos identificar os estudantes como fizemos nas outras análises, pois a gravação foi realizada apenas com áudio e assim conseguimos apenas identificar quando é o mesmo estudante que está falando, mas não qual estudante ele é usando os códigos (A1, A2, A3...). Assim, vamos chamar os estudantes de Estudante A, Estudante B, Estudante C.

Estudante A: *“Ah quando você for falar, tem que falar NaCl.”*

Estudante B: *“Ela mostrou lá o sólido, então a dissolução é ele chegando a dissolver com a água?”*

Estudante A: *“É! Elas estão tipo chegando o mais com o menos ali e o menos com o mais. E aqui “*

Estudante A: *“Fala a sua aí.”* (Dirigindo-se ao Estudante C)

⁸ REIS, M. **Química**. São Paulo: Editora Ática, v.1, p. 277, 2015.

O estudante solicita que os colegas verbalizem suas ideias, fato que corrobora com as ideias apresentadas por Barab et al (2000), trabalho em que os autores enfatizam que a construção de um modelo que será apresentado com o intuito de que seja aceito por um grupo maior pode funcionar como uma âncora em torno da qual a atividade dos estudantes emerge. Atividade essa que leva os estudantes a reflexão, reconstrução de seus modelos e promove o diálogo com os outros estudantes.

Estudante C: *“E se tiver errado?”*

Nessa fala podemos perceber que o estudante não demonstra uma confiança de expor suas ideias ao grupo e que ainda não percebeu como se dá esse trabalho colaborativo e que ele pode errar, que ninguém está ali para julgar, ainda não estabeleceu a ideia de que cada uma das ideias é importante na elaboração do conhecimento.

Estudante D: *“Vocês tão certos, a gente está errado.”*

Estudante B: *“Eu estou caçando alguma coisa aqui pra fazer o dissolvido.”*

Estudante C: *“Quanto você usou? 4, 8, 16, você usou 16, tem 16 aí?”*

Nessas interações, percebe-se que os estudantes comparam suas representações, tentando entender como ocorre o processo de dissolução.

Estudante B: *“Assim, eu sei, que o H só vai ficar perto do Cl porque é H^+ e que o Na vai ficar perto do O. Mas, assim, em uma solução eles estão se misturando provavelmente eles vão se juntar.”*

Estudante C: *“Assim, você usou 2 Na, então precisa usar 2 Cl?”*

Estudante B: *“É, para equilibrar.”*

A fala do estudante parece justificar a formação do par iônico na solução, já que pensa que os íons vão se juntar depois de solvatados ou no processo de solvatação.

Pesquisadora: *“Pensa quando a gente coloca sal, e ele dissolve. O que significa ele se dissolver? Pensa assim, quando a gente fala que “dissolve”, a gente*

está pensando macroscopicamente, ou seja, macroscópico é aquilo que a gente consegue ver com os olhos. Antes está lá, o sal e a água, você mexeu e o sal parece ter sumido, mas ele sumiu?”

Estudante A: *“Não, ele continuou na solução.”*

Pesquisadora: *“Microscopicamente, se vocês pudessem enxergar os átomos e enxergar os íons, como que eles estariam ali dissolvidos? Vocês acham que ele se liga com a água?”*

Estudante B: *“Ficava O e H, e H, eles ficavam separados”* (questionando a representação da água).

Pesquisadora: *“Sim, tem várias formas de representar os íons da água, aqui nós representamos uma molécula. E esses íons o Na⁺ e o Cl⁻ eles estão dissociados.”*

Em sua intervenção, a pesquisadora procura fazer com que os estudantes transitem entre o macroscópico, o observável, e o submicroscópico, as explicações em termos das partículas subatômicas. Pensar à nível submicroscópico não é uma tarefa simples para o estudante (Caamaño, 2004) e, por isso, se faz tão importante que eles tenham a oportunidade de observar fenômenos, refletir a respeito deles, elaborar hipóteses, buscar representar esses fenômenos.

Em outro momento, nas explicações sobre a dissolução aparece uma dúvida sobre a ocorrência de reação química, e eles recorrem à pesquisadora.

Pesquisadora: *“Quando eu coloco o sal na água está acontecendo uma reação? O que é uma reação química?”*

Estudante D: *“A gente tem o reagente e o produto.”*

Pesquisadora: *“Para ocorrer uma reação química tem que acontecer o que?”*

Resposta do estudante inaudível.

A pesquisadora afirma que não é uma reação química o que acontece na interação do NaCl e a água. Ela, olhando as representações da dissolução e da solução já feita, pergunta se eles concordam que os íons se separaram e pede para os estudantes explicarem sua apresentação

Estudante A: *“Seria os íons ficam separadinhos. Então esses dois ficam iguais”* (comparando a representação da dissolução e da solução).

O estudante percebe que a representação da solução tem de ser uma continuidade da representação da dissolução.

Podemos inferir que é durante o processo de discussão dos modelos que os estudantes vão se apercebendo da necessidade de verbalizar suas concepções e seus modelos mentais e, assim, a insegurança que observamos no início das discussões vai dando lugar a falar conceitualmente mais elaboradas.

6.6.4.2 Grupo 4

O quadro 19, traz as representações do Grupo 4 e as respectivas explicações que os estudantes elaboraram para cada uma dessas representações elaboradas coletivamente.

Quadro 19. Representações e explicações dos estudantes do Grupo 4.

	Representação	Explicação
Sólido		O NaCl fica alternado porque nessa posição eles tem o menor ângulo de repulsão. Não possui movimento.
Líquido		Quando fundido eles se separam e ganham movimento, mas não deixam de estar opostos.
Dissolução		A água está entrando para separar o NaCl.

<p>Solução</p>		<p>O Na^+ e o Cl^- estão sendo separados. O Na é separado pelo O ($\text{Na}^+ \text{O}^-$) e o Cl é separado pelo H ($\text{Cl}^- \text{H}^+$).</p>
-----------------------	---	--

Fonte: da autora.

Ao socializar suas representações com os colegas da turma os estudantes do Grupo 4 explica como elaboraram suas representações do estado sólido e líquido (fundido) do cloreto de sódio, bem como do processo de dissolução e da solução aquosa do sal:

Estudante: *“Então, no sólido, que nem a [estudante do Grupo 1] falou, eles ficam unidos. No final a gente colocou a polaridade, o H com o Cl, o Na sendo atraído pelo O. E aqui na frente [representação do sólido e líquido] a gente não tinha colocado, mas eles têm que ser assim porque eles se repelem, senão não ia formar o cristal, ia ficar tipo meio que separando. Tem até um nome, quando é essa malha assim, com 4, como é professora?”*

Pesquisadora: *“Uma célula unitária.”*

Estudantes: *“Isso, uma célula unitária, quando é só um assim (mostrando a representação do NaCl sólido). Aí no líquido a gente deixou separado, tipo não tão juntos assim. Porque como aqueceu, eles se separaram e por isso parece que quando você derrete uma coisa assim ela distorce, ela separa. Ai na dissociação a gente colocou a água vindo para separar eles. Eles estavam juntos né, aí a água vem pra separar. Na solução a gente colocou já tudo separado, o Na sendo atraído pelo O e o Cl sendo atraído pelo H.”*

Apesar de usar uma terminologia que não é precisamente aquela considerada cientificamente adequada, os estudantes do Grupo 4 trazem uma explicação coerente para a dissolução e a solução de cloreto de sódio. O que corrobora com as representações coletivas dos grupos, que são, em sua maioria adequadas. Esse dado mostra-se superior a outros encontrados na literatura, como o do trabalho da Carmo (2005), em que 20,5% dos estudantes apresentaram explicações coerentes para o

processo.

Pesquisadora: *“A água está ligada com os íons do sal?”*

Estudantes: *“Não, separada.”*

Pesquisadora: *“É uma interação então.”*

Estudantes: *“É!”*

Pesquisadora: *“E como isso explica se a lâmpada acende ou não?”*

Estudantes: *“Porque ela sofre ionização na água, tipo a água do mar por exemplo. Quando você tem a água, ela tem o sal, por exemplo.”*

A fala desse estudante remete a aspectos do cotidiano e observamos, assim como Carmo (2005) que os estudantes, de forma geral, fornecem explicações macroscópicas aos fenômenos, sendo influenciados por aspectos puramente visuais e situações que vivenciam em seu cotidiano.

Pesquisadora: *“E aí quando você coloca o aparelho para medir a condutibilidade, o que acontece?”*

Estudantes: *“Conduz, é porque a eletricidade passa por causa das cargas.”*

Os diálogos a seguir ilustram o processo interativo no grupo, na elaboração das representações coletivas:

Estudante D: *“O sólido é meio óbvio.”*

Estudante D: *“Sólido é tudo junto.”*

Estudante E: *“Sólido é tudo junto, mas aí no líquido é...”*

Estudante F: *“O líquido eu coloquei separado”*

Estudante D: *“Eu também”*

Estudante E: *“A (colega) colocou com água”*

Estudante G: *“Não, acho que todo mundo fez igual, sólido e líquido todo mundo fez igual”*

Estudante D: *“Sólido e líquido todo mundo fez igual”*

Os estudantes concordam que a representação do sólido deve ser feita com todos íons juntos e dizem que a representações de todos os integrantes do grupo estão iguais. Mas, ao olharmos as representações que eles elaboraram, apenas um dos estudantes dá a noção do retículo cristalino, os outros três representam como pares iônicos relativamente próximos entre si.

Os estudantes, apesar de compartilharem nos grupos suas representações, não problematizam as diferenças das representações elaboradas individualmente. Podemos inferir, com relação a isso, que para os estudantes, ao olhar as representações, eles realmente não conseguem observar diferenças.

Na representação do estado sólido do cloreto de sódio, os espaços que eles deixam entre os pares iônicos parece indicar que eles não compreendem o arranjo do retículo cristalino. Mas, para eles, aparentemente a representação em pares iônicos (Figura 30(a)) não é fundamentalmente diferente da representação do retículo (Figura 30(b)), não demonstrando que essa estrutura leva a uma propriedade diferente dos sólidos.

Figura 30. Representações do cloreto de sódio sólido (a) em pares iônicos e (b) retículo cristalino.

Fonte: dos estudantes.

Nesse momento, podemos observar que o grupo compreendeu que deveria fazer esse processo de socialização e discussão, em que cada um deles expõe suas ideias, os outros escutam, debatem e eles elaboram uma representação coletiva.

Os estudantes passam então a discutir suas representações para o processo de dissolução e para a solução de cloreto de sódio.

Estudante G: *“Na dissolução eu acho que eu errei muito, porque eu coloquei todo mundo junto, só que todo mundo junto com a água.”*

Estudante D: *“Exato, eu coloquei a mesma coisa aqui.”*

Estudante G: *“Mas eu acho que eles são separados aqui.”*

Estudante D: *“Eu acho que eles estão juntos e, na solução, separados.”*

Estudante E: *“Eu coloquei na dissolução a água já chegando.”*

Estudante F: *“Eu coloquei ela já chegando.”*

Estudante G: *“Mas eu também acho que na dissolução ela também é*

separado. Porque tipo, por exemplo, no sólido está todo mundo junto, aí quando adiciona água eles se separam, cada uma vai para outro. Mas eu não acho que eles se juntam com a água, eles ficam separados.”

Estudante D: “Então, vamos fazer assim. Como todo mundo colocou na dissolução separado, então vamos por separado. só eu coloquei junto.”

Estudante G: “Na dissolução?”

Estudante D: “Na maioria que vocês colocaram.”

Estudante G: “Aí na dissolução pode colocar tudo separado e na solução separado também.”

Estudante D: “E na solução a gente coloca que nem esse, eu acho.”

Estudante G: “Pode ser!”

Podemos perceber, na fala desses estudantes, que existe um processo de negociação um tanto excipiente, uma vez que eles buscam representar da forma que a maioria representou.

O fato de o Estudante D ter representado de uma forma diferente da maioria não é problematizado no grupo. Nem o estudante busca argumentos para explicar seu ponto de vista, e nem os outros estudantes questionam o porquê ele representou daquela forma.

Os estudantes também não buscam discutir o fenômeno da condutibilidade elétrica, e se prendem apenas na discussão das representações. Então parece que a representação tem um fim em si, e não como a representação de um fenômeno. Em nenhum momento eles se discutem se aquela representação está explicando adequadamente o fenômeno.

A pesquisadora questiona ao grupo como eles estavam elaborando as representações coletivas e os estudantes explicam reafirmam a ideia de que eles buscaram representar pela maioria.

Pesquisadora: “Como vocês decidiram? Vamos conversar sobre isso.”

Estudante D: “A maioria.”

Estudante G: “A gente foi vendo o que estava diferente, do que estava igual e aí a gente entrou num consenso de colocar pelo ponto de vista de cada um, de uma maneira geral.”

Estudante E: *“Todo mundo, no sólido, fez igual e no líquido também, mas quando chega na solução a gente fez diferente.”*

Em um momento, os estudantes estão discutindo como vão representar o processo de dissolução e podemos notar uma divisão de trabalho, enquanto dois do grupo fazem a representação do sólido e do líquido, outros dois ficam discutindo para representar a dissolução e a solução.

Estudante D: *“Não bota junto não, deixa meio separadinho.”*

Estudante E: *“Aqui é mais ou menos separado.”*

Estudante E: *“Coloca 2 de cada?”*

Estudante D: *“Eu acho que é melhor assim, não é? A gente coloca meio que a água entrando assim ó.”*

Estudante E: *“Não! Faz dois para ficar igual. Faz só dois que ela está fazendo dois ali.”*

No grupo de trabalho colaborativo, essa divisão de trabalhos não é esperada, pois todos os estudantes do grupo deveriam estar empenhados nessa discussão conceitual, defendendo suas ideias.

No momento em que os estudantes D e E discutem a respeito da separação entre os íons, o apelo da representação feita pela maioria não aparece já que a discussão acaba ficando apenas entre os dois estudantes do grupo. Esses estudantes buscam representar o processo e, por isso, colocam a água entrando entre os íons do par iônico, afastando-os.

Para explicam a representação da solução os estudantes retomam as representações feitas para o cloreto de sódio sólido e líquido:

Estudante D: *“Ó aqui é igual o meu! O OH cola com o Na e o Cl cola... Ah não, espera, é o contrário!”*

Estudante F: *“Aqui, o sólido fica tudo junto, aí quando derrete dá uma separada. Mas não deixa de estar junto!”*

Embora o estudante F relate a ideia de que os íons estão juntos no estado

líquido, não tem nenhuma representação individual que mostre os íons agrupados.

Pesquisadora: *“Derrete não!”*

Estudante F: *“Derrete não, funde.”*

Estudante G: *“Aquece.”*

Estudante F: *“Continua meio separado, mas ainda tem aquela ligação deles.”*

Estudante G: *“Movimento!”*

Estudante F: *“Na dissolução, a água chegando e vai separando aqui ó, e na solução já está separado, o Na no O e o H com o Cl.”*

Pesquisadora: *“Mas isso é uma ligação? O Na com o O e o H com o Cl?”*

Estudante F: *“Não, acho que não.”*

Estudante G: *“É as cargas positivas com negativas e negativa com positiva, elas se atraem.”*

Estudante F: *“Não está se ligando, a água está separando eles.”*

Estudante D: *“É. Já deixa separado então, é só tacar um monte de água.”*

Pesquisadora: *“Isso, na verdade não é uma ligação é a atração da água com os outros íons, e aqui então você colocou voltado por causa dessas cargas contrárias.”*

A representação da interação do polo negativo da água com o íon sódio e do polo positivo com o íon cloreto não foi tratada nessa sequência didática, então os estudantes buscam na memória e utilizam como apoio essas ideias prévias para fazer a representação da solução.

Na dissolução essa ideia não aparece, porque os estudantes buscam explicar o processo de dissolução em si. Concluimos então que, nesse grupo, essa atividade mobilizou esse conhecimento.

A pesquisadora explica então que a representação do sólido que eles fizeram é chamada uma célula unitária de um cristal e explica que essa organização se repete várias vezes para formar um cristal de sal cloreto de sódio.

As explicações que os estudantes desse grupo elaboram para o fenômeno da condutibilidade e suas vão se complexificando à medida que as discussões ocorrem. Nos parece que eles aproveitaram a oportunidade de se expressarem no grupo colaborativo.

7. Considerações finais e conclusões

A partir da sequência didática planejada de acordo com a demanda cognitiva e as concepções alternativas relatadas na literatura, pudemos investigar de que forma, nesse contexto, os estudantes evoluíram na elaboração do conceito de íons, e como a estratégia de aprendizagem colaborativa pode influenciar a aprendizagem desses conceitos.

Alguns aspectos importantes que pudemos concluir com o desenvolvimento desse trabalho são:

- Os estudantes apresentam dificuldade em compreender a composição do núcleo do átomo e a organização das partículas subatômicas no núcleo.
- Uma parcela considerável dos estudantes mostrou, no início do desenvolvimento da sequência didática, compreender o átomo como uma esfera.
- A ideia de retículo cristalino é desconhecida ou simplificada pelos estudantes, que parecem não compreender as interações que mantém estável essa estrutura.
- Existe uma confusão, por parte de alguns estudantes, entre o estado líquido do cloreto de sódio e uma solução aquosa desse sal. O estudante relaciona o termo 'líquido' à presença de água, uma concepção alternativa que vem de conhecimentos de senso comum.
- O momento de maior nível cognitivo e interatividade da sequência didática planejada foi aquele em que os estudantes realizaram os experimentos e tiveram a oportunidade de discutir com os colegas e com a pesquisadora a respeito de suas observações.
- A socialização e reflexão com outros estudantes leva à mobilização de conhecimentos prévios para melhorar explicações.
- A relação entre o nível fenomenológico e o submicroscópico ainda é de difícil compreensão para os estudantes.
- Os modelos mentais são expressos de muitas formas pelos estudantes, uma delas é a analogia. Deve-se cuidar para que suas limitações sejam pensadas pelos estudantes.

- A sequência didática desenvolvida parece ter envolvido os estudantes, tanto em aspectos cognitivos quanto afetivos.
- Os estudantes que já tinham alguns conceitos relativamente adequados ou modelos mentais razoáveis sobre os fenômenos tratados avançaram na compreensão do conceito de íon e do fenômeno da condutibilidade elétrica e, também, nas respectivas representações.
- Os estudantes que, inicialmente, não manifestaram conceitos adequados, se beneficiaram consideravelmente do estudo realizado.

Os estudantes apresentam dificuldade de transitar pelos níveis macroscópico, submicroscópico e representacional. Existe uma dificuldade de compreensão de que os modelos elaborados devem buscar explicar o fenômeno observado, constatação que aparece outras vezes na literatura. Esse fato possivelmente se dá pela pouca (ou nenhuma) utilização da modelagem como recurso em sala de aula e, além disso, ao fato de ainda não discutirmos muito nas disciplinas de Ciências como esses modelos são historicamente elaborados, e qual é a finalidade dos modelos científicos elaborados.

A construção de modelos no ensino de Ciências é um recurso que leva os estudantes a esse engajarem no processo de construção do conhecimento, faz com que eles busquem organizar seu pensamento e como pudemos observar, buscar conhecimentos prévios que melhorem os seus modelos. As reflexões que fizemos neste trabalho nos levaram à consciência de que a elaboração do conceito de íons merece ainda uma atenção das pesquisas científicas da área de Ensino de Ciências, por ser um conceito que exige um alto nível de abstração e ser um importante conhecimento prévio para a aprendizagem de outros conhecimentos.

Consideramos que o trabalho desenvolvido pode ser de grande valia para traçar novas estratégias mais eficazes no ensino do conceito de íons. Mas, reconhecemos que muito ainda deve ser estudado e apresentamos algumas sugestões aos professores e aos pesquisadores:

- Que se pense em outras abordagens de ensino que busquem compreender efetivamente como os estudantes elaboram conceitos a partir das interações e da aprendizagem colaborativa.

- Para o trabalho com grupos orientados para a aprendizagem colaborativa é necessário se atentar para a quantidade de estudantes por grupo e da disposição desses em sala de aula, para que o professor consiga mediar o processo em todos os grupos e de forma dinâmica.

- Quando se utiliza em sala de aula a construção de modelos é importante que o professor apresente constantemente a pergunta: como esse modelo explica o fenômeno? Observamos, neste trabalho, que quando o estudante elaborava seu modelo individual ele pensava no fenômeno, mas ao partir para a representação coletiva eles se preocupavam mais com a comparação das representações individuais e não se atentavam a discutir qual desses modelos melhor explicava o fenômeno observado.

- Nessas atividades que visam a elaboração de modelo para explicar fenômenos, o professor pode estabelecer relações entre o papel dos modelos na construção do conhecimento.

- Promover interações entre os estudantes, na perspectiva colaborativa, pode demandar alguma experiência do professor e dos estudantes, o que pode nos indicar que esse processo deve ser iniciado pela resolução de problemas mais simples, e com a experiência adquirida, os problemas apresentados podem ser mais complexos.

- Quando se recorre à estratégia de elaboração de modelos, deve-se conhecer como os estudantes pensam e oferecer informações e questionamentos para que os estudantes possam ter argumentos e experiências para reformular seus modelos. É importante que, juntamente com a representação, o estudante verbalize, explique o porquê de sua construção, e, ao se apoiar em aprendizagem colaborativa, o professor deve orientar o processo da construção do modelo consensual, apresentando, por exemplo, questões que direcionem o processo interativo.

- As estratégias utilizadas na sequência didática elaborada neste trabalho auxiliam no desenvolvimento da capacidade de abstração dos estudantes, facilitando a aprendizagem dos conteúdos relacionados à estrutura atômica e aos íons.

- Criamos instrumentos que podem contribuir para a pesquisa no ensino de química, em relação ao se mapear os conhecimentos prévios dos estudantes e os conhecimentos por eles elaborados.

Como ainda há poucos trabalhos descritos na literatura sobre a aprendizagem

colaborativa, nossa pesquisa contribui para que se aprofundem as reflexões sobre o tema.

A respeito do trabalho em grupos orientados pela aprendizagem colaborativa, podemos concluir que essa oportuniza aos estudantes expressarem suas ideias, suas dúvidas e seus modelos mentais e, dessa forma, organizar seu pensamento. Esse é um passo importante para a elaboração do conhecimento.

Os próprios estudantes, no questionário metacognitivo, relatam que foi importante para eles a oportunidade de “ouvir diferentes pontos de vista” e que a cada colega acrescentava “algo diferente” às suas ideias. Além disso, relataram que foi interessante perceber que nem sempre eles estão “completamente errados”, mas que apresentam “compreensões diferentes” (dos colegas) e, para eles, o trabalho nos grupos colaborativos foi motivante.

A forma como o ensino se dá, na maioria das vezes, de maneira pouco dialógica e com pouca interação, limita as atividades em que os estudantes podem expressar o que pensam. Muito ainda precisa ser estudado a esse respeito, mas, a partir do desenvolvimento dessa pesquisa é possível concluir que os estudantes têm uma evolução conceitual e se desenvolvem em suas reflexões a medida que eles têm a oportunidade de ouvir e colaborar com as ideias dos colegas.

8. Referências bibliográficas

ADADAN, E. Using Multiple Representations to Promote Grade 11 Student's Scientific Understanding of the Particle Theory of Matter. **Research in Science Education**, v. 43, n. 3, 2013, p. 1079-1105.

AJELLO, A. M.; PONTECORVO, C.; MARCO, C. D. **Discutindo se Aprende: Interação Social, Conhecimento e Escola**. Porto Alegre: Artmed, 2005.

AYMERICH, M. I. Un nuevo enfoque de la enseñanza de la Química: contextualizar y modelizar. **The Journal of the Argentine Chemical Society**, v. 92, n.4/6, p. 115-136, 2004.

BARAB, S.A. et al. Virtual Solar System Project: Building Understanding Through Model Building. **Journal of Research in Science Teaching**, v.37, n. 7, 2000, p. 719-756.

BARDIN, L; RETO, L. A.; PINHEIRO, A. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2010.

BEM-ZVI R.; EYLON B. S.; SILBERSTEIN J. Students' visualization of chemical reactions. **Education in Chemistry**, v. 24, n. 4, 1987, p. 117-120.

BIANCHINI, J. A. Where knowledge construction, equity and context intersect: Student learning of science in small groups. **Journal of Research in Science Teaching**. v. 34, n. 10, 1997, p. 1039–1065.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora, 2006.

BORGES, A. T. Como evoluem os modelos mentais. **Rev. Ensaio**, Belo Horizonte, v. 01, n. 1, 1999, p.66-92.

BOSS, S. L. B. et al. Contribuições da História da Ciência para o Ensino do conceito de carga elétrica – os princípios de Du Fay para Eletricidade. In: **XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009**, Vitória, Espírito Santo. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org/eventos/xviii/>>. Acesso em 15 de dez. 2017.

BRITO, J. Q. Q.; SÁ, L. P. Estratégias promotoras da argumentação sobre questões sócio científicas com alunos do ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**. v. 9, n. 3, 2010, p. 505-529.

BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. **Química, a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CAAMAÑO, A.; MAESTRE, G. La construcción del concepto de ión, en la intersección entre el modelo atómico-molecular y el modelo de carga eléctrica. **Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales**, n. 42, 2004, p. 29-40.

CARMO, M. P. **Um estudo sobre a evolução conceitual dos estudantes na construção de modelos explicativos relativos a conceitos de solução e o processo de dissolução**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Ensino de Química). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARMO, M. P. **Desenvolvimento Conceitual de Estudantes Sobre a Estrutura da Matéria e sua Utilização na Explicação de Fenômenos: Um Estudo Longitudinal**. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências – Ensino de Química). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CARMONA, A. G. La estructura electrónica de los átomos en la escuela secundaria: un estudio de los niveles de comprensión. **Educacion Química**, v. 17, n. 4, 2006, p. 414-422.

COSTA, A. R.; OLIVEIRA, J. P.; ALVES, J. M. Analisando a construção de explicações individuais e coletivas em aulas sobre ligações iônicas, na 8ª série. **Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias**, v. 7, n. 1, 2008, p. 86-106.

DE BERG, K. C. The Development of the Theory of Electrolytic Dissociation. **Science & Education**, v. 12, 2003, p. 397–419.

DE LA FUENTE, A. M.; PERROTA, M. T.; DIMA, G.; GUTIÉRREZ, E. E.; CAPUANO, V. C.; FOLLARI, B. R. Estructura atómica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB). **Enseñanza de las Ciencias**. Vigo, v. 21, n. 1, jan. 2003, p. 123-134.

DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. **Science Education**, v. 84, 2000, p. 287-312.

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

FERREIRA, P. F. M. **Modelagem e suas contribuições para o ensino de Ciências: uma análise no estudo de equilíbrio químico**. Dissertação. Mestrado em Educação. Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

FITRIZA, Z; GAZALI, F. Diagnosing Students' conception on atomic structure using open ended questions. **Journal Of Physics: Conference Series**, v. 1013, p.1-8, maio 2018.

FRANÇA, A. C. G. **Formação do íon e estrutura atômica: análise das relações estabelecidas por alunos do ensino médio numa atividade de ensino de química**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Ensino de Química). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

FRANÇA, A. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. Estrutura atômica e formação dos íons: Uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. **Química Nova na Escola**, São Paulo: SBQ, v. 31, 2009, p. 275-282.

GARRIDO, S. P. Formação de professores: saberes da docência e identidade do professor. **Revista da Faculdade de Educação da USP**, v. 22, n. 2, 1996, p. 72-86.

GIBIN, G. B.; FERREIRA, L. H. A formação inicial em química baseada em conceitos representados por meio de modelos mentais. **Química Nova**, v. 33, n. 8, 2010, p. 1809-1814.

GILBERT J.K., BOULTER C.J., ELMER. R. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. In: Gilbert J.K., Boulter C.J. (eds). **Developing Models in Science Education**. Dordrecht: Springer, 2000, p. 3-18.

GODOY, A. S. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, 1995, p. 57-63.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. Effects of cooperative and individualistic learning experiences on interethnic interaction. **Journal of Educational Psychology**, v. 73, n. 3, p. 444-449, 1981.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T.; HOLUBEC, E. J.; ROY, P. **Circles of learning: Cooperation in the classroom**. Alexandria: Association for Supervision and Curriculum Development, 1984.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R.; JOHNSON-HOLUBEC, E. **Cooperation in the Classroom**, 8. ed. Edina: Interaction Book Company, 2008.

JOHNSON-LAIRD, P. N. **Mental Models: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness**. Massachusetts: Harvard University Press, Cambridge, 1983.

JOHNSTONE, A. H. Chemical education research in Glasgow in perspective. **Chemical Education Research and Practice**, v. 7, n. 2, 2006, p. 49-63.

JUSTI, Rosária. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 24, n. 2, 2006, p. 173-184.

LEACH, J.; SCOTT, P. Designing and evaluating science teaching sequences: and approach drawing upon the concept of learning demand perspective on learning. **Studies in Science Education**, v. 38, n. 1, 2002, p. 115-142.

LEITÃO, Selma. Argumentação e desenvolvimento do pensamento reflexivo. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, 2007, p. 454-462.

LUMPE, A. T. Peer Interaction in Science Concept Development and Problem Solving. **School Science and Mathematics**. v. 95, n. 6, 1995, p. 302-309.

MÄKI, U. **Models: philosophical aspects. Models**, In: Metaphors, Narrati_e, and Rhetoric: Philosophical Aspects. International Encyclopedia of the Social &

Behavioral Sciences, p. 9931-9937, 2001.

MELO, M. R.; NETO, E.G.L. Dificuldades de ensino e aprendizagem dos modelos atômicos em Química. **Química Nova na Escola**, v. 35, n. 2, 2013, p.112-122.

MENDONÇA, P. C. C. **‘Ligando’ as ideias dos alunos à ciência escolar: análise do ensino de ligação iônica por modelagem**. Dissertação (Mestrado em Educação). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008.

MENDONÇA, P. C. C. **Influência de atividades de modelagem na qualidade dos argumentos de estudantes de química no ensino médio**. Tese (Doutorado em Educação). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2011.

MORRISON, M.; MORGAN, M. S. Models as mediating instruments. In: MORGAN, M. S.; MORRISON, M. (eds.). **Models as mediators**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 10-37, 1999.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F.; MIRANDA, L. C. Transformações concepções de estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**, n. 2, 1995, p. 23-26.

MORTIMER, E. F.; MOL, G.; DUARTE, L. P. Regra do octeto e teoria da ligação química no Ensino Médio: dogma ou ciência? **Química Nova**, v. 17, n. 2, 1994.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, 2002, p. 283-306.

NYACHWAYA, J. M.; MOHAMED, A. R.; ROEHRIG, G. H.; WOODS, N. B.; KERN, A. L.; SCNHEIDER, J. L. The development of an open-ended drawing tool: an alternative diagnostic tool for assessing students' understanding of the particulate nature of matter. **Chem. Educ. Res. Pract.** v. 12, 2011, p. 121-132

OKI, M. C. M. A eletricidade e a Química. **Química Nova na Escola**, n.12, 2000, p. 34 37.

PANE, M. C. **Substância e mistura de substância: Estudo da Evolução Conceitual dos alunos**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Ensino de Química). Programa Interunidades em Ensino de Ciências, Instituto de Química, Instituto de Física, Instituto de Biociências, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

PETIT, A. Associating Physics and Chemistry to Dissociate Molecules: The History of the Clausius-Williamson Hypothesis. **Historical Studies in the Natural Sciences**, v. 46, n. 3, 2016, p. 360–391.

PEREIRA, L. L. S. A aprendizagem colaborativa no ensino de Química: em foco o conceito de poder calorífico. **Ciências e Ideias**, v. 9, n. 2, 2018, p. 126-141.

PICCOLINO, M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. **Brain Research Bulletin**, v. 46, n. 5, 1998, p. 381-407.

POZO, J. I. La adquisición del conocimiento científico como un proceso de cambio representacional. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 3, 2002, p. 245-270.

RICHMOND, G.; STRILEY, J. A closer look at conflicting expectations embedded in group work: Case studies of Benjamin and Charmane. Artigo apresentado na **National Association for Research in Science Teaching**, San Francisco, 1995.

SÁ, L. P.; QUEIROZ, D. L. Promovendo a argumentação no ensino superior de química. **Química Nova**, v. 30, n. 8, 2007, p. 2035-2062.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. Construindo argumentação na sala de aula: a presença do ciclo argumentativo, os indicadores de alfabetização científica e o padrão de Toulmin. **Ciência e Educação**, v. 17, n. 1, 2011, p. 97-114.

SILVA, S. M.; EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. Concepções alternativas de calouros de química para o fenômeno de dissolução. In: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química e X Encontro de Educação Química da Bahia. **Anais do XVI ENEQ**. Salvador, Bahia: Divisão de Ensino da SBQ, 2012.

SILVA, V. A.; SOARES, M. H. F. B. A Aprendizagem Colaborativa: Desenvolvimento de Conceitos Químicos em Nível Médio **Atas do VIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Ciências**, UNICAMP, Campinas, 2011, p. 1-12.

SILVA, C.; PIMENTEL, A. C. A. S. Benjamin Franklin e a História da Eletricidade em livros didáticos. In: X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, 2006, Londrina. **Atas do X EPEF**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2006.

SOUZA, F. L. Interações verbais e cognitivas em aulas de Química contextualizadas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 3, 2013, p. 95-119.

SPRINGER, L.; STANNE, M. E.; DONOVAN, S. **Effects of cooperative learning on academic achievement among undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology: a meta-analysis**. Madison: University of Wisconsin-Madison and National Center for Improving Science Education, The National Institute for Science Education, 1997.

TAN, K. C. D.; TABER, K. S. Ionization Energy: Implications of Preservice Teachers' conceptions. **Journal Chemistry Education**, v. 86, n. 5, 2009, p. 623-629.

TARDIF, M. **Saberes docentes e formação profissional**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

TEIXEIRA, E. S. et al. A construção de uma argumentação sobre a síntese newtoniana a partir de atividades em grupo. **Investigação em Ensino de Ciências**,

v. 1, n. 15, 2010, p. 61-95.

TEODORO, D. L. **Aprendizagem em grupos cooperativos e colaborativos: investigação no Ensino Superior de Química**. Tese. (Doutorado). Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2016.

TOLENTINO, M.; ROCHA-FILHO, R. C. O bicentenário da invenção da pilha elétrica. **Química Nova na escola**, n. 11, 2000, p. 35-39.

TOWNS, M. H, K. et al. Interinstitutional peer review on the Internet. **Journal of College Science Teaching**. v. 30, n. 4, 2000, p. 256-260.

WARFA, A. R. M. **Student Conceptions of Ionic Compounds in Solution and the Influences of Sociochemical Norms on Individual Learning**. 2013. 242 f. Tese (Doutorado) - Curso de Philosophy, University Of Minnesota, Minnesota, 2013.

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE

	SÓLIDO		LÍQUIDO		PROCESSO DE DISSOLUÇÃO		SOLUÇÃO	
	Número de pares iônicos	Organização dos pares iônicos	Organização dos íons	Disposição dos íons ou pares iônicos	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água	Organização dos íons ou pares iônicos	Interação entre íons e moléculas de água
A1	2	Separados	Íons	Organizados	Íons	Entre os íons	Íons	Unindo os íons
A5	4	Retículo cristalino	Pares iônicos	Aleatórios	Pares iônicos	Entre os pares iônicos	Pares iônicos	Unindo os pares iônicos
A8	2	Separados	Íons	Organizados	Íons	Entre os íons	Íons	Unindo os íons
A16	4	Retículo cristalino	Pares iônicos	Aleatórios	Íons	Entre os íons	Íons	Unindo os íons
G1	4	Retículo cristalino	Pares iônicos	Aleatórios	Retículo cristalino e pares iônicos	Entre os pares iônicos	Pares iônicos	Água entre os pares iônicos
A3	6	Retículo cristalino	Íons	Organizados	Pares iônicos	Ao redor do par iônico	Íon	Ao redor de cada íon
A7	4	Retículo cristalino	Íons	Organizados	Pares iônicos	Ao redor do par iônico	Íon	Ao redor de cada íon
A10	5	Agrupados	Íons	Aleatórios	Íons	Entre os íons	Íon	Ao redor de cada íon
A12	2	Separados	Íons	Organizados	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íon	Entre íons

G2	6	Retículo cristalino	Íons	Organizados	Íons	Entre os íons	Íon	Ao redor de cada íon
A4	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
A9	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
A11	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
A15	1	-	Íons	-	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Ao redor de cada íon
G3	3	Retículo cristalino	Íons	Aleatórios	Par iônico	Ao redor do par iônico	Íons	Entre os íons
A2	3	Separados	Íons	Aleatórios	Par iônico	Separado	Íons	Entre os íons
A6	2	Separados	Íons	Aleatórios	Íons	Ao redor do íon	Íons	Entre os íons
A13	2	Separados	Íons	Aleatórios	Íons	Ao redor do íon	Íons	Entre os íons
A14	3	Retículo cristalino	Íons	Aleatórios	Íons	Ao redor do íon	Íons	Entre os íons
G4	2	Retículo cristalino	Íons	Aleatórios	Pares iônicos	Entre os íons no par iônico	Íons	Entre os íons

Fonte: da autora.

ANEXOS

ANEXO 1. Plano de aula

PÚBLICO ALVO: Estudantes do 1º ano do Ensino Médio

CONTEÚDO: Natureza elétrica da matéria e formação de íons

TEMA: Condutibilidade elétrica de substâncias

Introdução

Nesta sequência didática será abordado o conceito de íons, bem como estes são formados. Para isto, como tema norteador trataremos da condutibilidade elétrica de diferentes substâncias.

A seguir, a definição do conceito de íons apresentada Brown, Lemay e Bursten (2005) no livro “Química a Ciência Central”:

*O núcleo de um átomo não se torna carregado por processos químicos ordinários, mas os átomos podem facilmente ganhar ou perder elétrons. Se elétrons são removidos ou adicionados a um átomo neutro, uma partícula carregada chamada **íon** é formada. Um íon com uma carga positiva é chamado de **cátion**; um íon carregado negativamente é chamado de **ânion**. (p. 46).*

Figura 1 – Momentos da sequência didática.

FONTE: da autora.

Recursos didáticos: lousa, giz, projetor, modelo do átomo de Bohr, cartões para representações; kit experimental de condutibilidade elétrica.

Objetivos

Ao final desta aula espera-se que o estudante seja capaz de:

Objetivo Geral: compreender o que são íons e como estes são formados, bem como a existência destes para explicar a condutibilidade elétrica de alguns materiais.

Objetivos Específicos:

- Compreender a natureza descontínua da matéria;
- Compreender o modelo atômico de Bohr;
- Compreender o conceito de íons e como eles são formados;
- Relacionar as propriedades macroscópicas das substâncias às ligações químicas entre seus átomos, moléculas ou íons;
- Relacionar a presença de íons em materiais com a condutibilidade elétrica;
- Compreender as condições necessárias para que haja condução de eletricidade em soluções aquosas e sólidos fundidos;
- Compreender por que alguns sólidos não conduzem corrente elétrica, enquanto em solução há condução;
- Interpretar em nível submicroscópico a dissolução de sais em água;
- Reconhecer os estados sólido, líquido e gasoso em função das interações eletrostáticas entre átomos, íons e moléculas;
- Representar sólidos iônicos por meio de arranjos tridimensionais dos íons constituintes;
- Estabelecer diferenciações entre as substâncias a partir de suas propriedades.

Procedimentos metodológicos

1º momento – Situação problema

Inicialmente os estudantes recebem um questionário (ANEXO 1) para levantar quais são as concepções prévias que eles apresentam a respeito do conceito de íons e seus conhecimentos da estrutura da matéria.

A seguir, o (a) professor (a) faz alguns questionamentos aos estudantes: Vocês sabem dar exemplos de situações em que há condução de corrente elétrica? Pode ser que os estudantes respondam que ao ligar uma lâmpada ou equipamentos elétricos, o relâmpago, o choque elétrico ao encostar em algum fio desencapado ou mudar a temperatura do chuveiro com este em funcionamento. Perguntar-se-á então aos estudantes o que é corrente elétrica? Espera-se que os estudantes respondam que corrente elétrica é um fluxo contínuo ordenado de partículas eletricamente carregadas.

Questiona-se, então, o que é condutibilidade elétrica e como explicamos que existem materiais que conduzem e outros que não conduzem corrente elétrica. Neste momento, espera-se que os estudantes digam que condutibilidade elétrica é a capacidade que alguns materiais têm de conduzir corrente elétrica e, desta forma, inicia-se uma discussão sobre os materiais que conduzem e os que não conduzem corrente elétrica, utilizando os exemplos que os estudantes trarão do seu cotidiano.

Desta forma, começaremos a discutir as hipóteses dos estudantes sobre este fenômeno. Este momento de discussão será realizado em conjunto, havendo, portanto, interação professora-estudantes e estudante-estudante.

2º momento - Experimentação

Posteriormente, o (a) professor (a) explicará que existe uma forma de sabermos se um material conduz ou não corrente elétrica, para isto é utilizado um dispositivo de teste, formado por um circuito aberto e duas lâmpadas de diferentes

wattagens.

Este equipamento de teste utilizado tem dois fios de cobre, um metal condutor de energia elétrica, no entanto para que as lâmpadas do equipamento se acendam é necessário que algo feche o circuito, fazendo com que passe corrente elétrica entre os fios. O (a) professor (a) liga então o equipamento na tomada e pergunta aos estudantes se, ao ligar o interruptor, as lâmpadas do equipamento se acenderão. Provavelmente os estudantes responderão que sim, no então ao ligar o interruptor a lâmpada não acenderá, o (a) professor (a) explicará então que a lâmpada não acende, pois, o circuito elétrico do equipamento é um circuito aberto e que, ao encostar um fio no outro o circuito ficaria fechado fazendo com que as lâmpadas acendessem.

Assim, é possível, ao colocar os fios do equipamento em contato com um determinado material, saber se ele fecha o circuito elétrico, conduzindo corrente elétrica. Será explicado, também, ao estudante que para acender a lâmpada de neon é preciso que seja conduzida uma quantidade de energia bem menor do que para acender a lâmpada incandescente.

Os estudantes serão então divididos em grupos de no máximo 4 e realizarão um experimento de condutibilidade elétrica, testando diferentes materiais. A discussão feita em cada grupo será gravada e os estudantes também deverão, individualmente, elaborar uma conclusão sobre o experimento.

Para conduzir os estudantes a refletirem sobre o experimento realizado e suas observações serão feitos alguns questionamentos, como:

- Porque alguns materiais fizeram com que as lâmpadas, ou ao menos uma delas, acendessem e outros não?
- Quais são os materiais que fizeram com que a lâmpada acendesse? Quais não fizeram?
- Como as diferenças de intensidade de brilho da lâmpada podem ser explicadas?
- Observando a intensidade de luz na lâmpada acesa ao se testar condutibilidade elétrica da água do mar e a água da torneira, pode-se observar que a intensidade da corrente elétrica da primeira é maior que da segunda, como se pode explicar este fenômeno?

- O que significa quando ao colocar os fios do equipamento de teste com o material a lâmpada se acende?
- O que é preciso para que haja condução de corrente elétrica?

3º momento –Elaboração de hipóteses

Neste momento, os estudantes vão socializar para seu grupo os seus modelos explicativos para o fenômeno que foram elaborados individualmente. Após discussão formularão, em grupo, uma explicação para a ocorrência do fenômeno da condutibilidade elétrica.

Cada um dos grupos deve apresentar para o restante da turma suas explicações e, neste momento, a professora anotará no quadro as ideias principais dessas explicações dos estudantes e assim fará a mediação das discussões dos estudantes, comparando as hipóteses elaboradas e levantando questões para que os estudantes reflitam sobre essas hipóteses. A todo momento serão lembradas as observações experimentais para realizar esta discussão a fim de chegar a uma hipótese geral, elaborada a partir das ideias de todos os grupos e pensada em conjunto.

4º momento – Modelo de Bohr e formação de íons

O quarto momento da sequência tratará da formação dos íons. Para isso perguntaremos aos estudantes quais são os modelos atômicos que eles conhecem. A partir disso discutiremos se os outros modelos atômicos, como o de Dalton ou Thompson explicariam a condução da corrente elétrica que ocorreu na experimentação. Desta forma, chega-se ao modelo atômico de Bohr e, neste momento serão lembrados os postulados de Bohr e como é o modelo da estrutura do átomo elaborado por este cientista, baseado em seus estudos.

Fornecendo aos estudantes, como subsídio, a quantidade de prótons, elétrons e nêutrons que o átomo de sódio e cloro possuem é solicitado que eles representem em uma cartolina como estas partículas estariam distribuídas na representação do

modelo. Utilizando o modelo (baseado no modelo atômico de Bohr) construído pela pesquisadora, os estudantes serão instruídos a fazer, em grupos, as representações do átomo de Na e Cl, bem como dos seus respectivos íons.

Em grupo, utilize as representações dos íons de cloro e de sódio, bem como as moléculas de água para fazer representações nos cartões pretos.

Primeiramente, no cartão SÓLIDO/LÍQUIDO:

3. Represente, no retângulo que indica SÓLIDO, os íons de sódio e cloro no cloreto de sódio sólido, representando os íons nos cristais do sal de cozinha.

4. Represente, no retângulo que indica LÍQUIDO, os íons de sódio e cloro no cloreto de sódio líquido. O NaCl líquido é obtido quando os cristais de NaCl são aquecidos até a temperatura de fusão deste sal (801°C).

No cartão DISSOLUÇÃO/SOLUÇÃO:

3. Represente, no retângulo que indica SOLUÇÃO, os íons de sódio e cloro uma solução aquosa de cloreto de sódio.

4. Represente, no retângulo que indica DISSOLUÇÃO, o processo de dissolução do cloreto de sódio sólido em água.

5º momento – Representações

Este momento abordará as representações que serão elaboradas pelos estudantes para representar o fenômeno da condutibilidade elétrica por eles observado na atividade experimental.

Para isto, cada um dos estudantes, recebendo instruções por escrito, fará uma representação de como ele acredita que deveria ser o estado sólido do NaCl.

Apesar de os estudantes já saberem os estados físicos da matéria e as transformações de estado eles não conhecem o retículo cristalino de um sal como o cloreto de sódio, portanto, para que o estudante consiga pensar na estrutura do sal sólido levaremos um cristal grande de NaCl e refletiremos sobre a estrutura do sal. Esta representação será socializada dentro do seu grupo e recriada conjuntamente.

Assim, depois que cada grupo tiver elaborado uma representação, a pesquisadora mediará uma socialização e fará questionamentos para que os estudantes discutam e repensem seus modelos.

O mesmo será feito para a representação do estado líquido e posteriormente para o processo de dissolução e a representação da solução aquosa de NaCl. Para cada uma destas etapas, a turma deverá chegar em um consenso sobre o modelo, que será discutido.

6º momento - Síntese

Ao final destas atividades, cada grupo de estudantes será instruído a elaborar uma síntese, essa etapa será mediada pelo (a) professor (a), que passará nos grupos ouvindo a ideia dos estudantes e fazendo questões quando pertinente. Ao final, cada grupo preparará uma apresentação de seus modelos explicativos do fenômeno da condutibilidade elétrica para a turma. Discutiremos então, conjuntamente, os modelos falando sobre a atração entre as cargas opostas e entre as moléculas de água e os íons. Apresentar-se-á então os modelos cientificamente aceitos elaborados pela pesquisadora e questionaremos aos estudantes o que eles acham das representações, de que forma as representações deles se assemelham ou se diferenciam destas.

7º momento – Contexto histórico

No quarto momento o(a) professor(a) fará uma aula dialogada, utilizando slides, tratando do contexto histórico da construção do conceito de íons, desde a descoberta da condutibilidade elétrica.

8º momento – Potencial de ionização (transposição)

No oitavo momento da aula trataremos da formação de outros íons, não somente do Na^+ e Cl^- que foram representados, mas também de explicar a formação de íons bivalentes e trivalentes, por exemplo. Para isto, é necessário buscar uma explicação para a carga do íon, baseada no potencial de ionização, desta forma, torna-se possível fazer uma generalização do conceito de íons

Inicialmente o (a) professor (a) começa questionando aos estudantes o que é necessário que aconteça para que se forme um íon? Espera-se que os estudantes digam que deve haver interação entre os átomos, assim será explicado que além da interação é necessário que haja fornecimento de energia para retirar um elétron de um átomo.

Assim, começa-se a discutir a energia de ionização a partir do sódio. Os dados do 1º potencial de ionização do Na serão mostrados aos estudantes, e depois do segundo, chamando a atenção para a grande diferença de energia. A partir destes valores discute-se porque há essa grande diferença de energia da 1ª energia de ionização para a 2ª e assim por diante. Para explicar é necessário falar da força de atração do núcleo positivamente carregado e dos elétrons, bem como da distância entre o núcleo e as camadas e, também, da blindagem efetiva do núcleo.

Definiremos então a energia de ionização como a energia mínima necessária que deve ser fornecida para que um átomo (ou íon) isolado em fase gasosa perca um elétron.

No entanto, o (a) professor (a) explica que íons como o íon de sódio já estão presentes na natureza nesta forma.

Posteriormente o (a) professor (a) abordará outros átomos, pedindo para os estudantes preverem, com base nas energias de ionização, quantos elétrons poderiam ser removidos, mais facilmente, destes átomos, isto é, qual seria a carga do íon formado. Para isto utilizaremos a tabela abaixo:

Valores da Energia de Ionização (EI) em $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ para o segundo período da Tabela Periódica			
Elemento	EI ₁	EI ₂	EI ₃
Na	496	4560	-
Mg	738	1450	7730
Al	577	1820	2750
Si	786	1580	3230
P	1012	1900	2910
S	999	2250	3360
Cl	1256	2300	3820

Quanto aos ânions, será explicado que há energia liberada quando um átomo recebe elétrons, chamada de afinidade eletrônica, mas esta é mais difícil de medir experimentalmente, de maneira que não temos dados com valores (como temos para o potencial de ionização). A afinidade eletrônica é então definida como a energia liberada quando um átomo (isolado e no estado gasoso) recebe um elétron.

9º momento: Atividade para avaliação

Neste momento final, será fornecido aos estudantes um questionário final possuindo 4 questões, este instrumento servirá para avaliar o conhecimento químico elaborado pelo estudante durante a sequência didática proposta. Um instrumento de metacognição também será aplicado para avaliar a participação social e cognitiva dos grupos.

Referências bibliográficas

ATKINS, P. W.; JONES, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 965 p.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química geral e reações químicas**. 6 ed, v. 1. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 611p.

Atividade experimental

Materiais necessários para aparelhagem experimental:

- Dispositivo de teste com duas lâmpadas, uma de neon e outra de 10 W;
- Esponja de aço;
- Bastão de vidro para agitar as soluções;
- De 5 béqueres de 100 mL;
- 5 vidros de relógio;
- Cápsula de porcelana;
- Lamparina;
- 1 colher de chá para medida;
- Papel higiênico para fazer possíveis limpezas de eletrodos.

Materiais a serem testados:

MATERIAIS SÓLIDOS:

1. Cloreto de sódio;
2. Sacarose;
3. Sulfato de alumínio e potássio.

MATERIAIS LÍQUIDOS:

1. Água de torneira;
2. Água do mar;
3. Solução de cloreto de sódio;
4. Solução de sacarose;
5. Solução de sulfato de alumínio e potássio;
6. Sulfato de alumínio e potássio fundido;

Procedimento experimental:

Antes de iniciar a parte experimental é importante seguir algumas recomendações:

- Não tocar nos eletrodos (fios desencapados), simultaneamente quando o

dispositivo estiver ligado à tomada.

- Sempre que for limpar os eletrodos, deve-se desligar o dispositivo.
- Ao testar os materiais líquidos, mantenha os eletrodos sempre paralelos e imersos até a mesma altura (controle de variáveis).

Procedimentos:

1. Com o dispositivo de teste desligado, limpar os eletrodos com a esponja de aço.
2. Testar a condutividade das amostras sólidas. Colocar em cada vidro de relógio uma quantidade de sólido equivalente a uma colher de chá. Coloque os dois eletrodos em contato com as amostras, mantendo uma distância entre as pontas dos eletrodos. **Anote suas observações para cada um dos materiais.** (À medida que se testa a condutividade de materiais diferentes é conveniente que seja feita a limpeza dos eletrodos.)
3. Na tabela abaixo, anote suas observações e utilize a seguinte representação para indicar a condutibilidade elétrica de cada material: (-) não acende; (+) acende.

Material	Observações das lâmpadas		Outras observações
	Neon	10 W	
Cloreto de sódio (sólido)			
Solução de cloreto de sódio			
Água do mar			
Água de torneira			

Sulfato de alumínio e potássio (sólido)			
Sulfato de alumínio e potássio fundido (líquido)			
Solução de sulfato de alumínio e potássio			
Sacarose (sólido)			
Solução de sacarose			

ANEXO 2. Questionário prévio

1. A estrutura do átomo foi e ainda é estudada por diversos cientistas. Embora não possamos vê-lo, há diversas evidências de como é a estrutura do átomo e, desta forma, os cientistas criaram modelos, que são representações mentais de como seria um átomo. Desenhe, como você imagina que seja, um átomo de sódio.
2. Os átomos são formados de diferentes partículas, uma delas, os elétrons. Você acha que é possível retirar elétrons de um átomo? Explique.
3. O que você entende por íons? Como você imagina que os íons são formados?
4. Como você explicaria o fato de que alguns materiais conduzem corrente elétrica, como por exemplo o fio de cobre presente na fiação elétrica da nossa casa, e outros não, como por exemplo um calçado de borracha?

ANEXO 3. Questionário final

1. O que você entende por íons?
2. Desenhe como você imagina que seja um íon Ca^{+2} .
3. O que é, para você, corrente elétrica?
4. Como você explicaria o fato de que alguns materiais conduzem corrente elétrica e outros não? Explique o fenômeno da condutibilidade elétrica, dando exemplos se possível.

ANEXO 4. Questionário de metacognição

1. Você aprendeu alguma coisa nova nesta oficina?
2. O experimento do teste de condutibilidade elétrica ajudou você a compreender melhor os íons?
3. O trabalho com as representações ajudou você a pensar sobre uma explicação plausível para o fenômeno de condutibilidade elétrica?
4. Você acha que o trabalho no seu grupo colaborativo ajudou a elaborar as ideias a respeito do tema estudado? Explique.