CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

EPISTEMOLOGIAS NA PRÁTICA: CONSIDERAÇÕES EPISTÊMICAS DE ESTUDANTES EM ATIVIDADES DE ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS

Ketlien de Oliveira Mendes

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação.

Orientadora: Juliana Machado

Rio de Janeiro
Maio de 2025

EPISTEMOLOGIAS NA PRÁTICA: CONSIDERAÇÕES EPISTÊMICAS DE ESTUDANTES EM ATIVIDADES DE ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Tecnologia e Educação, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do mestrado em Ciência Tecnologia e Educação.

.

.

Ketlien de Oliveira Mendes

Banca Examinadora:

_____

Presidente, Professora Dra. Juliana Machado (CEFET/RJ) (orientador)

_____

Professor Dr. Daniel Sasaki (CEFET/RJ)

_____

Professora Dra. Poliana Flávia Maia (UFV)

_____

Professor Dr. Mikael Frank Rezende Junior (UNIFEI)

SUPLENTE

_____

Professora Dra. Taís Conceição dos Santos (CEFET/RJ)

Rio de Janeiro
Maio de 2025

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

M538 Mendes, Ketlien de Oliveira
Epistemologias na prática: considerações epistêmicas de estudantes em atividades de ensino fundamentado em modelagem sobre ligações químicas / Ketlien de Oliveira Mendes. — 2025.
109f. + apêndice : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2025.
Bibliografia : f. 103-109
Orientadora: Juliana Machado

1. Estudantes do ensino fundamental. 2. Ensino fundamental. 3. Educação - Estudo e ensino. 4. Química (Ensino médio) – Estudo e ensino. 5. Aprendizagem. I. Machado, Juliana. (Orient.). II. Título.

CDD 372.9

Elaborada pela bibliotecária Tania Mello – CRB/7 nº 5507/04

DEDICATÓRIA

“Ao meu esposo, Matheus Liduino Moreira, pela presença constante, pelo amor paciente nos dias mais difíceis e por acreditar em mim. Sua força, seu apoio e sua generosidade foram essenciais para que eu não desistisse desta trajetória. À minha família, por ser o alicerce que me sustenta: agradeço por cada palavra de incentivo, pelos exemplos de resiliência e, sobretudo, pelo amor que me acompanhou em cada etapa desta jornada”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio, paciência e incentivo ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Reconheço que boa parte das conquistas que hoje celebro são fruto do cuidado, da escuta e da presença constante com que sempre me acolheram.

Estendo esse agradecimento à minha irmã, que, além de ser minha maior incentivadora, é também minha melhor amiga e porto seguro. Sua confiança em mim, principalmente nos momentos difíceis desse último ano, foi essencial para que eu me mantivesse firme nesta caminhada.

Sou profundamente grata ao meu esposo, Matheus Liduino, pela paciência nos momentos mais desafiadores, pelo apoio incondicional e por compartilhar comigo o compromisso de seguir adiante, mesmo diante das dificuldades de cursar um programa de pós-graduação a mais de 100 km da nossa residência. A convivência com múltiplas jornadas de trabalho e os obstáculos enfrentados exigiram esforço e resiliência, e é com imensa gratidão que compartilho contigo cada lembrança, cada superação e cada conquista desta etapa.

Um agradecimento especialíssimo à minha madrinha, pelo apoio generoso e pelo acolhimento durante os anos em que esta jornada se desenrolou. Sua presença e incentivo foram fundamentais para que tudo isso fosse possível.

Aos meus amigos da vida, que me acompanharam ao longo desse processo, meu sincero agradecimento. Foram muitos — cada um em seu tempo e em sua forma —, aqui representados por Amanda, Rayane, Talita e Tamily. Agradeço por me enxergarem com generosidade, por torcerem por mim com tanta intensidade e por me ajudarem a manter a leveza e a alegria.

Agradeço também aos amigos do programa — especialmente Maria, Guilherme e, em particular, ao Frederico — pelas leituras cuidadosas, pelas discussões enriquecedoras, pelos conselhos generosos e pelo constante apoio ao longo do percurso.

Agradeço, com carinho e respeito, à Escola Municipal Alice Canellas da Silveira, por ter acolhido esta pesquisa com abertura e disponibilidade. Estendo minha gratidão, de modo especial, à turma com a qual o trabalho foi desenvolvido: foram suas vozes, olhares e aprendizados que deram vida a esta investigação. A cada estudante, meu sincero reconhecimento pela escuta, pelo envolvimento e pela confiança durante o processo. Esta

pesquisa só foi possível porque vocês estiveram presentes, participando ativamente e contribuindo com suas experiências e perspectivas. Obrigada por fazerem parte dessa construção.

Por fim, agradeço ao CEFET-RJ e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação (PPCTE) pela acolhida e pelo espaço de formação. Agradeço à banca pelas contribuições valiosas e, de modo especial, à minha orientadora, Juliana, por sua generosidade, paciência e disponibilidade. Obrigada por compartilhar seu tempo, seu conhecimento e seu compromisso com a educação e com a pesquisa. Sua orientação foi decisiva para que essa trajetória se concretizasse de maneira tão significativa.

RESUMO

Epistemologias na Prática: considerações epistêmicas de estudantes em atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas

Este trabalho tem como objetivo identificar as possíveis considerações epistêmicas na prática demonstradas por estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro, durante a realização de atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas. A pesquisa buscou compreender como os alunos articulam seus conhecimentos e percepções sobre fenômenos químicos durante atividades de modelagem, promovendo uma aprendizagem significativa e crítica. Por meio de uma abordagem metodológica qualitativa, os dados foram coletados por meio de observações e da análise do material produzido pelos alunos, além de trechos selecionados de registros orais. A análise foi fundamentada no referencial das Epistemologias na Prática (EIP), Berland *et al*. (2016). Os resultados indicam que os estudantes mobilizaram predominantemente as categorias explicação e descrição do fenômeno, vinculada a dimensão Natureza, e interpretação do grupo, referente a consideração da Justificação ao longo das atividades. Esses dados revelam esforços dos estudantes em explicar fenômenos com base em conceitos científicos. Apesar de algumas limitações, como a concentração em um único sistema e o tempo limitado para o desenvolvimento das atividades, os dados revelam indícios de engajamento epistêmico por parte dos alunos, sugerindo que a modelagem pode favorecer práticas científicas mais significativas no Ensino de Ciências.

Palavras-chave: Ensino fundamentado em modelagem; Epistemologia na prática; Ligações químicas

ABSTRACT

Epistemologies in Practice: students' epistemic considerations in Modeling-Based Teaching activities on chemical bonding

This study aims to identify the possible epistemic considerations in practice demonstrated by ninth-grade students from a public school in the state of Rio de Janeiro during activities based on Modeling-Based Teaching (MBT) about chemical bonding. The research sought to understand how students articulate their knowledge and perceptions about chemical phenomena during modeling activities, promoting meaningful and critical learning. Through a qualitative methodological approach, data were collected through observations, analysis of student-produced materials, and selected excerpts from oral records. The analysis was grounded in the *Epistemologies in Practice* (EIP) framework proposed by Berland et al. (2016). The results indicate that students predominantly mobilized the categories *explanation* and *description of the phenomenon*, linked to the *Nature* dimension, and *group interpretation*, related to the *Justification* consideration throughout the activities. These data reveal students' efforts to explain phenomena based on scientific concepts. Despite some limitations, such as the focus on a single system and the limited time available for the development of the activities, the data reveal evidence of students' epistemic engagement, suggesting that modeling can foster more meaningful scientific practices in science education.

Keywords: Modeling-based teaching; Epistemologies in practice; Chemical bonding

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Diagrama Modelo de Modelagem 26
Quadro 1. Considerações epistêmicas nas epistemologias dos estudantes na prática 34
Quadro 2. Organização dos grupos e estudantes 41
Quadro 3. Relação das atividades com o diagrama de modelagem 46
Figura 2. Esquema que demonstra a unitarização dos dados. 52
Quadro 4. – Exemplificação da unitarização dos dados textuais 52
Quadro 5. Exemplificação da unitarização das falas do grupo 55
Quadro 6. Exemplos do processo de codificação 57
Quadro 7. Categorias para análise 58
Figura *3*. Exemplo de categorização da unidade de análise. 61
Quadro 8. Dados obtidos na atividade 1 64
Figura 4. A2Q1G2M 67
Quadro 9. Categorias identificadas na atividade 3 75
Figura 5. A3Q7M 71
Figura 6. A4Q1G2M 77
Figura 7. A4Q2G2M 80
Quadro 10. Categorias identificadas na atividade 4. 82
Quadro 11. Categorias identificadas na atividade 5 88
Quadro 12 Categorias identificadas na atividade 6. 92
Figura 8. Distribuição das categorias por atividade. 93
Figura 9. Distribuição das Dimensões Epistêmicas ao longo da sequência. 94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
EFM	Ensino Fundamentado em Modelagem
EIP	Epistemologias na Prática
HCl	Ácido Clorídrico
NaCl	Cloreto de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
PPCTE	Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Educação
RJ	Rio de Janeiro
TAI	Termo de Autorização Institucional
TALE	Termo de Assentimento Livre e Esclarecido
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TE	Temperatura de Ebulição
TF	Temperatura de Fusão

SUMÁRIO

Introdução **12**

1 - Fundamentação Teórica e Revisão de Literatura **19**

1.2 O Ensino Fundamentado em Modelagem 25

1.3 As Epistemologias na Prática 32

1.4 Articulando Ensino Fundamentado em Modelagem e Epistemologias na Prática: fundamentos da pesquisa 36

2- Desenho Metodológico da Pesquisa **37**

2.1 Questão de Pesquisa 38

2.2 Abordagem Metodológica 39

2.3 Contexto da pesquisa e seus participantes 40

2.4 Aspectos éticos da pesquisa 41

2.5 Procedimentos de Coleta de Dados 42

2.6 - Descrição das Atividades 45

2.7 Procedimentos e análise de dados 49

3 - Resultados e Discussões **63**

3. 1 Atividade 1 63

3.2 Atividade 2 66

3.3 Atividade 3 68

3.4 Atividade 4 75

3. 5 Atividade 5 83

3.6 Atividade 6 89

3.7 Aspectos Relevantes e Desafios da Implementação da Modelagem 92

4 - Desdobramentos da Pesquisa **98**

4.1 Ausência da Consideração de Generalidade 98

4.2 Contribuições à Formação Docente 99

4.3 Implicações para a Área de Ensino de Ciências 100

Considerações Finais **101**

Referências **104**

Introdução

O campo de estudo voltado para pesquisas sobre o Ensino de Ciências vem se preocupando em como os alunos enxergam a Ciência que lhes é ensinada. Nesse sentido, o Ensino de Ciências deve se preocupar em proporcionar aos alunos uma compreensão que para entender a Ciência, é necessário compreender também o processo pelo qual esse conhecimento é construído.

Dentre as ferramentas mais utilizadas e desenvolvidas pelos cientistas destacam-se os modelos. Esses são empregados para descrever, formular questões, interpretar e explicar fenômenos, assim como elaborar e testar hipóteses, podendo ser compreendidos como representações de objetos, processos, eventos, sistemas ou ideias que têm origem em atividades mentais (MONTEIRO; JUSTI, 2016).

O significado atribuído aos modelos não é unânime entre as diversas áreas do conhecimento que os estudam. Cientistas, filósofos da Ciência, psicólogos, linguistas e educadores podem interpretá-los de maneiras distintas (JUSTI, 2006). Portanto, ao longo das últimas décadas, debateu-se sobre a importância dos modelos numa perspectiva da Filosofia da Ciência. Com isso, muitos pesquisadores e filósofos reconheceram a importância dos modelos e investigaram os diversos papéis que estes desempenham na construção do conhecimento, como Black (1962), Cartwright (1983, 1999), Fraassen (1980, 2007), Morrison e Morgan (1999), Nagel (1961), Suppe (1977,1989), entre outros (BARRETO, 2020).

Historicamente, a Filosofia da Ciência preocupou-se em desvendar a estrutura lógica do conhecimento científico, mantendo uma clara distinção entre conhecimento e prática científica sob o paradigma do empirismo lógico. O principal objetivo era especificar a relação entre teorias e o mundo real, sem se preocupar com a atividade humana que gera esse conhecimento. A partir dos anos 1970, houve uma "virada prática" na Filosofia da Ciência, que passou a considerar a natureza e o propósito da representação na prática científica. Esse movimento trouxe maior interesse pelos modelos científicos, que, diferentemente das teorias formais, podiam assumir formas não linguísticas e representar o mundo com diferentes graus de precisão (GOUVEA; PASSMORE, 2017).

A utilização de modelos é recorrente na academia científica e no Ensino de

Ciências. Os modelos podem ser utilizados para diversos fins e possivelmente, por essa razão, sua definição não é única. Gilbert e Justi (2016), fundamentados em perspectivas da filosofia e da psicologia, propuseram considerar os modelos como artefatos epistêmicos[1], ou seja, como ferramentas que auxiliam o pensamento. Os autores atingem tal definição por meio dos estudos propostos por Knuuttila e Boon (2011) que reconhecem que o modelo oferece suporte ao raciocínio, favorecendo a produção de conhecimento e da aprendizagem.

Ao considerarmos que os modelos estão presentes no dia a dia durante as aulas de Ciências, no Ensino Fundamental, mas também, nas aulas de Química, Física e Biologia, durante o Ensino Médio, podemos inferir que os alunos estão constantemente em contato com essa ferramenta que busca explicar, entre muitas funções, os fenômenos da natureza.

Considerando o uso de modelos no Ensino de Ciências, Barreto (2020) realiza uma análise que nos permite uma aproximação às possíveis dificuldades que os alunos podem ter sobre os conceitos químicos. O autor explora as transformações da matéria, que, por sua vez, é composta por substâncias formadas por moléculas, e estas, são constituídas por átomos. No entanto, surge a questão: como discutir e compreender esses elementos se não podemos observá-los diretamente? Conforme apontado pelo autor mencionado, o fato de a Química lidar com conceitos que estão além da percepção sensorial humana torna essa disciplina complexa e desafiadora.

Perceber que os conceitos químicos são intangíveis aos sentidos humanos, pode proporcionar uma sensação de vulnerabilidade aos alunos, gerando dúvidas e inseguranças em relação a construção desse conhecimento. De acordo com Ferreira e Justi (2008), essas sensações e dúvidas são, na verdade, benéficas para o processo de aprendizagem, mesmo que possam não parecer inicialmente, pois desempenham um papel fundamental ao despertar a curiosidade sobre os fenômenos que nos cercam.

Ainda para as autoras, a compreensão dos fenômenos químicos exige não apenas a repetição de conceitos e exercícios, ou ainda, a aplicação de inúmeros conhecimentos prévios memorizados, mas a elaboração de hipóteses e investigações, associadas a

[1] Artefatos epistêmicos são representações materiais ou simbólicas (como diagramas, modelos tridimensionais, equações ou simulações) produzidas, utilizadas e avaliadas pelos estudantes durante atividades de modelagem. Tais artefatos têm função cognitiva, pois são meios pelos quais os alunos pensam, raciocinam, explicam e aprendem sobre os fenômenos naturais. São considerados "epistêmicos" porque participam ativamente do processo de construção e validação do conhecimento, e não apenas da sua comunicação (GILBERT; JUSTI, 2016).

criatividade, aos conhecimentos anteriores, resultando naquilo que tenta aproximar aos nossos sentidos o mundo intangível – os modelos.

O Ensino de Química, bem como o Ensino de Ciências, constantemente utiliza modelos para possibilitar a compreensão de uma teoria, fenômeno ou ideia. Contudo, seu uso é recorrentemente ilustrativo e pode provocar interpretações deturpadas se não houver um entendimento da sua finalidade. A busca por um ensino que provoque nos estudantes um entendimento mais fidedigno sobre a natureza dos modelos, suas limitações, sua evolução, suas revisões, poderá contribuir para que rompamos a barreira de um ensino passivo, não-crítico e distante da realidade dos estudantes e do universo científico.

O ensino de conceitos químicos é distribuído ao longo do Ensino Fundamental. No 9º ano, os estudantes passam a ter um contato mais efetivo com essa disciplina. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) apresenta três habilidades diretamente relacionadas à constituição da matéria e suas propriedades. Pesquisas indicam que, entre os conceitos que apresentam maior dificuldade para os alunos, destacam-se os conceitos que envolvem uma compreensão dos níveis de conhecimento químico relacionados a transição entre os níveis macroscópicos, microscópico e representacional (PAZINATO, 2016; FERNANDES; CAMPOS, 2012). A dificuldade relacionada a esses níveis interfere na compreensão de conceitos importantes como o de ligações químicas introduzido no 9º ano do Ensino Fundamental.

Ainda que seu uso seja recorrente, muitos alunos compreendem os modelos como cópias idênticas da realidade e não como uma representação dela. Nesse contexto, é importante que os alunos compreendam como e para qual finalidade um modelo é construído, compreendendo, assim, sua natureza, construção e sua função.

Os estudantes tendem a pensar que os modelos são modificados apenas quando um erro é detectado ou quando quem o cria decide que é o momento de alterá-lo. Eles geralmente têm dificuldades em assimilar a possibilidade da existência de múltiplos modelos para explicar o mesmo fenômeno, em compreender as limitações dos modelos e em perceber que os modelos podem ser utilizados para prever situações e especular respostas a problemas analisados (CHITTLEBOROUGH; TREAGUST; MAMIALA; MOCERINO, 2005; COLL; FRANCE; TAYLOR, 2005; GROSSLIGHT; UNGER; JAY; SMITH, 1991; HARRISON; TREAGUST, 1996; INGHAM; GILBERT, 1991; SAARI; VIIRI, 2003; TREAGUST; CHITTLEBOROUGH; MAMIALA, 2002).

Além disso, outras pesquisas mostram que não são apenas os alunos que possuem uma visão equivocada sobre os modelos. Em alguns casos, professores e licenciandos também têm uma compreensão pouco clara sobre o assunto (ISLAS; PESA, 2002; SOUZA; JUSTI; FERREIRA, 2006; SOUZA; JUSTI, 2003).

Gouvea e Passmore (2017) afirmam que é comum que professores considerem as representações por meio de modelos como fins em si mesmas. Eles argumentam que essa interpretação é provável, especialmente se levarmos em conta a visão coloquial de modelos como representações em escala de objetos grandes demais ou pequenos demais para serem observados. Justi e Gilbert (2010), embora tratassem os modelos como representações, já reconheciam seu papel no raciocínio científico e no ensino. Contudo, estudos posteriores, como os de Knuuttila e Boon (2011), contribuíram para ampliar essa compreensão, enfatizando ainda mais os modelos como instrumentos epistêmicos dinâmicos no processo de construção do conhecimento.

As pesquisas mencionadas destacam a necessidade de uma abordagem mais eficaz no ensino dos modelos científicos, tanto para estudantes quanto para professores. A clareza sobre a natureza, as limitações e os usos dos modelos são essenciais para uma compreensão mais profunda e precisa dos conceitos científicos.

Ainda para Gouvea e Passmore (2017), existe uma tensão entre a abrangência do conteúdo e a construção do conhecimento, o que resulta em um problema na implementação do uso e desenvolvimento de modelos na educação. Os autores apontam que uma possível razão para essa tensão é a ambiguidade em torno do significado do termo "modelo" na educação científica e na própria Ciência. Embora a ambiguidade em si não seja problemática — e até possa ser benéfica ao permitir a utilização de múltiplos modelos para explicar um fenômeno —, alguns significados atribuídos ao termo são desfavoráveis ao incentivo epistêmico dos alunos em práticas científicas. Isso ocorre porque esses significados tendem a tratar os modelos como representações do que é conhecido, em vez de ferramentas a serem usadas na geração de novos conhecimentos.

Nesse sentido, ao considerarmos a importância dos modelos na Ciência, evidenciamos a necessidade de compreender a natureza dos modelos e sua construção. Justi (2006) aponta que definir a Ciência como um processo de construção de modelos implica unir duas etapas importantes na construção do conhecimento científico: o processo de elaboração e o produto do conhecimento propriamente dito – o modelo. A

partir dessas considerações, defende-se a ampliação do uso de atividades de modelagem no Ensino de Ciências, incentivando os alunos a compreenderem o papel central dos modelos na prática científica, além de seu caráter dinâmico, não linear e humano (MENDONÇA, 2008).

Possibilitar meios para que os alunos se envolvam em atividade de modelagem pode trazer potenciais benefícios para uma educação científica, pois para Schwarz e White (2005) a criação de modelos e o raciocínio baseado em modelos são componentes essenciais que contribuem para o desenvolvimento cognitivo e para a investigação científica. Contribuindo com essa ideia, Gilbert e Justi (2016) destacam que a modelagem não pode ser vista como um procedimento mecânico, mas como uma arte, reconhecendo o papel fundamental da criatividade nesse processo e destacam, também, que o processo de aprendizado não está relacionado somente à construção e compreensão de um dado modelo, mas principalmente a sua utilização.

Corroborando com o apresentado, Clement (2000) defende que a inserção dos alunos em atividades de modelagem promove um aprendizado participativo. Somando-se a isso, a elaboração de modelos permite aos alunos visualizarem conceitos abstratos através da criação de estruturas, por meio das quais será possível explorar o estudado e testar o modelo criado.

A modelagem proporciona uma prática que coloca o estudante no centro da atividade. Berland *et al.* (2016) sugerem que práticas desse tipo podem deslocar a educação científica de modo que seu objetivo deixe de ser a mera compreensão do conhecimento das ideias científicas e epistêmicas, migrando para o desenvolvimento e uso dessas compreensões como ferramenta para dar sentido ao mundo.

A modelagem é compreendida como um processo contínuo de elaboração, utilização e revisão de uma série de modelos com diferentes níveis de abrangência e poderes de previsão. Esse processo é intrinsecamente dinâmico e criativo, demandando uma variedade de habilidades para sua condução. Na literatura, encontram-se várias propostas sobre como esse processo ocorre na Ciência, todas reconhecendo que a modelagem se desenvolve a partir de etapas, algumas das quais são consensuais e inerentes a todas as propostas, como a criação e o teste dos modelos. As diferenças entre as propostas residem na concepção de modelos adotada, na existência de etapas distintas ou na maneira como essas etapas são relacionadas (JUSTI, 2018).

Para essa pesquisa, consideramos o Ensino Fundamentado em Modelagem proposto por Gilbert e Justi (2016). Para os autores, essa proposta de modelagem surge como um processo cíclico e complexo, caracterizado pela não linearidade na elaboração e expressão de modelos, assemelhando-se aos utilizados na construção do conhecimento científico.

Diante da tentativa de tornar o ensino mais autêntico e significativo, corremos o risco de utilizar diferentes recursos metodológico de forma que o aluno não o utilize para construir seu produto de conhecimento, mas para atender expectativas do docente ou atividade pautadas em realizações de roteiro pouco significativos para os alunos. Diante dessa realidade, Berland e Hammer (2012) trazem uma reflexão sobre a forma a qual os estudantes concebem atividades de modelização. Para os autores, quando há a construção de um produto a ser avaliado pelo professor, os alunos podem tender a realizar instruções com o intuito de satisfazer as expectativas do docente, em detrimento da construção do próprio conhecimento.

Ford (2008) corrobora defendendo que uma abordagem baseada em práticas voltadas para uma educação científica faz com que os alunos ultrapassem o desenvolvimento mecânico de ações ou processos científicos, promovendo um envolvimento voltado para a construção do conhecimento com o intuito de desenvolver uma compreensão da prática. Assim, Calabrese Barton, Tan e Rivet (2008) destacam que para que alcancemos a abordagem mencionada, é preciso uma mudança no modo a qual entendemos e apoiamos as práticas desenvolvidas pelos estudos. Para eles, é necessário que seja dada atenção não somente ao que os alunos produzem – produto (modelo) – mas as motivações e justificativas envolvidas na construção desse produto de conhecimento.

Nesse sentindo, consideramos importante destacar a estrutura apresentada por Berland *et al.* (2016), pois essa abordagem enfatiza a importância de observar não apenas o que os estudantes sabem, mas como eles aplicam esse conhecimento na prática. Segundo os autores, a Epistemologia na Prática envolve a análise das atividades e interações dos alunos, destacando como eles justificam suas respostas, avaliam evidências e colaboram para construir explicações científicas. Essa perspectiva reconhece que o aprendizado científico não se trata apenas de adquirir informações, mas de participar ativamente de práticas científicas autênticas, onde o conhecimento é construído, negociado e validado coletivamente. Assim, a epistemologia na prática fornece uma visão

mais dinâmica e contextualizada do desenvolvimento do conhecimento científico entre os estudantes.

Consideramos, portanto, que há uma complementariedade entre o Ensino Fundamentado em Modelagem e as Epistemologias na Prática no desenvolvimento de uma compreensão profunda e aplicada da Ciência, pois enfatizam a importância do desenvolvimento das habilidades envolvidas no processo de modelagem. As práticas epistêmicas, ao focar em como os estudantes constroem, validam e negociam conhecimentos em contextos autênticos, fornecem uma base sólida para uma prática científica real. O Ensino Fundamentado em Modelagem, por sua vez, oferece ferramentas e estratégias para que os alunos possam representar, testar e refinar suas compreensões científicas. A interseção dessas abordagens permite que os estudantes não apenas adquiram conhecimento científico, mas também desenvolvam habilidades essenciais de pensamento crítico, argumentação e resolução de problemas.

Diante desse contexto, esta pesquisa busca responder à seguinte pergunta: Quais são as considerações epistêmicas demonstradas por estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro durante atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas?

O presente trabalho, portanto, teve como objetivo identificar as possíveis considerações epistêmicas na prática demonstradas por estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro durante a realização de atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas. Para alcançar esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: promover atividades de modelagem para ambientação dos discentes; desenvolver um conjunto de atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas; e identificar e categorizar as considerações epistêmicas na prática evidenciadas pelos estudantes ao longo dessas atividades.

1 - Fundamentação Teórica e Revisão de Literatura

1.1 Introdução ao Capítulo

Esse capítulo foi construído com o objetivo de apresentar uma breve revisão dos estudos realizados no campo de Ensino de Ciências e Química que abordam o ensino de ligações químicas e sua articulação às práticas de modelagem. Além disso, nesse mesmo capítulo, são discutidos os referencias teóricos que sustentam essa pesquisa, enfatizando o Ensino Fundamentado em Modelagem (GILBERT; JUSTI, 2016) e as Epistemologias na Prática (BERLAND, *et al.* 2016). Dessa maneira, o capítulo apresenta os estudos e os fundamentos teóricos que embasaram essa proposta de pesquisa.

1.2 Revisão de literatura

O ensino de Química no Ensino Fundamental é introduzido, de forma mais estruturada, no 9º ano, conforme previsto na Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Entre os conteúdos mobilizados para o desenvolvimento das habilidades previstas no componente Ciências da Natureza, destacam-se os conceitos de estrutura da matéria, transformações químicas e modelos explicativos utilizados na Ciência. Nesse conjunto, a ligação química e a estrutura atômica assumem papel central, pois sua compreensão contribui diretamente para que os estudantes possam explicar fenômenos de forma mais fundamentada (BRASIL, 2018).

Apesar dessa previsão curricular, o ensino de ligações químicas ainda é pouco explorado por pesquisadores nessa etapa da escolarização. O levantamento realizado por Fernandes e Campos (2012) sobre o ensino de ligações químicas, analisou 8 periódicos nacionais e 6 periódicos internacionais. Dentre os periódicos nacionais analisados pelos autores, apenas 6 artigos sobre a temática foram encontrados. Embora em número reduzido, as pesquisas apresentaram uma diversidade quanto ao conteúdo discutido: levantamento das concepções alternativas dos estudantes, principais erros e dificuldades

dos alunos em relação ao conceito de ligação química, sugestões e elaboração de recursos didáticos para facilitar o entendimento dessa temática, análise de modelos de ensino, com destaque para analogias, e análise de livros-didáticos de Química.

Em contrapartida, a busca pelos artigos internacionais resultou em 37 pesquisas encontradas. Observou-se uma tendência predominante na análise das concepções alternativas dos alunos, modelos mentais dos estudantes e ensino por analogias. Entre os artigos nacionais e internacionais encontrados pelos autores, apenas um se destinava ao Ensino Fundamental (FERNANDES; CAMPOS, 2012).

Dentre os estudos encontrados que abordam o tema das ligações químicas, apenas o trabalho de Costa, Oliveira e Alves (2008), analisado por Fernandes e Campos (2012), teve como foco estudantes do Ensino Fundamental. A pesquisa investigou como alunos da 8ª série, atual 9º ano, constroem explicações sobre ligações iônicas, considerando tanto suas interações em grupo quanto as interações com o professor. A partir de uma abordagem comunicativa interativa dialógica, os autores observaram que os estudantes, ao serem incentivados ao diálogo e à escuta ativa, conseguiram transformar explicações inicialmente baseadas em percepções empíricas em compreensões mais próximas do conhecimento científico. O estudo evidencia a importância das interações sociais e da mediação docente no desenvolvimento do raciocínio coletivo e individual dos alunos, apontando para a necessidade de abordagens que considerem as especificidades cognitivas desse segmento de ensino.

Nesse contexto, é possível observar a que há um quantitativo significativamente menor de pesquisas voltadas a propostas e análises de estratégias didáticas que favoreçam a superação dessas dificuldades.

Tal lacuna é preocupante principalmente quando consideramos que os conceitos químicos abordados no 9º ano, como as ligações químicas, são de natureza abstrata e envolvem diferentes níveis de representação. Somando-se a isso, Freitas *et al.* (2022) apontam que concepções alternativas relacionadas à estrutura da matéria e às interações entre partículas começam a se formar a partir do contato com esse conteúdo.

Freitas *et al*. (2022), ao investigarem as percepções de estudantes do 9º ano, identificaram que muitos deles apresentam dificuldades em compreender os modelos e conceitos relacionados às ligações químicas. Os autores relataram, além disso, que os conteúdos geralmente são associados a práticas pedagógicas majoritariamente expositivas

e descontextualizadas. Essas abordagens centradas na transmissão de conhecimento tendem a favorecer a memorização em detrimento da construção de significados.

Colaborando com o exposto, Mendonça e Justi (2009) mostraram que, mesmo durante o Ensino Médio, os alunos ainda têm algumas ideias erradas sobre a ligação iônica. Por exemplo, muitos acreditam que ela acontece apenas pela "doação" de elétrons ou que os compostos iônicos se transformam em moléculas. Essa observação sugere que essas concepções não se formam no Ensino Médio, mas sim se consolidam, o que destaca a necessidade de pesquisas e intervenções pedagógicas já no Ensino Fundamental.

Frente as dificuldades e as limitações das abordagens tradicionais, algumas pesquisas no campo do Ensino de Ciências têm destacado a modelagem como uma proposta possível para facilitar a aprendizagem de conceitos abstratos, como no caso das ligações químicas (IBRAIM; MENDONÇA; JUSTI, 2013; PEGANNI; JUSTI, MOZZER, 2014; MOZZER; JUSTI, 2018; SÁ; MORALLES; BEGO, 2021; MARTINS, JUSTI; MENDONÇA, 2015).

Uma análise abrangente sobre a presença dessa abordagem na pesquisa em Ensino de Ciências e Matemática é apresentada por Madeira (2024), cuja revisão de periódicos nacionais do estrato A1, no período de 2001 a 2022, aponta um crescimento expressivo da produção científica sobre modelagem, bem como uma consolidação de diferentes abordagens e referenciais. No entanto, a análise dos dados evidencia uma predominância de estudos nas áreas de Matemática e Física, enquanto a Química e a Biologia aparecem menos representadas. Embora o autor não delimite essa baixa representatividade a etapas específicas da escolarização, esse panorama sugere que a investigação sobre o uso da modelagem no ensino de Química, especialmente no Ensino Fundamental, permanece como um campo ainda pouco explorado. Tal constatação reforça a relevância de pesquisas que busquem compreender como a modelagem pode ser mobilizada no ensino de conceitos químicos, notadamente aqueles que apresentam elevado grau de abstração, como é o caso das ligações químicas.

A modelagem tem sido apresentada por alguns autores como uma prática que pode contribuir significativamente na construção do conhecimento e, por isso, pode se apresentar como estratégia didática importante para o Ensino de Ciências. Ao criar, testar e revisar modelos, os alunos são incentivados a formular explicações para os fenômenos com base em evidências, raciocínios causais e diferentes formas de representações. Essa

abordagem os aproxima dos modos de pensar e agir da própria Ciência, ajudando no desenvolvimento da alfabetização científica e na compreensão da natureza do conhecimento científico (SCHWARZ *et al.* 2009).

Entre as diversas abordagens existentes para a modelagem, optamos por adotar a perspectiva que considera o modelo como um artefato epistêmico. Essa escolha é fundamentada na ideia de que tal abordagem é a mais adequada para promover um Ensino de Ciências mais autêntico e crítico, em nossa concepção, pois ela enfatiza o papel dos modelos na construção e validação do conhecimento.

Dentro desse contexto, destacamos o Ensino Fundamentado em Modelagem, conforme proposto por Gilbert e Justi (2016). Essa abordagem organiza o processo de modelagem em quatro etapas principais: criação, expressão, teste e avaliação. Essas etapas não apenas guiam os estudantes na construção de modelos, mas também os envolvem em práticas que refletem a dinâmica real da Ciência, onde modelos são continuamente desenvolvidos, revisados e ajustados em resposta a novas evidências e ideias.

No Ensino de Química, podemos encontrar alguns exemplos de pesquisas que utilizam essa abordagem. Um exemplo muito significativo para essa pesquisa é o trabalho desenvolvido por Mendonça e Justi (2009), pois tinha como foco o ensino de ligações químicas, mais precisamente as ligações iônicas. As autoras propuseram uma sequência didática que atendesse as quatro etapas do EFM que foram aplicadas a alunos do Ensino Médio. As autoras identificaram que, ao criarem e reformularem seus modelos, os estudantes passaram a compreender melhor os modelos eletrostáticos, além de reconhecerem suas limitações.

Outro trabalho que também utiliza o EFM foi desenvolvido por Sá, Moralles e Bego (2019). Os autores propuseram uma sequência didática sobre o modelo atômico de Thomson, proposta desenvolvida também com alunos do Ensino Médio. A pesquisa evidenciou que a modelagem, quando tratada como um processo cíclico, pode contribuir para uma apropriação mais crítica do conhecimento científico. Assim, a pesquisa contribuiu para a aprendizagem das características do modelo em questão e para o desenvolvimento das habilidades argumentativas dos estudantes.

No campo da modelagem analógica, Mozzer e Justi (2018) apresentam como atividades elaboradas com base no EFM podem fomentar a reflexão, o raciocínio

analógico e a argumentação. A pesquisa foi desenvolvida com alunos do primeiro ano do Ensino Médio. As autoras destacaram que ao permitir que os estudantes estabeleçam relações entre representações e fenômenos, a modelagem promove tanto o entendimento conceitual quanto o engajamento em práticas epistêmicas autênticas.

Além desses trabalhos, o estudo de Justi e Silva (2019) destaca o uso do EFM como ponto de partida para promover discussões sobre a Natureza da Ciência (NdC). Por meio de atividades de modelagem, as autoras demonstram que é possível fomentar reflexões sobre o caráter provisório, coletivo e revisável do conhecimento científico.

Complementarmente, outras investigações têm explorado o Ensino Fundamentado em Modelagem com outros enfoques, por exemplo com destaque para o papel do professor na mediação das atividades. Paganini, Justi e Mozzer (2014) analisaram a atuação de mediadores em atividades de modelagem realizadas com estudantes do Ensino Médio, evidenciando que intervenções intencionais — como reformulações de perguntas, retomadas de ideias e incentivo à negociação de significados — foram fundamentais para a construção coletiva do conhecimento.

Encontramos na literatura pesquisas que apresentam o Ensino Fundamentado em Modelagem como um forte aliado na promoção de uma aprendizagem que busca ser mais autêntica, no sentido de aproximar os estudantes dos modos de pensar, argumentar e construir conhecimento próprios da Ciência. Neste trabalho, utilizamos o termo "aprendizagem autêntica" para designar propostas de ensino em que os alunos participam ativamente da elaboração, teste e revisão de modelos, mobilizando raciocínios epistêmicos, em vez de apenas reproduzir informações. Esse entendimento não se contrapõe às demais formas de aprendizagem escolar, mas destaca que, no contexto da modelagem científica, a autenticidade está relacionada à participação dos estudantes em práticas que refletem, ainda que em escala escolar, os processos de construção, validação e comunicação do conhecimento científico (SCHWARZ *et al*., 2009; GILBERT; JUSTI, 2016).

Contudo, encontramos poucos trabalhos que proponham análises sobre as intenções, decisões e justificativas mobilizadas pelos estudantes ao longo das atividades de modelagem. Investigar esses pontos é interessante para compreender se os estudantes estão apenas cumprindo uma tarefa escolar ou engajando-se ativamente na construção do conhecimento científico (IBRAIM; MENDONÇA; JUSTI, 2013; PEGANNI; JUSTI,

MOZZER, 2014; MOZZER; JUSTI, 2018; SÁ; MORALLES; BEGO, 2021; MARTINS, JUSTI; MENDONÇA, 2015).

Alguns estudos têm apontado o potencial do referencial das Epistemologias na Prática (EIP), proposto por Berland *et al.* (2016), para investigar como os estudantes se engajam nas práticas científicas em sala de aula. Essa abordagem considera que os alunos mobilizam ideias epistêmicas ao longo de suas ações, decisões e justificativas, as quais podem ser analisadas a partir de quatro dimensões principais: natureza do conhecimento, generalidade, justificação e público. Embora ainda pouco difundido, esse referencial tem sido utilizado em investigações que buscam compreender como o conhecimento científico é construído em contextos autênticos de aprendizagem.

No estudo de Krist (2020), por exemplo, a autora analisou o desenvolvimento dos critérios epistêmicos de alunos acompanhando-os do 6º ao 8º ano, focalizando especialmente nas considerações sobre a natureza e a justificação do conhecimento. A autora investigou como esses critérios eram utilizados nas interações em sala de aula durante práticas como modelagem, investigação empírica e argumentação.

O estudo adotou uma abordagem qualitativa e longitudinal, fundamentada na análise de vídeos de aulas gravadas ao longo de três anos, envolvendo três unidades curriculares distintas em uma escola pública de Ensino Fundamental. Foram analisadas interações discursivas coletivas durante episódios de construção de conhecimento, nas quais os critérios epistêmicos eram visíveis na fala dos alunos. Observou-se que, ao longo de três anos, os alunos passaram a mobilizar formas mais sofisticadas de raciocínio epistêmico, ainda que de maneira não linear. Assim, sugerindo que a aprendizagem epistêmica está relacionada a participação ativa dos estudantes ao longo do tempo e não de forma isolada ou espontânea, ela é construída a partir da experiência e das interações desenvolvidas na sala de aula (KRIST, *et al.,* 2020).

De forma complementar, o estudo de Grapin *et al.* (2023) aplicou o mesmo referencial EIP para analisar o engajamento epistêmico de estudantes multilíngues do 5º ano em atividades de modelagem computacional. O estudo adotou uma abordagem qualitativa, baseada na realização de entrevistas semiestruturadas com onze estudantes multilíngues, as quais foram conduzidas após a implementação das unidades de ensino. Durante as entrevistas, os alunos discutiram os modelos computacionais que haviam desenvolvido como parte das atividades desenvolvidas em sala, permitindo que os autores

analisassem como mobilizavam as quatro considerações epistêmicas do EIP — natureza, generalidade, justificação e público. Os resultados indicaram uma mobilização de todas as categorias, com predominância de natureza e generalidade. Além de reforçar a potência do EIP como lente analítica, o estudo evidenciou como o uso de diferentes linguagens pode favorecer a expressão epistêmica de estudantes multilíngues.

Portanto, diante do cenário apresentado, a necessidade de abordagens didática que promovam a participação ativa pelos alunos em atividades permitindo não apenas a aprendizagem de conceitos, mas também, o desenvolvimento de práticas epistêmicas autenticas é eminente. Nesse contexto, as práticas de modelagem se destacam com uma possível estratégia pedagógica, principalmente quando estruturada afim de incentivar o processo de elaboração, revisão, teste e análise dos modelos. Dentre as possibilidades, o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) tem se destacado por organizar esse processo de forma sistemática e coerente com a dinâmica da Ciência, promovendo um ambiente propício à aprendizagem significativa. Na seção a seguir, será apresentado os principais fundamentos dessa abordagem, que orienta o planejamento das atividades propostas nesta pesquisa.

1.2 O Ensino Fundamentado em Modelagem

Gilbert e Justi (2016) apresentam o Ensino Fundamentado em Modelagem como uma alternativa para um Ensino de Ciências mais autêntico. Os autores adotam os modelos como artefatos epistêmicos, baseados em estudos empíricos que desenvolveram ao longo de sua trajetória como pesquisadores na área de Ensino de Ciências. Eles sugerem que, quando os estudantes são envolvidos em atividades de modelagem, constroem conhecimento por meio da elaboração e utilização de modelos como artefatos de pensamento. Nesse contexto, entram as etapas de criação, expressão, teste e avaliação. Os autores elaboraram um tetraedro que representa como essas etapas interagem entre si, denominado diagrama de modelo de modelagem.

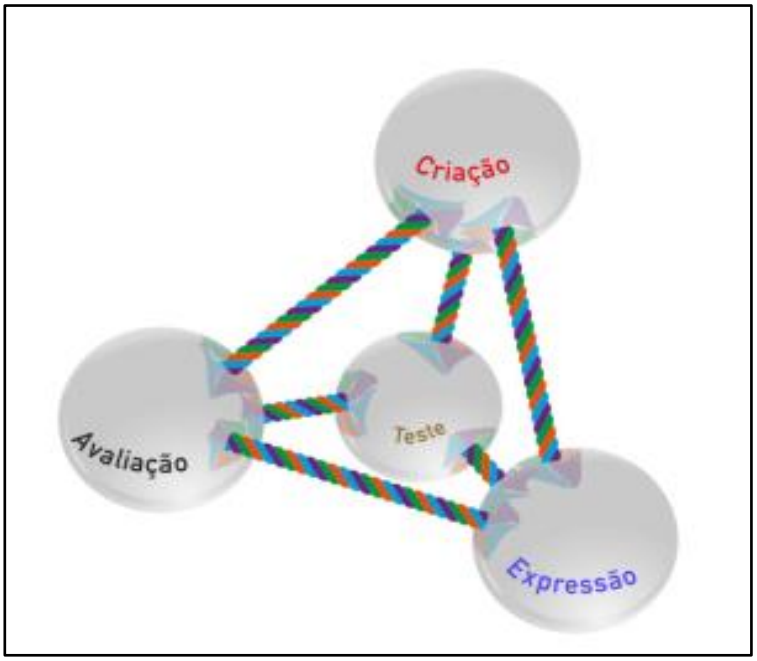


Figura 1. Diagrama Modelo de Modelagem
Fonte: GILBERT; JUSTI, 2016, p. 36.

De acordo com Justi e Gilbert (2016), o modelo de modelagem é representado por um tetraedro porque essa forma geométrica simboliza a influência que cada uma das etapas do processo (criação, expressão, teste e avaliação) sofre e exerce sobre as outras. Isso é representado pela equidistância entre os vértices, que reforça a ideia de que todas as etapas são igualmente relevantes e interdependentes no processo de construção do conhecimento. Além disso, ao girar o tetraedro, as possibilidades de transição entre os vértices se mantêm inalteradas, o que reforça o caráter cíclico, não linear e não predeterminado da modelagem científica. As arestas conectam diretamente todos os vértices, indicando que é possível transitar entre quaisquer etapas, em diferentes ordens, de acordo com as necessidades do processo. A escolha do tetraedro, portanto, não expressa uma ordem hierárquica ou sequencial, mas sim uma estrutura flexível, em que as etapas podem ser retomadas, reorganizadas ou combinadas de maneira dinâmica e contínua.

A criação de um proto-modelo[2] ocorre por meio da integração dinâmica e simultânea de várias ações: definir os objetivos do modelo ou, no contexto educacional, compreender os objetivos propostos pelo professor; obter informações sobre o alvo da

[2] O termo ‘proto-modelo’, conforme Gilbert e Justi (2016), refere-se à forma inicial de um modelo mental, ainda não totalmente elaborado ou expresso, que emerge no início do processo de modelagem.

modelagem, que pode ser feita a partir do conhecimento prévio ou de fontes externas como bibliografia e atividades empíricas; definir uma analogia ou modelo matemático para fundamentar o modelo; e integrar essas informações para criar um modelo mental inicial. Esse processo é individual, mesmo que ocorra em atividades de grupo, pois o modelo resultante se forma na estrutura cognitiva de cada pessoa, sendo identificado como um modelo mental (GILBERT; JUSTI, 2016).

O proto-modelo precisa ser comunicado a outros. Sua expressão pode ocorrer por meio de diversos modos de representação: concreto, bidimensional (desenhos, esquemas, etc.), virtual, verbal, gestual, matemático, ou ainda, uma combinação desses. A escolha do modo de representação está interligada de forma cíclica ao próprio desenvolvimento mental do modelo, pois o processo de expressar um proto-modelo provoca modificações no modelo mental, que pode, por sua vez, ser expresso de diferentes maneiras. Devido a possíveis limitações na expressão de um modelo (decorrentes dos modos de representação ou da nossa incapacidade de utilizá-los adequadamente), os modelos expressos podem não ser totalmente idênticos aos proto-modelos mentais. Por isso, é importante distingui-los, algo que não é abordado em outros referenciais teóricos sobre modelagem (JUSTI, 2018).

De acordo com Gilbert e Justi (2016), os testes do modelo são fundamentais para avaliar sua adequação aos objetivos propostos e podem assumir duas formas: empírica e mental. A realização de testes mentais — isto é, a análise do comportamento esperado do modelo por meio de simulações conceituais ou raciocínio lógico — permite identificar inconsistências internas e limitações representacionais antes de se investir em procedimentos empíricos mais complexos ou custosos. Do ponto de vista epistemológico, essa prática está alinhada à compreensão de que os modelos científicos são representações idealizadas e, como tais, podem ser manipulados teoricamente para antecipar seu potencial explicativo. A falha de uma previsão nesse contexto indica que o modelo conduz a resultados implausíveis ou incoerentes com o conhecimento científico aceito, o que sugere a necessidade de sua reformulação. Assim, os testes mentais não substituem a experimentação empírica, mas integram o processo de avaliação e aprimoramento do modelo, especialmente em contextos em que a testagem empírica é inviável ou ocorre em etapas posteriores.

Por fim, a avaliação do modelo envolve a identificação de sua abrangência e

limitações. Esse processo ocorre ao tentar utilizar o modelo com os mesmos objetivos (ou objetivos semelhantes aos originais) em diferentes contextos. Nesta fase, a pessoa envolvida no processo também busca persuadir outras pessoas sobre a validade e utilidade do modelo.

Justi (2018) destaca que em qualquer modelo é essencial detalhar os códigos escolhidos para representar cada entidade. Então, no modelo de modelagem apresentado na Figura 1, o modo de representação das arestas possui um significado. As arestas são representadas por um cordão com quatro fios, com cores distintas, representando cada um deles quatro processos inerentes à modelagem, são eles: o uso de raciocínio analógico, o uso de representações imagísticas, a realização de experimentos mentais ou empíricos e a argumentação.

Os autores defendem que o raciocínio analógico é importante no estabelecimento de relações durante o processo criativo do proto-modelo, pois permite integrar elementos ao modelo, expressá-lo por meio de analogias, influencia no processo de escolha do modo de representação e auxilia no planejamento dos testes. Além disso, por meio do raciocínio analógico, os discentes podem estabelecer suas próprias analogias e buscar comparações a partir da sua própria interpretação, contribuindo para a construção do conhecimento (GILBERT; JUSTI, 2016).

As representações imagéticas permeiam todo o processo de modelagem, pois estão relacionadas às representações internas e externas estabelecidas durante a criação, expressão, teste e avaliação de um modelo. Os experimentos mentais, por sua vez, são uma etapa essencial da modelagem. Embora realizados principalmente na fase de teste, podem ser utilizados em outras etapas, por exemplo: na criação, para estabelecer relações entre diferentes tipos ou partes de uma informação; na expressão, para analisar a adequação de um modelo de representação; e na avaliação, para prever como o modelo se comportaria em diferentes contextos (JUSTI, 2018).

Enfim, o último fio da corda do tetraedro é a argumentação. Ela pode ocorrer internamente, dentro do próprio indivíduo, ou externamente, com outras pessoas. Assim como as outras etapas, a argumentação permeia todo o processo de modelagem, especialmente na discussão de ideias distintas que surgem ao longo do processo. Isso inclui justificar escolhas, atribuir significado ao modelo e convencer seus pares sobre sua validade.

Para os autores, Gilbert e Justi (2016), ao propor o Ensino Fundamentado em Modelagem, buscamos contribuir para o engajamento dos alunos, incentivando-os a participar ativamente do seu processo de aprendizagem por meio da construção de seus próprios modelos. Isso inclui a avaliação de seus modelos e dos modelos criados por outros, permitindo que compreendam o processo de modelagem e sua função na construção do conhecimento científico.

Dentro desse contexto de pesquisa sobre modelagem, destaca-se o trabalho do Grupo de Pesquisa "REAGIR: Modelagem e Educação em Ciências", que tem se dedicado a investigar e desenvolver estratégias de Ensino Fundamentadas em Modelagem. O grupo, liderado por Rosária Justi e colaboradores, tem contribuído significativamente para a consolidação dessa proposta de modelagem no Brasil, aplicando essa abordagem em diversos temas científicos e voltados para o Ensino de Ciências de forma contextualizada e autêntica. O trabalho do REAGIR ressalta a importância da modelagem como prática central no processo de construção do conhecimento científico, alinhando-se às perspectivas mais contemporâneas de Educação em Ciências.

Diante do exposto, sabemos que o Ensino Fundamentado em Modelagem pode contribuir para a construção do conhecimento, ultrapassando a simples memorização de conceitos e fórmulas. Isso é evidenciado, por exemplo, nos trabalhos de Sá, Moralles e Bego (2021), Mozzer e Justi (2018), Peganini, Justi e Mozzer (2014), Martins, Justi e Mendonça (2016), Imbraim, Mendonça e Justi (2013), Maia e Justi (2009) e Mendonça e Justi (2009). No entanto, Justi (2018) alerta para a necessidade de atenção na condução dessas propostas de atividade, a fim de evitar que se tornem práticas mecânicas.

> Entretanto, na maioria dos estudos sobre Ensino Fundamentado em Modelagem, os estudantes são apenas solicitados a elaborar e discutir modelos para explicar um determinado fenômeno (como, por exemplo, em CLEMENT; REA-RAMIREZ, 2008; LEHRER; SCHAUBLE, 2012; PASSMORE; STEWART, 2002; SCHWARZ; GWEKWERERE, 2007) (JUSTI, 2018, p. 320).

A preocupação apresentada pela autora relaciona-se à complexidade da modelagem. A proposta não se esvai somente na construção do produto de conhecimento – modelo, mas abrange a compreensão sobre a Natureza da Ciência. Portanto, é importante, nesse sentido, que os alunos sejam envolvidos em atividade desse modo, mas que compreendam que a Ciência não é linear, estática, e que não está isenta da influência

das relações sociais.

Gouvea e Passmore (2017, p. 2) apresentam, por meio de duas afirmações, uma importante distinção entre propostas didáticas com diferentes níveis de envolvimento por parte dos alunos. A primeira afirmação é: “Na aula de biologia, os alunos construíram um modelo de DNA”, e a segunda: “Nas aulas de biologia, os alunos desenvolveram um modelo para explicar como a informação genética é copiada e transmitida nos seres vivos”. Essas frases revelam objetivos distintos.

Na primeira, os alunos constroem um modelo da molécula de DNA utilizando diferentes recursos, sendo instruídos a criar uma dupla hélice conforme os parâmetros estabelecidos pelo professor, ou ainda, a mostrar como as bases nitrogenadas estão ligadas com diferentes números de ligações de hidrogênio. Esta seria uma atividade focada na descrição da estrutura do DNA, induzindo o estudante a demonstrar o que sabe sobre o conceito trabalhado. Essa tarefa, embora útil para fins ilustrativos, não envolve a elaboração de explicações nem o desenvolvimento de ideias, nem estimula a formação e revisão de hipóteses, caracterizando-se, portanto, como uma transposição de conteúdo para outro modo de representação. Os autores reconhecem a utilidade dessa abordagem, mas afirmam que ela não desenvolve um objetivo epistêmico mais abrangente.

> Na segunda abordagem, a atividade dos alunos, à primeira vista, parece semelhante à anterior: eles recebem blocos de construção de DNA para manipular e organizar. No entanto, diferentemente da primeira proposta, que se limitava à reprodução da estrutura molecular, os alunos, aqui, são desafiados a criar um produto molecular capaz de armazenar e replicar informações. Isso os leva a propor arranjos estruturais que permitam que a molécula copie informações durante a divisão celular, estimulando reflexões sobre os princípios que orientam a organização do DNA. Nesse processo, a construção de modelos não se restringe a representar uma estrutura conhecida, mas se torna um meio para compreender por que o DNA possui aquela organização e como ela está relacionada às suas funções biológicas. Modelos alternativos, inclusive, podem gerar discussões sobre se outras estruturas poderiam desempenhar funções semelhantes e por que isso não ocorre.

As ideias dos alunos são avaliadas no contexto de sua utilidade epistêmica, ou seja, considerando se os modelos são capazes de explicar, representar ou resolver o problema proposto — no caso, como uma molécula pode armazenar e replicar

informações. Essa avaliação não se limita a comparar os modelos diretamente com fatos científicos consolidados, mas considera sua adequação para cumprir funções explicativas, preditivas e heurísticas no contexto da atividade. Assim, os modelos passam a ser analisados e, posteriormente, avaliados com base em critérios que emergem da própria interação dos alunos com o problema, como coerência interna, viabilidade do mecanismo proposto e capacidade de responder às demandas da situação (GOUVEA; PASSMORE, 2017). Dessa forma, os estudantes não apenas reproduzem um modelo, mas são engajados em práticas próprias da Ciência, como a construção, a avaliação e a reformulação de modelos, desenvolvendo, portanto, raciocínios de natureza epistêmica.

Jiménez-Aleixandre e Crujeiras (2017) destacam que um dos caminhos para promover a participação de estudantes no contexto dos objetivos da Ciência seria por meio de práticas científicas e isso implicaria em valorizar as dimensões epistêmicas, sociais e conceituais. Para Reiser, Berland e Kenyon (2012), as práticas desenvolvidas em sala de aula incentivam a construção do conhecimento, mas também, o entendimento da razão de sua construção, teste, avaliação e reformulação.

Contudo, ainda enfrentamos limitações nas atividades desenvolvidas em sala de aula. Geralmente, os alunos são incentivados a construir conhecimento apenas na medida em que esse conhecimento atende às expectativas pré-definidas. Isso cria uma tensão constante entre a aprendizagem de ideias corretas e a construção de ideias próprias (RUSS; BERLAND, 2019).

Nesse contexto, Berland *et al*. (2016) buscam um mecanismo para superar a execução mecânica das ações e processos realizados pelos estudantes, propondo uma estrutura para caracterizar como os alunos podem se engajar de forma significativa nas práticas científicas, como na modelagem durante as aulas de Ciências. Os autores objetivavam superar abordagens centradas na mera execução de procedimentos, buscando evidenciar o papel ativo dos alunos na construção do conhecimento.

Para isso, eles introduzem o conceito de considerações epistêmicas, entendido como um mecanismo que permite observar, nas ações dos estudantes, elementos ligados aos objetivos de construção de conhecimento e às formas como eles se posicionam em relação a essa construção. Tais considerações epistêmicas dizem respeito ao modo como os alunos participam da prática científica. Por exemplo, justificar ideias, considerar o público-alvo, discutir a natureza do fenômeno modelado ou refletir sobre a generalidade

de seus modelos. Já as compreensões epistemológicas referem-se às ideias que os estudantes possuem sobre a própria natureza do conhecimento científico, ou seja, como ele é construído, validado e aplicado. Assim, a estrutura proposta por Berland *et a*l. (2016) permite analisar não apenas o que os estudantes pensam sobre a Ciência (aspectos epistemológicos), mas também como eles atuam ao fazer Ciência (aspectos epistêmicos), oferecendo uma perspectiva integrada entre teoria e prática.

Com o intuito de aprimorar a significância e autenticidade do Ensino Fundamentado em Modelagem, consideramos que a integração com o trabalho de Berland *et al.* (2016), Epistemologias na Prática, pode enriquecer e dar ainda mais sentido às etapas de modelagem propostas por Gilbert e Justi (2016). A abordagem de Berland e*t al.* (2016) oferece um referencial teórico valioso para compreender as práticas dos alunos durante o processo de modelagem, possibilitando uma reflexão mais profunda sobre como os estudantes constroem e aplicam conhecimentos científicos.

1.3 As Epistemologias na Prática

Para Schwarz e White (2005), durante um período na área da Ciência, buscou-se avaliar as características dos modelos, os conhecimentos dos modelos ou as dimensões da meta-modelagem, com a ideia de que os modelos são representações que poderiam ser testadas e revisada. Ainda que essa proposta seja útil para os estudantes, uma avaliação restrita da modelagem com base apenas nas características dos modelos ou ainda da dimensão do meta-conhecimento pode favorecer uma ideia incompleta do conhecimento dos modelos (SCHWARZ, *et al.* 2022).

Schwarz e White (2005) inicialmente basearam seu trabalho sobre conhecimento de meta-modelagem em conceitos psicológicos da Natureza da Ciência. Porém, pesquisas posteriores (Berland *et al.*, 2016; SCHWARZ *et al.*, 2009) indicam que esses objetivos epistemológicos são moldados pelos contextos sociais onde são desenvolvidos. Avaliar o conhecimento de modelagem ou meta-modelagem de forma isolada revela pouco sobre os pensamentos e ações dos alunos (SCHWARZ, *et al.* 2022).

Ao se envolverem em práticas científicas, os alunos têm diversas oportunidades

para tomar decisões. Isso inclui decidir quais passos seguir, o que incluir no produto de conhecimento que estão criando, no que focar ao desenvolver esse produto, quem avaliará e usará o resultado, entre outros. Essas escolhas resultam em diferentes maneiras de se engajar nas práticas científicas (BERLAND *et al.,* 2016).

O trabalho desenvolvido pelo grupo que tem como membros Christina V. Schwarz e Leema K. Berland tem contribuído significativamente para a compreensão das Epistemologias na Prática durante atividades de modelagem. Com foco na interlocução entre práticas científicas e epistemologias dos próprios alunos, o grupo explora como as decisões e ações dos estudantes são moldadas não apenas por conhecimentos formais, mas também por contextos sociais e objetivos implícitos presentes no ambiente de aprendizagem. Com base nisso, o grupo propõe que a modelagem não deve ser avaliada apenas por suas características ou metaconhecimentos, mas deve considerar as intenções e decisões dos alunos em relação à construção do conhecimento.

Para evidenciar tal entendimento, o grupo propõe considerarmos o seguinte exemplo.

> (...) ao construir um modelo de como a luz viaja, os alunos do Ensino Médio têm que decidir que tipo de informação é necessária no modelo. Eles podem pensar em incluir componentes-chave (ou seja, incluir rótulos e raios de luz), incorporar suas experiências passadas (ou seja, eles podem ter visto a luz se curvar na água) e/ou considerar como o sistema funciona (ou seja, a interação entre os raios de luz e o tipo de material pelo qual está viajando). Além disso, a compreensão dos alunos sobre porque estão se envolvendo na modelagem dessas maneiras pode variar. Por exemplo, eles podem se envolver na modelagem para satisfazer as expectativas de um externo (ou seja, seu professor), ou podem fazê-lo porque estão tentando entender ativamente os fenômenos em estudo (ou seja, como a luz viaja). (BERLAND, *et al*., 2016, p. 3, Traduções nossas).

Através de exemplos como o mencionado anteriormente, o grupo propôs uma estrutura para caracterizar as diferentes formas de envolvimento dos alunos durante uma prática de modelagem. Essa estrutura considera os objetivos implícitos dos alunos na construção do conhecimento e as compreensões sobre quais tipos de informações serão úteis e valiosas para alcançar esses objetivos. Em outras palavras, a estrutura apresentada pelo grupo visa entender as compreensões epistêmicas do processo de modelagem, incluindo as decisões tomadas pelos estudantes, bem como os motivos (por quê?) e

métodos (como?) por trás de suas ações.

O grupo justifica a utilização do termo "Epistemologias na Prática" (*Epistemologies in Practice*, ou EIP), pois ele abrange não apenas a perspectiva baseada na prática da aprendizagem dos alunos, mas também enfatiza o interesse nas ideias epistêmicas dos alunos em prática.

> Ao utilizar o termo EIP, queremos destacar que as ideias epistêmicas que orientam o trabalho dos alunos são uma combinação de ideias e ação (Sandoval, 2014). Essas ideias epistêmicas se manifestam nas ações, decisões e justificativas dos alunos, de maneira semelhante às 'epistemologias práticas' de Sandoval (2005). Dessa forma, suas ações refletem ideias subjacentes ou 'regras práticas' sobre a construção e avaliação do conhecimento" (BERLAND *et al.,* 2016, p. 3) (Traduções nossas).

Os autores apresentaram quatro considerações epistêmicas centrais para a construção do conhecimento científico: a natureza do conhecimento, a generalidade, a justificação e o público. Com base nisso, procuraram relacionar essas considerações com as apresentadas pelos alunos durante os processos de modelagem. O Quadro 1 a seguir detalha a categorização proposta pelo grupo.

Quadro 1. Considerações epistêmicas nas epistemologias dos estudantes na prática

Consideração Epistêmica	Variedade de Considerações dos Alunos
Que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer? (Natureza)	Nosso produto de conhecimento deve descrever o que aconteceu em detalhes.
	Nosso produto de conhecimento deve explicar como ou por que algo aconteceu. Em outras palavras, deve articular um mecanismo passo a passo.
Como nosso produto de conhecimento se relaciona com outros fenômenos e ideias científicas? (Generalização)	Fenômenos científicos específicos não se relacionam entre si, portanto, nosso produto de conhecimento deve caracterizar a natureza específica de cada fenômeno individual.
	Ideias científicas generalizadas têm pouca relação com experiências ou fenômenos específicos, portanto, nosso produto de conhecimento não deve se conectar através dessas formas de pensamento.
	Nossos produtos de conhecimento são concebidos a partir da compreensão e explicação de uma gama de fenômenos, portanto, é essencial que nosso produto de conhecimento demonstre essas interconexões de forma clara e consistente
Como justificamos as	Incluímos as informações em nossos produtos de conhecimento que outros nos dizem para incluir (portanto, não precisa ser

ideias em nossos produtos de conhecimento? (Justificativa)	justificado).
	Construímos, avaliamos e justificamos nossos produtos de conhecimento usando nossa interpretação das informações disponíveis (por exemplo, dados, teorias científicas, experiências pessoais, etc.).
Quem usará nossos produtos de conhecimento e como? (Público)	Nosso produto de conhecimento é para o professor avaliar nosso aprendizado.
	Nós construímos e usamos colaborativamente nossos produtos de conhecimento com nosso público.

Fonte: BERLAND *et al*., 2016 p. 9 (traduções nossas)

A natureza do produto do conhecimento diz respeito ao tipo de resposta que ele deve fornecer. As autoras descrevem que os produtos de conhecimento científicos devem explicar como e por que algo aconteceu, articulando um mecanismo passo a passo. Isso significa que as ideias científicas visam mostrar como e por que os fenômenos ocorrem, seguindo uma narrativa de causa e efeito que explica as observações. As considerações epistêmicas relacionadas à natureza desafiam os alunos a refletir sobre como e por que os fenômenos ocorrem. Eles são incentivados a explorar e analisar a essência desses fenômenos, buscando conexões e relações com as teorias científicas estabelecidas. Ao compreender a natureza dos fenômenos, os alunos desenvolvem uma compreensão mais sólida e contextualizada do conhecimento científico, permitindo-lhes construir explicações mais fundamentadas e abrangentes.

A generalização refere-se à relação dos produtos de conhecimento com outros fenômenos e ideias científicas. É importante que os estudantes percebam como fenômenos e experiências específicas se conectam com conceitos científicos gerais. Nesse processo, os alunos são incentivados a identificar padrões e regularidades nas observações e experimentações, indo além da interpretação de fenômenos isolados. Ao compreenderem a generalidade dos conceitos, os estudantes ampliam sua capacidade de aplicar o conhecimento de forma flexível e adaptativa, o que favorece a resolução de problemas e a formulação de explicações científicas mais abrangentes.

A justificação das ideias em produtos de conhecimento envolve a interpretação das informações disponíveis, incluindo dados, teorias científicas e experiências pessoais. Nesse processo, os estudantes devem avaliar suas ideias para garantir que estejam alinhadas com essas interpretações, fornecendo também as informações subjacentes para

ajudar outros a entenderem por que suas ideias são consistentes com as observações. Os alunos são incentivados não apenas a apresentar suas conclusões, mas também a explicar o processo pelo qual chegaram a elas. Ao priorizar a justificação em suas práticas científicas, os estudantes desenvolvem habilidades de pensamento crítico e argumentação, aprimorando sua capacidade de construir e avaliar o conhecimento científico de maneira fundamentada e rigorosa.

O alvo ou público dos produtos de conhecimento aborda quem usará esses produtos e como. Os estudantes devem comparar suas ideias e considerar argumentos alternativos ao comunicar seus produtos de conhecimento, adaptando a linguagem e as representações de acordo com o público específico. Isso significa que o público contribui para o desenvolvimento desses produtos. Ao reconhecer a importância da público, os alunos desenvolvem habilidades de comunicação eficaz e empática, garantindo que seu trabalho seja compreendido e valorizado por diferentes públicos. Além disso, essa consciência promove a colaboração e a troca de ideias, enriquecendo o processo de construção do conhecimento científico.

1.4 Articulando Ensino Fundamentado em Modelagem e Epistemologias na Prática: fundamentos da pesquisa

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) estabelece, para o 9º ano do Ensino Fundamental, habilidades que envolvem a compreensão das transformações da matéria com base em modelos submicroscópicos, a comparação entre reagentes e produtos em reações químicas e a análise de modelos descritivos da estrutura da matéria, considerando sua evolução histórica (BRASIL, 2018). Esses objetivos pressupõem que os estudantes sejam capazes de articular representações conceituais, simbólicas e fenomenológicas para compreender fenômenos como as ligações químicas, cuja natureza é essencialmente abstrata.

Contudo, como já discutido, pesquisas nacionais e internacionais indicam que os alunos enfrentam grandes dificuldades ao lidar com conteúdos como estrutura atômica e ligação química (FERNANDES; CAMPOS, 2012; MENDONÇA; JUSTI, 2009;

FREITAS *et al*., 2022). Parte dessas dificuldades decorre da necessidade em transitar entre os diferentes níveis de representação da matéria: macroscópico, submicroscópico e simbólico (JOHNSTONE, 2000, *apud* PAZINATO, 2016). Para alguns autores, a associação desses três níveis está vinculada ao sentido de se apreender alguns conteúdos como a estrutura atômica e as ligações químicas por exemplo.

Nesse sentido, buscamos realizar uma pesquisa com alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, com foco no ensino de ligações químicas. Para orientar o planejamento das atividades didáticas, adotamos o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM), conforme proposto por Gilbert e Justi (2016), que permite aos alunos visualizar e compreender conceitos abstratos, como as ligações químicas, por meio da criação, manipulação e avaliação de modelos. Essa abordagem favorece a construção de significados a partir de representações múltiplas e do engajamento dos estudantes em práticas que se aproximam da dinâmica real da ciência.

Para analisar como os estudantes se engajam epistemicamente ao longo dessas atividades, esta pesquisa recorre ao referencial das Epistemologias na Prática (EIP), desenvolvido por Berland *et al.* (2016), como uma ferramenta analítica. Essa ferramenta possibilita investigar as ideias epistêmicas mobilizadas pelos alunos ao participar da modelagem — tais como os critérios utilizados para justificar escolhas, a natureza das explicações construídas e a percepção do público a quem se destinam seus modelos. Assim, a EIP não é tratada como um referencial teórico adicional ou uma abordagem metodológica justaposta ao EFM, mas sim como um instrumento que contribui para aprofundar a compreensão do engajamento dos estudantes no próprio processo de modelagem.

Essa compatibilidade entre os dois referenciais é central para esta pesquisa, pois permite articular o planejamento didático com uma análise mais sensível às decisões, justificativas e intenções dos alunos. Ao adotar atividades de modelagem colaborativa fundamentadas no EFM e analisá-las à luz das Epistemologias na Prática, busca-se promover uma aprendizagem ativa, investigativa e significativa, ao mesmo tempo em que se produzem dados que consideramos importantes sobre como os estudantes constroem e atribuem sentido ao conhecimento desenvolvido em sala de aula.

2- Desenho Metodológico da Pesquisa

2.1 Questão de Pesquisa

Mencionamos anteriormente que esta pesquisa teve como objetivo identificar as possíveis considerações epistêmicas na prática demonstradas por estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental durante atividades de modelagem relacionadas ao ensino de ligações químicas. A escolha dessa proposta baseou-se no nível de dificuldade e na necessidade de abstração para a compreensão dos conceitos envolvidos em ligações químicas. Optou-se por integrar os dois referenciais teóricos, considerando que a combinação dessas abordagens poderia enriquecer o processo de ensino, tornando-o mais dinâmico e significativo. Ao integrar as considerações epistêmicas na prática e o Ensino Fundamentado em Modelagem, compreendeu-se que os alunos poderiam desenvolver uma compreensão mais robusta e aplicável dos conceitos de ligações químicas e do próprio processo de construção desses conceitos.

Adotamos, como estratégia de ensino, o desenvolvimento de seis atividades de modelagem para o conteúdo de ligações químicas, baseadas no modelo proposto por Gilbert e Justi (2016). O objetivo foi identificar, durante essas atividades, as considerações epistêmicas empregadas pelos estudantes na prática de modelagem.

Acreditamos que a compreensão das motivações que levam os estudantes a tomar decisões pode contribuir para uma aprendizagem mais efetiva e pode ajudar a identificação e correção de eventuais equívocos relacionados à concepção dos modelos criados pelos estudantes. Ao observar e analisar essas atividades, esperamos obter uma perspectiva sobre como os alunos constroem e refinam seus modelos, como argumentam suas escolhas e como interagem com os conceitos científicos envolvidos.

Além disso, entendemos que esse processo pode favorecer o desenvolvimento de uma compreensão mais ampla sobre a epistemologia da Ciência, na medida em que os estudantes passam a refletir sobre como o conhecimento é construído, testado, comunicado e justificado. Ao envolver-se com práticas autênticas como a modelagem, os alunos não apenas aprendem conceitos, mas também entram em contato com aspectos fundamentais da produção do conhecimento científico, desenvolvendo uma visão mais sofisticada sobre a natureza da Ciência e suas formas de validação.

Pergunta de Pesquisa: Quais são as considerações epistêmicas demonstradas por estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro durante atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas?

2.2 Abordagem Metodológica

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, adotamos uma abordagem predominantemente qualitativa, pois acreditamos que a produção de conhecimento é influenciada pelo contexto em que é gerada. Segundo Godoy (1995), uma característica da pesquisa qualitativa é a ideia de que um fenômeno pode ser melhor compreendido no contexto em que ocorre e do qual faz parte, devendo ser analisado de forma integrada. A mesma autora destaca que, no campo, o pesquisador busca compreender o fenômeno a partir das perspectivas dos participantes, considerando as informações mais pertinentes.

Esta pesquisa se enquadrou nas categorias de pesquisa descritiva e exploratória, conforme defendido por Gil (2017). Para atingir seus objetivos, foi necessário descrever as características e dinâmicas do ensino e da aprendizagem de ligações químicas durante o processo de modelagem, explorando as percepções dos alunos sobre considerações epistêmicas — como natureza, justificação, público e generalidade — e como essas percepções influenciaram suas práticas de modelagem. Além disso, por meio das atividades de modelagem, das observações em sala de aula e das gravações de áudio realizadas durante tais práticas, buscou-se coletar dados que permitissem uma compreensão aprofundada das atitudes, crenças e justificativas dos alunos em relação às ligações químicas, bem como das adaptações realizadas para diferentes públicos.

Além de sua natureza descritiva, esta pesquisa também possui um componente exploratório. Para Gil (2017), pesquisas exploratórias têm como propósito proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito ou construindo hipóteses. Ao investigar como a integração de considerações epistêmicas pode enriquecer o processo de aprendizagem de ligações químicas, a pesquisa buscou proporcionar uma perspectiva diferente para o Ensino de Ciências, evidenciando o que sustenta a prática

dos estudantes em atividades de modelagem desenvolvidas em um contexto de sala de aula.

Para a obtenção dos dados, foi realizado um conjunto de seis atividades que envolveram desde a compreensão dos modelos até sua criação. Essas atividades proporcionaram informações que foram coletadas, categorizadas e analisadas à luz dos referenciais teóricos destacados anteriormente. Dentre os dados utilizados, destacaram-se: as informações escritas fornecidas pelos estudantes como resultado das atividades propostas; os áudios obtidos por meio de gravações durante a realização das atividades; as fotografias dos produtos de conhecimento produzidos pelos estudantes (modelos); e as informações obtidas por meio das observações da pesquisadora/professora da turma.

2.3 Contexto da pesquisa e seus participantes

A pesquisa foi realizada em uma escola pública de Educação Básica, localizada no interior do estado do Rio de Janeiro, com uma turma do 9º ano. A escolha dessa unidade justificou-se pelo fato de a pesquisadora lecionar nesse local, o que favoreceu o acompanhamento e o desenvolvimento da proposta desta pesquisa.

Como mencionado anteriormente, a partir do 9º ano do Ensino Fundamental, os estudantes começam a ter um contato mais explícito com a Química, o que, em um primeiro momento, é desafiador devido ao nível de abstração requerido para compreender essa disciplina. Portanto, diante dessa dificuldade, escolhemos o conceito de ligações químicas para relacionar os dois referenciais teóricos mencionados. Entendemos que a utilização, criação e reflexão sobre os modelos poderão contribuir para a compreensão desses conceitos.

Participaram da pesquisa aproximadamente 25 estudantes, com idades entre 14 e 15 anos. Essa turma foi escolhida por ser aquela na qual a pesquisadora atuava como professora e também em função do grau de dificuldade que os estudantes apresentavam em relação ao nível de abstração necessário para a compreensão do conteúdo sobre ligações químicas. Além disso, considerou-se que a faixa etária dos estudantes permitia determinado grau de maturidade e comprometimento para o desenvolvimento das atividades propostas.

Para viabilizar a proposta, os estudantes foram divididos em grupos de cinco integrantes. Eles foram identificados com a letra E (estudante), numerados de 1 a 25, enquanto os grupos foram identificados com a letra G e numerados de 1 a 5, conforme apresentado no quadro a seguir.

Quadro 2. Organização dos grupos e estudantes

Grupos	**Estudantes**
G1	E1, E2, E3, E4 e E5
G2	E6, E7, E8, E9 e E10
G3	E11, E12, E13, E14 e E15
G4	E16, E17, E18, E19 e E20
G5	E21, E22, E23, E24 e E25

Fonte: A autora.

Dentre os cinco grupos formados, apenas um teve seus dados analisados em profundidade nesta pesquisa. A escolha do grupo focal seguiu três critérios principais: (i) o preenchimento dos documentos de consentimento pelos alunos e seus responsáveis; (ii) o engajamento demonstrado nas atividades; e (iii) a frequência às aulas em que as atividades foram desenvolvidas. Com base nesses critérios, o Grupo 2 (G2) foi o que melhor os atendeu de maneira consistente, sendo, portanto, selecionado como foco da análise.

2.4 Aspectos éticos da pesquisa

Esta pesquisa foi orientada por princípios éticos, assegurando o respeito e a proteção aos participantes em todas as etapas. A responsabilidade ética esteve presente desde a definição da metodologia até a análise dos dados. Além disso, o projeto foi submetido à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP).

Confidencialidade: Para garantir a confidencialidade dos dados dos participantes, todas as informações coletadas foram anonimizadas. A codificação dos dados foi feita de maneira que impedisse a identificação dos alunos e suas respostas foram tratadas de forma

agregada para assegurar que suas identidades sejam protegidas. Apenas os pesquisadores diretamente envolvidos no estudo tiveram acesso aos dados brutos e foram instruídos sobre a importância de manter a confidencialidade.

Consentimento Informado: Os participantes e seus responsáveis foram devidamente informados sobre os objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa. Foi solicitado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) dos responsáveis pelos estudantes menores de idade e o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) aos próprios estudantes. É importante destacar que os participantes e/ou seus responsáveis foram informados que poderiam retirar o consentimento a qualquer momento durante a pesquisa, sem qualquer prejuízo para os alunos. Aqueles que decidiram não participar ou retirar seu consentimento participaram normalmente das atividades pedagógicas propostas, mas seus dados não foram analisados.

Documentação:

Para a realização desta pesquisa, foram necessários três documentos essenciais:

- Termo de Autorização Institucional (TAI): Solicitado à instituição de ensino onde a pesquisa será conduzida.
- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE): Destinado aos responsáveis dos estudantes menores de idade, autorizando a participação dos alunos na pesquisa.
- Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE): Destinado aos próprios estudantes, que deverão consentir com a participação na pesquisa, mesmo que seus responsáveis já tenham assinado o TCLE.

Um dos principais critérios utilizados para a inclusão dos participantes foi a assinatura do TCLE e do TALE. Estudantes e/ou responsáveis que se recusaram a assinar esses documentos não tiveram seus dados analisados nessa pesquisa.

2.5 Procedimentos de Coleta de Dados

Para obter uma compreensão abrangente e detalhada das possíveis influências das considerações epistêmicas na prática no ensino e aprendizagem de ligações químicas, utilizamos um conjunto de instrumentos de coleta de dados. Para obter uma compreensão mais detalhada das possíveis influências das considerações epistêmicas na prática no ensino e aprendizagem de ligações químicas, utilizamos um conjunto de instrumentos de coleta de dados, incluindo observações de aula, gravações de áudio, roteiros de atividades de modelagem e os modelos produzidos pelos estudantes. Estes instrumentos foram escolhidos para capturar tanto a profundidade das experiências e percepções dos alunos quanto a amplitude dos efeitos dessas considerações epistêmicas sobre a epistemologia dos modelos.

As atividades foram desenvolvidas ao longo de 4 semanas, durante os meses de outubro e novembro. As aulas ocorriam em dias consecutivos da semana, sendo compostas por dois tempos de 50 minutos cada, totalizando quatro tempos semanais dedicados à disciplina (Ciências).

As observações em sala de aula foram realizadas com o objetivo de acompanhar como os alunos mobilizavam considerações epistêmicas durante as atividades de modelagem. Dado que a pesquisadora atuava também como professora da turma, assumiu-se uma postura de professora-pesquisadora, mediando o processo de construção do conhecimento por meio de questionamentos, estímulos à argumentação e apoio à organização das ideias dos estudantes.

Durante as aulas, a ênfase esteve em fomentar a participação ativa dos alunos e criar um ambiente propício à aprendizagem significativa. Os registros sistemáticos foram possíveis por meio de gravações de áudio e coleta dos produtos elaborados pelos grupos. Esses procedimentos permitiram, posteriormente, uma análise das interações e das manifestações epistêmicas nas respostas escritas e nos modelos produzidos pelos alunos.

Os roteiros de atividades de modelagem foram desenvolvidos para guiar os alunos através do processo de modelagem. Esses roteiros detalhavam as etapas que os alunos deveriam seguir, incluindo a formulação de hipóteses, a escolha de métodos de representação, a justificativa das escolhas feitas e a adaptação das explicações para diferentes públicos. Os roteiros foram pensados para serem como um guia estruturado criado com a intenção de instruir e provocar a autonomia dos estudantes.

Os estudantes foram dispostos em grupos de cinco alunos, totalizando, dessa maneira, cinco grupos. Os roteiros foram distribuídos aos grupos e a gravação das atividades iniciadas. Destacamos que todas as aulas destinadas a essa pesquisa foram gravadas em áudio, conforme esclarecido no TCLE enviado aos responsáveis dos estudantes.

Embora todos os estudantes tenham participado das atividades propostas, apenas um grupo teve seus dados analisados nesta pesquisa, considerando que era o único grupo cujos membros estavam com todos os termos de consentimento devidamente assinados pelos responsáveis e pelos próprios alunos. Essa condição foi determinante para garantir o cumprimento dos aspectos éticos da pesquisa. Embora houvesse outros grupos com níveis de participação igualmente altos ou até superiores, a seleção do grupo G2 não se baseou em critérios relacionados ao desempenho, mas sim na disponibilidade completa da documentação ética exigida.

As gravações de áudio foram realizadas durante toda a implementação da sequência didática, abrangendo 16 encontros, cada um com duração média de 50 minutos. Participaram das atividades cinco grupos, cujas interações foram integralmente registradas por meio de gravações de áudio. As captações foram feitas com o uso de um gravador de qualidade intermediária, posicionado sobre as mesas dos grupos. Embora o equipamento tenha captado uma quantidade significativa de ruídos característicos do ambiente escolar — como conversas paralelas, movimentações e sons externos —, a qualidade foi considerada suficiente para possibilitar a escuta, a transcrição e a análise das interações verbais dos alunos.

No total, foram coletadas aproximadamente 13 horas e 20 minutos de áudio, por grupo, além dos modelos produzidos pelos grupos, registros fotográficos desses modelos e respostas escritas às atividades. Contudo, para a análise detalhada, foram utilizados exclusivamente os dados produzidos pelo grupo G2, conforme os critérios previamente estabelecidos e apresentados na seção anterior.

Essa escolha metodológica visa à realização de uma análise qualitativa em profundidade, alinhada aos objetivos da pesquisa, que prioriza a compreensão dos processos de construção do conhecimento e das manifestações epistêmicas no contexto das atividades de modelagem. A seleção de um grupo não compromete o rigor da investigação, uma vez que, em estudos qualitativos, a busca não é pela generalização

estatística, mas pela compreensão detalhada de fenômenos específicos. Nesse sentido, a densidade e a complexidade das interações analisadas no grupo G2 forneceram subsídios suficientes para atender aos objetivos da pesquisa. Os dados dos demais grupos, embora não tenham sido analisados no escopo desta dissertação, permanecem disponíveis para análises futuras que possam ampliar as discussões aqui iniciadas.

A análise realizada neste trabalho concentrou-se prioritariamente nos roteiros escritos pelos estudantes, os quais registraram suas respostas às questões propostas ao longo das atividades de modelagem. Além disso, os modelos construídos também foram analisados com o intuito de interpretar como os alunos representaram os conceitos abordados e quais decisões tomaram ao expressar suas ideias. Nesse processo, as gravações de áudio foram utilizadas de forma pontual, funcionando como recurso complementar para esclarecer respostas que se mostraram excessivamente breves, ambíguas ou difíceis de interpretar isoladamente. Dessa forma, os registros sonoros auxiliaram na reconstrução das intenções dos estudantes, na compreensão de seus argumentos e no enriquecimento da análise dos dados.

2.6 - Descrição das Atividades

Esta seção detalha as atividades de modelagem que foram desenvolvidas com o intuito de identificar as possíveis considerações epistêmicas na prática dos estudantes. As atividades foram planejadas para guiar os alunos desde a compreensão inicial dos conceitos de modelos até a criação e o teste de modelos que expliquem fenômenos químicos complexos, como a formação de íons e suas interações. Destacamos que todas as atividades estão presentes no Apêndice 1 desse trabalho e foram desenvolvidas em grupos compostos por cinco alunos.

As atividades propostas nessa pesquisa, com exceção da atividade 2, foram inspiradas no trabalho de Mendonça (2008), cujo o objetivo era investigar a utilização de atividades de modelagem no processo de ensino e aprendizagem de ligação química, tendo como foco principal o ensino de ligação iônica. Optamos por esse trabalho porque a proposta de modelagem adotada foi a desenvolvida por Gilbert e Justi (2016) – Ensino Fundamentado em Modelagem.

Mendonça (2008) propôs um quadro relacionando atividades de ensino com o diagrama de modelagem sugerido por Gilbert e Justi (2016). Inspirados por esse trabalho, construímos um quadro semelhante (Quadro 3), acrescentando as possíveis considerações epistêmicas na prática que os estudantes podem apresentar durante as atividades descritas neste estudo

Quadro 3. Relação das atividades com o diagrama de modelagem

Atividade	**Nº da atividade**	**Página da Atividade**	**Objetivo da Atividade**	**Ensino Fundamentado em Modelagem**	**Epistemologia na Prática (previstas)**
O que são os modelos? 2 aulas (50min/aula)	**1**	100-105	Discutir importantes aspectos dos modelos quanto a sua natureza, objetivo, limitações, previsibilidade e finalidade.	Experiência com o universo dos modelos.	Natureza Justificação
Significado de Modelagem 2 aulas (50min/aula)	**2**	106	Propor e modelar um artefato que, utilizando evidências sensoriais e conceituais, represente por que o cheiro do café é mais intenso quando está quente do que quando está frio.	Experiências com o universo da modelagem, incluindo suas etapas – criação, expressão, teste e avaliação.	Natureza Justificação Público Generalidade
Criação de modelo para a formação de íons 4 aulas (50min/aula)	**3**	107-108	Modelar um artefato para formação dos íons sódio e cloreto.	Estabelecer objetivos e desenvolver um modelo mental com base no conhecimento e na integração de ideias prévias.	Natureza Justificação Generalidade Público
Interação entre íons 2 aulas (50min/aula)	**4**	109-110	Propor um modelo no nível submicroscópico para representar o	Formular e expressar modelos mentais.	Natureza Justificação Generalidade

			sistema do sal de cozinha dissolvido em água, observando suas manifestações em nível macroscópico.		
			Propor um modelo submicroscópico para representar o sistema após a evaporação da água, refletindo as mudanças observadas no nível macroscópico.		
Teste do Modelo para o cloreto de sódio 4 aulas (50min/aula)	**5**	111-112	Reconhecer que o modelo construído na atividade anterior deve explicar os dados empíricos, como a elevada temperatura de fusão do NaCl.	Etapa de teste dos modelos.	Natureza Justificação Generalidade Público
Análise e Reflexão sobre os modelos criados. 2 aulas (50min/aula)	**6**	113-114	Avaliar os modelos criados a fim de evidenciar as possíveis considerações epistêmicas que possam ter sido utilizadas.	Avaliação dos modelos	Natureza Justificação Generalidade Público

Fonte: A autora.

A primeira atividade não se refere diretamente à prática de modelagem, mas sim à utilização de modelos. O principal objetivo aqui é entender a concepção que os estudantes possuem sobre a natureza dos modelos. Para isso, utilizaremos uma atividade adaptada da proposta descrita na dissertação de Mendonça (2008) detalhada no Apêndice

desse trabalho. Nesta atividade, os estudantes foram apresentados a um conjunto de 7 imagens e classificaram-nas como modelos ou não, justificando suas escolhas.

Na Atividade 2, os estudantes foram convidados a elaborar modelos que explicassem por que o cheiro do café é mais perceptível quando quente. Após a produção dos modelos, a turma participou de um experimento sensorial simples, no qual compararam o cheiro de duas canecas com café — uma quente e outra fria — com o objetivo de testar empiricamente as explicações construídas. Em seguida, os grupos apresentaram seus modelos e discutiram coletivamente as semelhanças e diferenças entre as propostas, identificando pontos fortes e limitações em relação à clareza e coerência das representações. Esse momento promoveu a comparação entre diferentes modelos e favoreceu a reflexão sobre as escolhas representacionais, caracterizando uma etapa inicial de avaliação coletiva.

Antes da realização das atividades de modelagem (atividades 3 a 6), foi conduzida uma aula introdutória com o objetivo de revisar e sistematizar conceitos fundamentais sobre ligações químicas previamente trabalhados em sala de aula, tais como eletronegatividade, tipos de ligação, modelo do octeto e interações entre íons. A proposta dessa aula não era introduzir conteúdos inéditos, mas sim oferecer um ponto de partida comum e relembrar os principais conceitos que os estudantes deveriam mobilizar ao longo das atividades, favorecendo a elaboração e a reformulação dos modelos durante as atividades.

A terceira atividade desafiou os estudantes a criar modelos explicativos sobre a formação de íons, com foco no cloreto de sódio (NaCl). Embora o roteiro inicialmente previsse a possibilidade de abordar outros compostos, como o ácido clorídrico (HCl) e o hidróxido de sódio (NaOH), optou-se por delimitar a atividade ao sistema do NaCl, considerando o tempo disponível o desenvolvimento das atividades e o nível de complexidade envolvido. Os alunos receberam um roteiro para orientar o desenvolvimento dos modelos e foram estimulados a registrar as considerações epistêmicas emergentes ao longo do processo. Os dados foram coletados por meio das respostas escritas e das gravações realizadas durante a atividade. Também tiveram acesso a uma tabela com os valores da primeira energia de ionização dos 20 primeiros elementos químicos, com a expectativa de que utilizassem essas informações na construção de seus modelos.

A quarta atividade consistiu na construção de modelos para representar a interação entre os íons Na^+ e Cl^- em soluções aquosas e durante a evaporação da água, utilizando materiais como bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, lápis de cor e folhas brancas. A atividade favoreceu discussões sobre a natureza das interações iônicas e sua relação com a formação de substâncias. Inicialmente, os alunos expressaram seus modelos mentais para um sistema envolvendo moléculas de água, íons Na^+ e Cl^-. Em seguida, representaram esse mesmo sistema após a evaporação da água, com liberdade na forma de representação.

Na quinta atividade, os estudantes testaram a capacidade explicativa de seus modelos em relação às propriedades físicas de substâncias como temperatura de fusão (TF) e de ebulição (TE), comparando os valores para o NaCl e a H_2O. Quando os modelos não explicavam adequadamente as propriedades analisadas, os estudantes foram incentivados a reformulá-los com base em novas reflexões.

Na sexta e última atividade, os estudantes realizaram uma análise crítica e reflexiva sobre os modelos construídos ao longo da sequência. Revisaram e discutiram as principais características das representações elaboradas, considerando sua evolução. Foram também incentivados a refletir sobre a aplicabilidade dos modelos em outros contextos, a natureza dos fenômenos estudados, as evidências utilizadas e possíveis adaptações para diferentes públicos

2.7 Procedimentos e análise de dados

Para organizar e interpretar os dados, utilizou-se a metodologia de análise de conteúdo. A escolha se justifica pelo caráter interpretativo e exploratório da investigação, que visa compreender como os estudantes constroem e expressam raciocínios durante práticas de modelagem. Tal abordagem possibilita captar tanto os significados explícitos quanto os implícitos nas produções dos alunos, respeitando a complexidade das interações em sala de aula.

Conforme Moraes (1999), essa metodologia é apropriada para descrever e interpretar conteúdos diversos, possibilitando a construção de significados que ultrapassam a leitura superficial. Tendo em vista o objetivo de analisar as considerações

epistêmicas mobilizadas pelos estudantes durante o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM), essa abordagem revelou-se adequada, pois permite a análise de elementos tanto da comunicação verbal — como as falas dos estudantes e da professora/pesquisadora — quanto não verbal — como os modelos, as respostas escritas e as anotações de observação. Os dados foram produzidos a partir das atividades de modelagem realizadas com os estudantes. A análise desses dados foi conduzida a partir de uma abordagem qualitativa, considerando o contexto de realização das atividades, os sujeitos envolvidos e suas justificativas.

É importante destacar que consideramos as respostas escritas nos roteiros também como produtos de conhecimento. Compreendemos que tais respostas representam manifestações por meio das quais os estudantes externalizam ideias, conceitos e justificativas construídas no contexto das atividades de modelagem. Assim, entendemos que os roteiros não apenas orientaram o processo de aprendizagem, mas também funcionaram como espaços de registro e expressão do raciocínio dos alunos. Ao responderem às questões propostas, os estudantes produziram representações escritas que materializam seu entendimento em desenvolvimento, configurando-se, portanto, como produtos significativos do processo de construção do conhecimento.

Com o grupo definido e a leitura dos roteiros, iniciou-se o processo de unitarização dos dados, a partir dos roteiros preenchidos pelos estudantes. A unitarização consistiu na segmentação dos textos em unidades de análise, com base na identificação de trechos que contivessem indícios de considerações epistêmicas. Quando uma única resposta apresentava múltiplas ideias epistêmicas, ela era dividida em mais de uma unidade de análise, respeitando os limites semânticos e conceituais de cada fragmento.

O mesmo procedimento foi adotado com os modelos construídos durante as atividades. A análise desses modelos buscou identificar elementos que refletissem decisões, representações ou justificativas com potencial que pudessem ser posteriormente categorizadas.

A definição das unidades de análise nesse trabalho seguiu critérios baseados na identificação de indícios de mobilização epistêmica nas respostas dos estudantes. Para orientar essa identificação, utilizamos quatro dimensões epistêmicas, baseadas em perguntas norteadoras presentes na estrutura proposta por Berland *et al*. (2016):

- **Natureza**: que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer?
- **Generalidade**: como nosso produto de conhecimento se relaciona com outros fenômenos e ideias científicas?
- **Justificativa**: como justificamos as ideias em nossos produtos de conhecimento?
- **Público**: quem usará nossos produtos de conhecimento e como?

A partir dessas diretrizes segmentamos os textos e produções dos estudantes em unidades mínimas de sentido que expressassem uma manifestação epistêmica reconhecível.

A Figura 2 apresentada a seguir representa o procedimento realizado até a definição das unidades de análise. O processo de escolha foi conduzido em diferentes etapas. Inicialmente, realizamos a leitura dos roteiros produzidos pelos estudantes. Quando identificávamos um trecho com indícios de mobilização de considerações epistêmicas, ele era destacado para análise. Em seguida, buscávamos reconhecer a qual das quatro perguntas norteadoras o trecho selecionado poderia estar relacionado. A partir dessa associação, era possível identificar a dimensão epistêmica mobilizada e, então, definir se o trecho seria constituído como unidade de análise. A unitarização ocorreu por considerando a identificação de informações semanticamente relevantes, ou seja, trechos da fala ou da escrita que apresentavam um sentido completo relacionado ao conteúdo conceitual ou epistêmico em análise. Buscamos preservar unidades discursivas que expressassem uma ideia central, evitando fragmentações que comprometessem o significado. Esse critério semântico levou em conta tanto a coerência interna da unidade quanto sua contribuição para a compreensão das considerações epistêmicas mobilizadas pelos estudantes

. Inicialmente, cada resposta textual foi tratada como uma unidade de análise, assim como cada modelo construído visualmente também foi considerado como uma unidade. A análise dessas produções, portanto, envolveu tanto elementos escritos quanto imagéticos, desde que expressassem sentidos articulados a alguma das dimensões epistêmicas mencionadas.

.

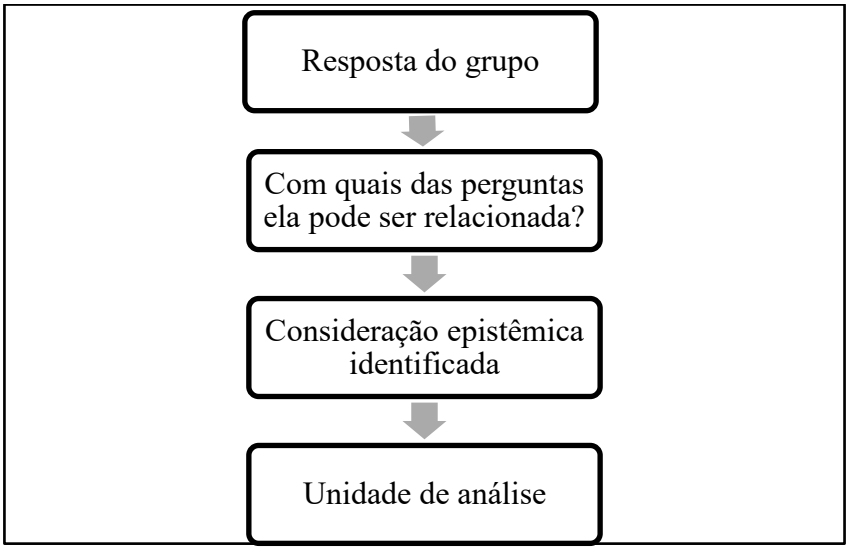


Figura 2. Esquema que demonstra a unitarização dos dados.
Fonte: a autora.

Com o objetivo de tornar mais claro o processo de unitarização adotado, apresentamos a seguir o Quadro 4 com exemplos extraídos dos dados coletados. Cada exemplo inclui a resposta original do grupo, as perguntas que direcionariam a consideração epistêmica que seria identificada, a dimensão epistêmica identificada e a unidade de análise delimitada.

Quadro 4. – Exemplificação da unitarização dos dados textuais

Texto original do grupo	**Perguntas que direcionam a consideração epistêmica alocada**	**Dimensão epistêmica identificada**	**Unidade de Análise**
"Porque eles são elementos que fazem parte do sal. A fusão do Na e Cl forma uma formação estável, pois Na tem apenas 1 elétron e o Cl tem 7 elétrons. Assim, o Cl quer receber um elétron do Na, provocando sua estabilidade".	Que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer? (Natureza) Como nosso produto de conhecimento se relaciona com outros fenômenos e ideias científicas? (Generalidade)	Natureza	A fusão do Na e Cl forma uma formação estável, pois Na tem apenas 1 elétron e o Cl tem 7 elétrons. Assim, o Cl quer receber um elétron do Na, provocando sua estabilidade.
"Setas para indicar esse ganho e essa perda de elétrons, lápis de cor mostrando	Como justificamos as ideias em nossos produtos de conhecimento?	Justificativa	Setas para indicar esse ganho e essa perda de elétrons, lápis de cor mostrando como Na^+ se

como Na^+ se tornou positivo e como o Cl^- se tornou negativo. Desenhemos esses átomos juntos, porque eles estariam interagindo para que ocorresse a transferência de elétrons”,	(Justificativa) Quem usará nossos produtos de conhecimento e como? (Público)		tornou positivo e como o Cl^- se tornou negativo.
“Comparando com um jogo de Lego. A gente diria que é como se fossem duas peças que se encaixam: uma perde e a outra pega um pedacinho (elétron)”.		Público	A gente diria que é como se fossem duas peças que se encaixam: uma perde e a outra pega um pedacinho (elétron).

Fonte: a autora.

A primeira linha do quadro apresenta uma explicação sobre a formação de íons, na qual os estudantes associam a estrutura eletrônica dos átomos de sódio e cloro à busca por estabilidade. A pergunta “Que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer?” mostra-se a mais adequada para orientar a interpretação dessa produção, pois permite reconhecer a tentativa de explicar o fenômeno. Dessa forma, essa associação direciona a identificação da consideração epistêmica relacionada à Natureza. O trecho foi, portanto, unitarizado e selecionado como unidade de análise.

Na segunda linha, os estudantes descrevem elementos visuais do modelo, como setas e o uso de lápis de cor, para representar a transferência de elétrons e a formação de cargas. A pergunta que guia a unitarização neste caso é “Como justificamos as ideias em nossos produtos de conhecimento?”, o que aponta para a dimensão da Justificativa. A produção apresenta uma preocupação em representar e comunicar visualmente o fenômeno, justificando sua seleção como unidade de análise.

Na terceira linha do quadro, os estudantes recorrem a uma analogia – “como se fossem duas peças que se encaixam” – para representar o processo de transferência de elétrons. Essa produção é associada à pergunta “Quem usará nossos produtos de conhecimento e como?”, o que permite identificar a mobilização da consideração

epistêmica do *Público*. A escolha da analogia indica uma tentativa dos alunos de tornar sua explicação mais clara e acessível, favorecendo a comunicação do modelo construído. Por essa razão, o trecho foi unitarizado e selecionado como unidade de análise.

Na delimitação dos trechos selecionados, buscou-se respeitar a unidade semântica das expressões fornecidas pelos grupos, de modo a preservar a totalidade do raciocínio apresentado pelos estudantes e evitar fragmentações que comprometessem o sentido das respostas. A divisão de uma mesma produção em mais de uma unidade de análise foi realizada apenas quando diferentes ideias epistêmicas, claramente distintas, estavam presentes em um mesmo trecho, sempre respeitando os limites conceituais e discursivos de cada manifestação.

Adicionalmente, é importante ressaltar que nem todas as questões respondidas nos roteiros foram categorizadas. Algumas respostas foram desconsideradas por apresentarem trechos excessivamente breves, ambíguos ou semanticamente imprecisos, o que impossibilitou a identificação de manifestações epistêmicas claras e consistentes.

No caso dos registros orais, utilizados em momentos pontuais, a unitarização seguiu os mesmos critérios e procedimentos aplicados às respostas escritas. Quando as falas dos estudantes eram sucintas e apresentavam uma manifestação epistêmica clara, foram mantidas integralmente como unidades de análise. Nos casos em que um mesmo trecho continha múltiplas ideias distintas, as segmentamos, respeitando os limites discursivos. Essa estratégia teve como objetivo preservar a coerência entre os diferentes tipos de dados e garantir que cada unidade refletisse uma manifestação epistêmica específica e interpretável. Os áudios foram transcritos manualmente apenas quando necessário. Nesses casos, a gravação foi ouvida na íntegra para que fosse possível delimitar os trechos relevantes à análise. As transcrições foram utilizadas nas seguintes atividades: Atividade 3 (Questão 7) e Atividade 4 (Questões 1 e 2). Nessas situações, os registros orais foram empregados com o objetivo de aprofundar a interpretação das respostas escritas ou de captar as explicações orais fornecidas pelos estudantes acerca dos modelos construídos.

A seguir, apresentamos um quadro com trechos de falas dos estudantes extraídas das gravações de áudio. Para cada trecho, identificamos uma unidade mínima de análise que expressa uma manifestação epistêmica reconhecível, a qual foi associada a uma das dimensões propostas por Berland *et al.* (2016). Também inserimos, para cada dimensão,

a pergunta norteadora correspondente, a fim de explicitar a lógica utilizada na identificação dessas manifestações.

Quadro 5. Exemplificação da unitarização das falas do grupo

Transcrição da fala do grupo	**Perguntas que direcionam a consideração epistêmica alocada**	**Dimensão epistêmica**	**Unidade de Análise**
"Vamos lá, tia. Vou tentar explicar como pensamos na hora. A primeira bolinha seria a ligação iônica, vendo de fora. A bolinha vermelha seria o sódio e a azul seria o cloro".	Que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer? (Natureza) Como nosso produto de conhecimento se relaciona com outros fenômenos e ideias científicas? (Generalidade) Como justificamos as ideias em nossos produtos de conhecimento? (Justificativa) Quem usará nossos produtos de conhecimento e como? (Público)	Natureza	A primeira bolinha seria a ligação iônica, vendo de fora. A bolinha vermelha seria o sódio e a azul seria o cloro.
"A gente errou muito na hora de fazer os átomos. Eles possuem números atômicos diferentes. Então, erramos na quantidade de prótons que colocamos no núcleo".		Justificativa	Eles possuem números atômicos diferentes. Então, erramos na quantidade de prótons que colocamos no núcleo.

Fonte: a autora.

Considerando o Quadro 5, podemos observar na primeira linha que o grupo busca explicar a função de uma representação visual construída ("a primeira bolinha seria a ligação iônica"), relacionando-a aos elementos envolvidos no processo. Essa tentativa de descrever e interpretar um fenômeno natural com base na representação do modelo remete à pergunta "Que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer?", vinculada à consideração epistêmica da *Natureza*. A explicação é, portanto, interpretada como uma tentativa de produzir sentido sobre um processo químico, e o trecho foi unitarizado e selecionado como unidade de análise.

Na segunda linha do quadro, os estudantes discutem diferenças entre os átomos representados, apontando a variação no número de prótons e relacionando essa diferença à construção do modelo. A fala está mais fortemente associada à pergunta “Como justificamos as ideias em nossos produtos de conhecimento?”, que orienta a identificação da consideração epistêmica da Justificativa. Nesse caso, os estudantes buscam fundamentar a representação elaborada a partir de dados internos ao próprio sistema atômico, utilizando o número de prótons como critério de diferenciação e organização no modelo, o que justifica sua seleção como unidade de análise.

Assim como destacado anteriormente no procedimento de unitarização, essas seleções buscaram respeitar os limites semânticos e discursivos das falas, preservando a coerência argumentativa dos estudantes e garantindo que cada unidade correspondesse a uma manifestação epistêmica específica e interpretável. A presença desses registros orais reforça o caráter multimodal da análise realizada, ampliando a compreensão do engajamento epistêmico dos alunos durante o processo de modelagem.

Aplicamos a codificação aos três tipos de dados mencionados anteriormente: respostas escritas, modelos visuais produzidos pelos estudantes e falas orais transcritas a partir das gravações realizadas durante as atividades. A codificação dos dados, como sugerem Gil (2017) e Bardin (2011), corresponde à etapa em que as informações brutas são transformadas em unidades interpretáveis, permitindo a categorização e comparação sistemática de significados. Segundo Gil (2017), esse processo possibilita atribuir sentido aos dados dentro de um percurso analítico, enquanto Bardin (2011) aponta que a codificação se dá por meio de recortes, agregações ou enumerações que tornam possível representar de forma pertinente o conteúdo analisado.

A codificação foi conduzida manualmente, com organização em planilhas, nas quais foram anotadas observações e decisões tomadas ao longo do processo. Cada unidade de análise foi identificada com um sistema padronizado, conforme o seguinte modelo:

- **A**X: identifica a atividade a que o dado se refere, sendo "X" o número da atividade (ex.: *A3* = Atividade 3);
- **Q**X: indica o número da questão dentro da atividade (ex.: *Q1* = Questão 1);

- **G**X: refere-se ao grupo de estudantes responsável pela produção (ex.: *G2* = Grupo 2);
- **F-E**X: utilizado para os registros orais, em que *F* representa a fala e *E* indica o estudante correspondente (ex.: *F-E7* = fala do Estudante 7);
- **M**: refere-se à análise do modelo construído pelo grupo (ex.: *A4Q2G1M* = modelo produzido pelo Grupo 1 na Questão 2 da Atividade 4).
- **.1, .2, .3...**: utilizado para indicar a fragmentação de uma única resposta em diferentes unidades de análise, quando esta apresenta múltiplas manifestações epistêmicas distintas.

Assim, o código A3Q1G2F-E7.1 refere-se à fala do Estudante 7 do Grupo 2, registrada na Questão 1 da Atividade 3. Já o código A5Q2G2 identifica a resposta escrita do Grupo 2 à Questão 2 da Atividade 5. Enquanto a A3Q8M identifica o modelo criado pelo grupo. O Quadro 6 apresenta outros exemplos que foram codificados para esse trabalho.

Quadro 6. Exemplos do processo de codificação

Tipo de dado codificado	Codificação
Trecho do roteiro	A3Q3G2: "A fusão do Na e Cl forma uma formação estável, pois Na tem apenas 1 elétron e o Cl tem 7 elétrons. Assim, o Cl quer receber um elétron do Na, provocando sua estabilidade".
Fala transcrita	A3Q7G2F-E7.1: "A primeira bolinha seria a ligação iônica, vendo de fora. A bolinha vermelha seria o sódio e a azul seria o cloro".
Modelo	A3Q8M: 

Fonte: a autora

Após a etapa de codificação dos dados, deu-se início ao processo de categorização. As categorias foram elaboradas com base nas considerações epistêmicas definidas por Berland *et al.* (2016), que abrangem as dimensões de Natureza, Generalidade, Justificação e Público. Para cada uma dessas dimensões, foram formuladas categorias específicas que expressam diferentes formas pelas quais os estudantes poderiam mobilizar tais considerações em suas justificativas.

A definição da dimensão epistêmica atribuída a cada unidade de análise considerou o tipo de concepção mobilizada pelos estudantes em relação ao papel explicativo do modelo ou da resposta construída. Unidades classificadas na dimensão Natureza, por exemplo, apresentavam manifestações voltadas à explicação, descrição ou previsão de um fenômeno, indicando uma expectativa sobre o tipo de resposta que o modelo deveria oferecer. Por sua vez, unidades vinculadas à Justificação expressavam tentativas de sustentar ideias por meio de evidências, raciocínios ou referências à autoridade, demonstrando uma preocupação com a validade do conhecimento produzido. O Quadro 7 apresenta as categorias atribuídas e suas respectivas descrições.

Quadro 7. Categorias para análise

Consideração Epistêmica	**Categorias**	**Descrição da categoria**
Que tipo de resposta nosso produto de conhecimento deve fornecer? (Natureza)	**Descrição do fenômeno**	O produto de conhecimento descreve o que acontece no fenômeno, sem explicitar causas, relações ou mecanismos. É uma descrição direta de eventos observáveis.
	Explicação do fenômeno	O produto de conhecimento busca explicar como e por que o fenômeno ocorre, articulando conceitos, relações causais, mecanismos ou sequências de eventos.
	Previsão do fenômeno	O produto de conhecimento é construído para projetar o que pode acontecer em situações novas ou diferentes, permitindo a verificação da validade dos modelos por meio da comparação entre as previsões e os resultados observados posteriormente.
Como nosso produto de conhecimento se relaciona com outros fenômenos e ideias científicas? (Generalização)	**Características Específicas**	A ideia é que cada fenômeno é único e deve ser descrito e analisado em sua própria especificidade.
	Conecta-se a características gerais	O produto de conhecimento estabelece relações com princípios, padrões ou leis gerais da ciência, permitindo generalizações para além do fenômeno específico.

	Articulação entre diferentes conceitos ou contextos	O produto de conhecimento é usado para interpretar, explicar ou prever outros fenômenos, além daquele estudado, demonstrando transferência e aplicabilidade em diferentes situações.
Como justificamos as ideias em nossos produtos de conhecimento? (Justificativa)	**Autoridade externa**	As justificativas são baseadas em fontes externas, como a fala da professora, livros didáticos ou regras previamente aprendidas, sem elaboração própria do grupo.
	Interpretação do grupo sobre o fenômeno	As justificativas são construídas com base no raciocínio, nas evidências e nas interpretações do próprio grupo, indicando análise, avaliação e tomada de decisão coletiva sobre o modelo ou explicação.
Quem usará nossos produtos de conhecimento e como? (Público)	**Autoridade (Professor)**	O produto de conhecimento é direcionado para avaliação do professor.
	Uso colaborativo	O produto de conhecimento é construído e usado pelo e para o grupo ou para terceiros.

Fonte: Os autores.

A seguir, descrevemos as categorias de cada dimensão epistêmica, conforme sistematizado no Quadro 7. Essas categorias permitiram identificar com maior precisão as formas pelas quais os estudantes mobilizaram diferentes tipos de considerações epistêmicas ao longo das atividades de modelagem.

- **Natureza**: incluiu três categorias:
  - Descrição do fenômeno: quando os estudantes apenas relatavam o que ocorre no fenômeno, sem recorrer a explicações, mecanismos ou justificativas conceituais.
  - Explicação do fenômeno: quando os estudantes buscam esclarecer como e por que o fenômeno ocorre, articulando relações causais, mecanismos e conceitos científicos.
  - Previsão do fenômeno: quando antecipavam um resultado com base em expectativas ou hipóteses, ainda que sem necessariamente justificá-lo com teorias.

- **Generalidade**: foi subdividida em três categorias:
  - Características Específicas**:** quando os estudantes reconheciam que o fenômeno analisado possui particularidades próprias e, por isso, deveria ser descrito e

compreendido em sua singularidade, sem tentativa de generalização para outros contextos;

- Conecta-se a características gerais: quando o conhecimento é relacionado a leis, princípios ou padrões gerais, buscando generalizações válidas para além do fenômeno estudado.
- Aplica em novos contextos: quando os estudantes utilizam o conhecimento construído para analisar, explicar ou prever fenômenos distintos, demonstrando transferência e aplicabilidade do modelo ou da explicação.

- **Justificação**: contemplou duas categorias:
  - Interpretação do grupo sobre o fenômeno: quando as justificativas eram construídas com base em raciocínios dos próprios estudantes, a partir do raciocínio, das evidências e das negociações dentro do próprio grupo, utilizando evidências, após a revisão dos modelos ou com a utilização de dados disponibilizados para fundamentar as decisões;
  - Autoridade externa: quando as justificativas se baseiam em fontes externas, como a professora ou materiais didáticos, sem elaboração argumentativa própria.

- **Público**: também subdividida em duas categorias:
  - **Autoridade (professor)**: quando os estudantes elaboram seus modelos ou explicações com foco na validação, avaliação ou aprovação por parte do professor.
  - **Uso colaborativo**: quando o modelo ou explicação é construído com a intenção de ser compartilhado e compreendido por colegas, grupos ou outros interlocutores, demonstrando preocupação com a função comunicativa do conhecimento em contextos coletivos.

Após a definição das unidades de análise, passamos à etapa de categorização, buscando identificar a qual categoria cada unidade poderia ser alocada. Para isso, utilizamos como parâmetro as descrições apresentadas anteriormente. Assim, quando uma unidade manifestava a consideração epistêmica da Natureza, ela podia ser classificada em uma das três categorias correspondentes: descrição do fenômeno, explicação do fenômeno ou previsão do fenômeno. Caso a unidade fosse relacionada à

consideração epistêmica da Generalidade, a categorização podia ocorrer em uma das seguintes possibilidades: características específicas, conecta-se a características gerais ou articulação entre diferentes conceitos. Se a dimensão mobilizada fosse a Justificação, a unidade poderia ser classificada como: interpretação do grupo sobre o fenômeno ou autoridade externa. Por fim, unidades que evidenciavam a consideração epistêmica do Público eram categorizadas como autoridade (Professor) ou uso colaborativo.

Com o objetivo de ilustrar esse processo, apresentamos a seguir a categorização da unidade de análise A3Q3G2: "A fusão do Na e Cl forma uma formação estável, pois Na tem apenas 1 elétron e o Cl tem 7 elétrons. Assim, o Cl quer receber um elétron do Na, provocando sua estabilidade". Conforme discutido anteriormente, essa unidade mobiliza a consideração epistêmica da Natureza. Dessa forma, de acordo com a Figura 3, observa-se que ela pode ser classificada em uma das três categorias vinculadas a essa dimensão.

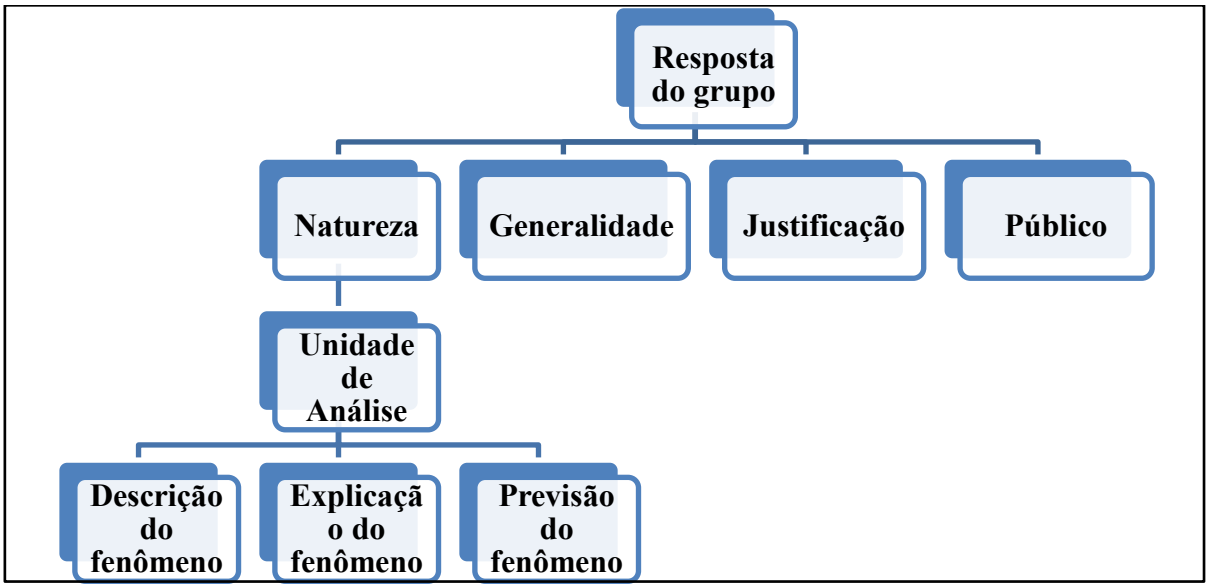


Figura 3. Exemplo de categorização da unidade de análise.
Fonte: a autora.

A fala apresenta uma justificativa causal baseada na característica da estrutura eletrônica (1 elétron na camada de valência do Na, 7 do Cl) para explicar o comportamento dos átomos e a formação de um composto estável. Ainda que a linguagem não seja precisa ("fusão"), há evidência de articulação conceitual e intenção explicativa, o que a diferencia de uma simples descrição ou previsão sobre o fenômeno.

O mesmo procedimento de categorização foi aplicado a todas as unidades de análise identificadas ao longo do corpus da pesquisa, respeitando os critérios de atribuição das dimensões epistêmicas e das categorias específicas associadas a cada uma delas. Essa sistematização permitiu organizar as produções dos estudantes de forma coerente com o referencial teórico adotado, possibilitando uma análise mais precisa das manifestações epistêmicas no contexto das atividades de modelagem. No capítulo seguinte, serão apresentados os resultados dessa análise.

3 - Resultados e Discussões

Este capítulo apresenta a análise dos dados produzidos ao longo da sequência didática realizada com estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental. O foco principal é identificar como as atividades Fundamentadas em Modelagem favoreceram (ou não) a mobilização das considerações epistêmicas na prática (BERLAND *et al*., 2016) e os vértices do tetraedro da modelagem (GILBERT; JUSTI, 2016). Tal análise parte da premissa de que o ensino de Ciências deve proporcionar aos estudantes experiências que vão além da simples execução de tarefas escolares, promovendo seu engajamento ativo com a construção do conhecimento científico (JIMÉNEZ-ALEIXANDRE *et al.*, 2000).

Para isso, foram analisadas as produções que evidenciaram justificativas, explicações ou decisões relacionadas aos fenômenos investigados, conforme os critérios detalhados no capítulo metodológico. As análises priorizam as respostas, falas e modelos elaborados pelo Grupo G2, dada sua participação ativa e regularidade durante as atividades.

A seguir, os resultados são apresentados por atividade, com destaque para as categorias epistêmicas mobilizadas, as justificativas fornecidas pelos estudantes e os elementos do Ensino Fundamentado em Modelagem evidenciados em cada etapa.

3. 1 Atividade 1

A primeira atividade proposta aos estudantes teve como objetivo identificar suas concepções iniciais sobre o que consideram ser um modelo. A atividade corresponde à etapa de exploração no Ensino Fundamentado em Modelagem (GILBERT; JUSTI, 2016), funcionando como ponto de partida para as etapas subsequentes de construção e avaliação de modelos. Para isso, foram apresentadas sete figuras que retratavam diferentes situações, desde representações científicas até fenômenos diretamente observáveis, acompanhadas da pergunta: “Na sua concepção, isso seria um modelo?” A partir das respostas e justificativas fornecidas, foi possível identificar alguns critérios utilizados

pelos alunos para classificar uma imagem como modelo. A seguir, elaboramos o Quadro 8 com a análise dos dados obtidos nessa atividade.

Quadro 8. Dados obtidos na atividade 1

Figura	**Tipo de imagem**	**Código**	**Unidades de análise**	**Critério usado pelos alunos**
Figura 1	Desenho de casa	A1Q1G2	Sim, porque não está realista.	Não é realista, é uma representação
Figura 2	Representação molecular	A1Q2G2	Sim, porque é uma representação de uma ligação de átomo.	Representa algo invisível (ligação de átomos)
Figura 3	Representação molecular	A1Q3G2	Sim, porque é a representação do H_2O.	Representa algo invisível (molécula de água)
Figura 4	Fenômeno natural	A1Q4G2	Não, porque é algo natural que acontece.	É o próprio fenômeno natural
Figura 5	Representação de mudanças de estado	A1Q5G2	Sim, porque é uma representação da separação de átomos quando ficam em estado sólido, líquido e gasoso.	Representa os estados da matéria simbolicamente
Figura 6	Fenômeno natural	A1Q6G2	Não, porque mostra diretamente o que é sólido, líquido e gasoso.	Mostra diretamente o fenômeno, não o representa.
Figura 7	Representação atômica dos estados físicos	A1Q7G2	Sim, porque é um desenho das moléculas dos estados físicos.	Representa os estados físicos de forma molecular

Fonte: a autora

É importante considerar que, ainda que a pesquisa esteja fundamentada em uma concepção ampliada de modelos científicos como artefatos epistêmicos, conforme proposto por Knuuttila (2011) e defendido por tanto outros como Gilbert e Justi (2016), nesta atividade inicial optou-se por trabalhar com uma abordagem mais direta, que considera modelos como representações. Essa escolha se justifica pelo caráter diagnóstico da tarefa e pelo objetivo de identificar os critérios utilizados pelos estudantes para avaliar

o que poderia ou não ser considerado um modelo. Assim, ao invés de determinar categoricamente se cada imagem "é ou não um modelo", os alunos foram convidados a refletir sobre os elementos que, em sua concepção, qualificariam determinada representação como modelo.

A análise revela um padrão recorrente nas respostas do Grupo G2: os estudantes classificaram como modelos as imagens que apresentavam representações simbólicas, submicroscópicas ou ilustrativas de fenômenos não diretamente observáveis, como as Figuras 1, 2, 3, 5 e 7. A justificativa para a Figura 1 — *"não está realista, porque é um modelo"* — evidencia que a distinção entre realidade e representação foi um critério relevante para essa classificação.

Essas respostas indicam que os alunos possuem uma noção inicial de que o modelo é uma representação distinta do objeto real, usada para visualizar aquilo que não pode ser diretamente observado. Contudo, essa concepção ainda está restrita a aspectos visuais e não contempla, neste momento, funções explicativas, preditivas ou comunicativas dos modelos científicos.

É importante ressaltar que a proposta da atividade não visava à produção de modelos, mas sim à reflexão inicial sobre o que os estudantes consideravam ou não como sendo um modelo. Por esse motivo, não se observou a mobilização de vértices do tetraedro da modelagem científica (GILBERT; JUSTI, 2016). Trata-se, portanto, de uma atividade de exploração diagnóstica, que antecede os momentos de construção e uso efetivo de modelos na sequência didática.

Com base nas quatro considerações epistêmicas propostas por Berland *et al*. (2016), observa-se que, de modo geral, as respostas do Grupo G2 mobilizaram apenas a consideração epistêmica da Natureza, especificamente na categoria "descrição do fenômeno". As justificativas se limitaram a apontar características perceptíveis das imagens, sem avançar para explicações conceituais ou para a articulação de raciocínios mais elaborados sobre os fenômenos representados.

Ainda que restritas ao nível descritivo, as respostas analisadas mostram que os estudantes apresentaram classificações bastante coerentes com a definição básica de modelo científico. As imagens reconhecidas como modelos foram, em sua maioria, representações simbólicas, visuais ou submicroscópicas — como moléculas, estados físicos da matéria ou estruturas invisíveis —, enquanto aquelas que mostravam

diretamente o fenômeno natural foram rejeitadas como tal. Essa distinção revela que os alunos já atribuem aos modelos um caráter representacional, ainda que não tenham mobilizado, neste momento, funções epistêmicas mais complexas.

Com base nas concepções iniciais identificadas na Atividade 1, a sequência seguiu com propostas que incentivaram os alunos a explicar fenômenos do cotidiano. A Atividade 2 marcou esse novo momento, convidando os estudantes a construírem explicações usando conceitos da Ciência e a representarem visualmente o que observaram. Com isso, foi possível começar a observar de forma mais clara o envolvimento dos alunos com a construção de sentido e com algumas das considerações epistêmicas discutidas anteriormente.

3.2 Atividade 2

A Atividade 2 propôs aos estudantes a construção de um modelo para explicar por que conseguimos sentir mais o cheiro do café quando ele está quente do que quando está frio. A produção do Grupo G2 (Figura 4) revelou a mobilização da consideração epistêmica da Natureza, sendo acolado na categoria “explicação do fenômeno”, uma vez que os alunos relacionaram o aumento da temperatura à formação de vapor e à intensificação do odor, como pode ser observado no seguinte trecho: “*Como segundo estado, temos o gasoso, que está presente quando o produto está quente ao ponto de sair vapor, que causa um odor mais intenso*” (A2Q1G2M). Ainda que os estudantes não utilizem terminologias como "moléculas voláteis", “dispersão de partículas” ou "energia cinética", eles construíram um raciocínio coerente com a experiência cotidiana e indicaram uma relação causal entre aquecimento e “liberação de odores”.

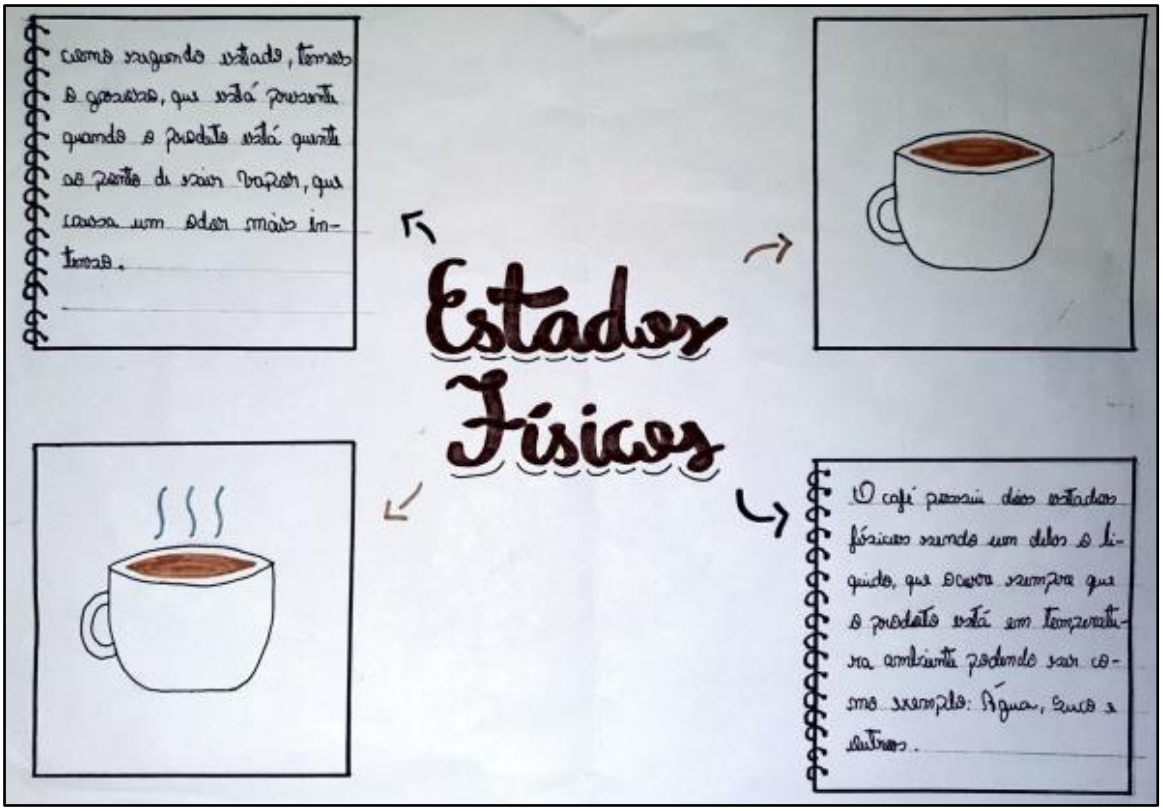


Figura 4. A2Q1G2M
Fonte: Produção do Grupo G2

O grupo representou sua explicação por meio de um cartaz intitulado “Estados Físicos”, no qual associou o estado gasoso à liberação de vapor observável e ao cheiro mais intenso do café. A construção visual do modelo, com a presença de duas xícaras (uma com linhas indicando vapor e outra sem) e anotações que contextualizam os estados físicos da matéria, evidencia a mobilização dos vértices de criação e expressão, conforme proposto por Gilbert e Justi (2016). A criação do modelo se deu pela seleção de elementos considerados relevantes para explicar o fenômeno, enquanto a expressão ocorreu na escolha por uma representação imagética associada a textos explicativos.

O vértice teste ocorreu por meio da comparação empírica entre o cheiro do café quente e o frio durante a atividade prática, o que forneceu subsídios para a explicação construída. Já a avaliação ocorreu de forma mais evidente durante a apresentação dos modelos à turma, momento em que os estudantes foram incentivados a justificar suas escolhas representacionais e a comparar suas explicações com as dos colegas. Essa etapa foi importante para o desenvolvimento da argumentação e da análise crítica, pois permitiu que o grupo revisitasse sua produção, refletisse sobre a clareza de sua explicação e considerasse a compreensão do público.

Portanto, a atividade favoreceu a transição entre a experiência empírica e a construção de um modelo, promovendo tanto o desenvolvimento de considerações epistêmicas quanto o engajamento dos estudantes com múltiplas dimensões do processo de modelagem.

3.3 Atividade 3

A Atividade 3 teve como objetivo promover a elaboração de modelos explicativos sobre a formação de íons, desafiando os estudantes a representar processos de perda e ganho de elétrons no nível submicroscópico. Embora o roteiro da atividade previsse inicialmente a comparação entre diferentes tipos de ligações, o desenvolvimento foi concentrado apenas na ligação iônica entre sódio (Na) e cloro (Cl), devido ao tempo disponível e ao nível de abstração exigido. As unidades de análise apresentadas nesta seção foram selecionadas com base nos critérios estabelecidos no Capítulo 2, priorizando as produções do Grupo G2.

Na Questão 1, que incentivava aos estudantes refletirem sobre o que seria necessário para que um átomo se tornasse um íon, o Grupo G2 respondeu: *"Quando um átomo é necessário doar seu elétron para se tornar estável, assim o outro átomo recebendo o elétron do átomo doador"* (A3Q1G2). Ainda que a construção contenha imprecisões gramaticais, essa formulação revela uma tentativa de explicação vinculada a causa do fenômeno. Nesse sentido, percebemos que o grupo não está apenas descrevendo que o átomo precisa receber ou doar elétrons, ele associa a uma motivação, no caso, a estabilidade eletrônica. Sendo categorizada, portanto, como "explicação do fenômeno" no âmbito da consideração epistêmicas da Natureza.

A terceira pergunta buscava compreender de que forma os alunos explicam a formação dos íons Na^+ e Cl^- a partir de seus átomos neutros, e de que modo justificam esse processo. A unidade de análise obtida foi *"A fusão do Na e Cl forma uma formação estável, pois Na tem apenas 1 elétron e o Cl tem 7 elétrons. Assim, o Cl quer receber um elétron do Na, provocando sua estabilidade*" (A3Q3G2). A explicação evidencia que o grupo reconhece a diferença entre as configurações eletrônicas de sódio e cloro e entende

que essa diferença está relacionada à interação entre os átomos, cujo resultado é a formação de uma substância estável.

No entanto, a formulação apresenta imprecisões conceituais e linguísticas que merecem atenção. O uso do termo "fusão*"* para descrever a formação do composto iônico não é o mais adequado, pois esse termo é comumente utilizado para se referir à passagem de um estado físico ao outro (ex.: sólido para líquido) não sendo apropriado no contexto da formação de compostos químicos por transferência de elétrons. O termo mais adequado seria "formação de ligação iônica" ou "transferência de elétrons", já que descreve com maior precisão o mecanismo envolvido. Além disso, a expressão *"o Cl quer receber um elétron"* personifica o átomo de cloro, atribuindo-lhe vontade própria. Esse tipo de expressão é comum em fases iniciais de aprendizagem e, embora contribua para a elaboração de sentido por meio de analogias intuitivas, pode reforçar concepções alternativas sobre os mecanismos envolvidos na formação dos íons. Ainda assim, essa formulação demonstra um esforço de construção de significado, pois mantém coerência com o objetivo explicativo da resposta.

Nesse sentido, A3Q3G2 foi categorizada como pertencente à consideração epistêmica da Natureza, na categoria "explicação do fenômeno", pois os estudantes não apenas reconhecem que há uma transferência de elétrons, mas também tentam justificar o motivo dessa transferência, associando-a à obtenção de estabilidade.

A Questão 4 indagava quais elementos e processos deveriam estar representados em um modelo para explicar a formação de um íon. Obtemos o seguinte trecho para análise: "*Átomos e elétrons*" (A3Q4G2). Embora a resposta traga os dois componentes fundamentais para representar uma ligação iônica, ela não explicita quais funções esses elementos desempenham no modelo, nem como se relacionam no processo a ser representado. A ausência de aprofundamento conceitual e a formulação genérica indicam a categoria "descrição do fenômeno", vinculada à consideração epistêmica de Natureza.

Na Questão 5, que convidava os estudantes a refletirem sobre como representar a transferência de elétrons para explicar a formação dos íons Na^+ e Cl^- no modelo, analisamos o seguinte trecho: "*Setas para indicar esse ganho e essa perda de elétrons, lápis de cor mostrando como* Na^+ *se tornou positivo e como o* Cl^- *se tornou negativo*" (A3Q5G2). A resposta demonstra que os estudantes pensaram em recursos visuais para tornar o modelo mais claro e informativo, utilizando setas e cores como elementos de

apoio à representação do fenômeno. Essa formulação evidencia uma intenção comunicativa, ao buscar facilitar a compreensão da dinâmica representada, e também uma interpretação visual do processo de formação dos íons. Por essas razões, a unidade de análise foi categorizada como "interpretação do grupo sobre o fenômeno", vinculada a consideração epistêmicas da Justificação.

Na Questão 6, que questionava de que forma o modelo do octeto poderia ajudar a ilustrar a estabilidade dos íons, obtivemos o seguinte dado para análise: "*O átomo está estável quando se tem 8 elétrons na sua camada de valência*" (A3Q6G2). Nessa unidade de análise, observa-se que os estudantes expressam um conhecimento teórico relacionado ao modelo da regra do octeto, mas não conseguem estabelecer uma relação explicativa entre esse modelo e o fenômeno modelado. A formulação apresentada é compatível com a linguagem escolar convencional, porém não é articulada ao contexto específico da formação de íons. Isso indica uma compreensão descontextualizada do conceito de estabilidade, sem que o modelo seja mobilizado para interpretar ou prever o fenômeno em questão. Por essa razão, a unidade foi categorizada como "descrição do fenômeno", vinculada à consideração epistêmica de Natureza.

A última etapa da Atividade 3 solicitou aos estudantes que construíssem um modelo visual que representasse a transferência de elétrons entre os átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). O objetivo era promover a síntese dos conhecimentos desenvolvidos nas etapas anteriores e estimular a elaboração de um artefato que comunicasse o processo de formação da ligação iônica entre esses elementos.

O modelo produzido (Figura 5), identificado como unidade de análise A3Q5M, foi identificado sob a consideração epistêmica de Natureza, por seu objetivo estar centrado na representação de um fenômeno. Especificamente, categorizamos essa produção como uma "descrição do fenômeno", uma vez que, embora apresente elementos fundamentais para a formação de uma ligação iônica (como os átomos, os elétrons e a indicação da transferência eletrônica), não explicita os mecanismos conceituais envolvidos no processo. O grupo limita-se a representar que a ligação ocorre por meio da transferência de elétrons, sem oferecer uma justificativa causal para esse comportamento, o que caracteriza uma abordagem descritiva, e não explicativa ou previsível.



Figura 5. A3Q7M
Fonte: Produção dos estudantes na Atividade 3.

Durante a apresentação do modelo físico, observou-se não apenas o produto final, mas também o processo reflexivo e argumentativo resultado da interação entre os estudantes do grupo e a professora. Essa interação foi fundamental para revelar como os alunos compreendiam os elementos representados, suas funções no modelo e as limitações envolvidas em sua construção.

A fala "*A primeira bolinha seria a ligação iônica, vendo de fora. A bolinha vermelha seria o sódio e a azul seria o cloro*" (A3Q7G2F-E7.1) indica uma tentativa de tornar o modelo compreensível para o interlocutor. Ao nomear os elementos e associá-los a cores específicas, os estudantes sinalizam um esforço de clareza comunicativa, mobilizando a consideração epistêmica Público. Como a representação foi elaborada e discutida coletivamente, considera-se que essa produção atende à categoria "uso colaborativo".

Em seguida, ao afirmarem "*Tentamos fazer como se eles estivessem saindo do sódio e indo para o cloro, por isso tem dois*" (A3Q7G2F-E7.2), os estudantes revelam uma intenção de representar visualmente o fenômeno da transferência de elétrons. A fala expressa uma dinâmica do processo representado, ainda que de forma imprecisa. Como não há justificativa sobre o porquê da transferência, mas apenas uma descrição do

movimento, essa unidade foi identificada como pertencente à consideração de Natureza, na categoria "descrição do fenômeno".

Diante da ambiguidade gerada por essa representação dos elétrons, os estudantes foram questionados sobre a quantidade correta de elétrons sendo transferidos. Em resposta, afirmaram: "*Só um, o do sódio, aquele que ele doa para o cloro*" (A3Q7G2F-E8.1). Esse esclarecimento demonstra uma correção e revela um avanço epistêmico, ao articular o conhecimento sobre o processo de formação dos íons com a construção do modelo. Por essa razão, essa unidade foi identificada como pertencente à consideração de Justificação, na categoria "interpretação do grupo sobre o fenômeno".

A sequência da apresentação revelou outros momentos de avaliação crítica do modelo. Ao serem questionados sobre a composição dos núcleos atômicos, os estudantes reconheceram um erro: "*Erramos na quantidade de prótons que colocamos no núcleo*" (A3Q7G2F-E8.2). A seguir, um dos integrantes complementa: "*A quantidade de prótons e acho que a quantidade de elétrons nas últimas camadas, porque o sódio tem só um e não três*" (A3Q7G2F-E7.3). Ambas as falas foram identificadas como Justificação, por refletirem uma revisão do modelo e indicarem uma disposição para a reconstrução do mesmo, por tal motivo categorizamos ambas as unidades na categoria "interpretação do grupo sobre o fenômeno".

Em outro momento, a professora os provocou a refletir sobre os limites do modelo físico. Um dos estudantes observou: "*Nosso modelo é parado, por isso, do jeito que fizemos pode dar a entender que tem dois elétrons sendo passados e não apenas um*" (A3Q7G2F-E7.4). A fala expressa uma reflexão relacionada a metamodelagem sobre o caráter estático do modelo e suas consequências interpretativas, também vinculada à consideração de Justificação e a categoria "interpretação do grupo sobre o fenômeno".

Por fim, a preocupação com a coerência visual foi evidenciada na fala: "*Acho que fizemos prótons e elétrons de tamanhos errados... mas acho que o elétron é muito menor que o próton*" (A3Q7G2F-E6.1). Essa observação demonstra um cuidado com a fidelidade da escala representada e reforça o movimento reflexivo de revisão crítica do modelo, também sendo vinculada à consideração de Justificação e a categoria "interpretação do grupo sobre o fenômeno".

Essas falas demonstram que os estudantes não apenas descreveram o que foi feito, mas também se envolveram em processos de análise e revisão do modelo, justificando

suas decisões, reconhecendo limitações e propondo ajustes. Esse momento da atividade revela, portanto, uma apropriação mais madura do processo de modelagem, em que os alunos passam a considerar não apenas o conteúdo representado, mas também como o modelo comunica, o que ele deixa de mostrar e como poderia ser melhorado. Nesse sentido, observa-se a mobilização integrada dos vértices de criação, expressão e avaliação do diagrama de modelagem proposto de Gilbert e Justi (2016).

É importante esclarecer que, embora os conceitos de átomo, íon e modelo da regra do octeto tenham sido introduzidos previamente em uma aula anterior, isso não eliminou a necessidade de os estudantes se engajarem em processos de criação durante a atividade de modelagem. Na perspectiva adotada neste trabalho, alinhada ao Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) proposto por Gilbert e Justi (2016), o vértice de "criação" não se limita à formulação de modelos "originais" do ponto de vista científico, mas envolve processos como a seleção de quais elementos incluir, a definição das relações entre eles, a escolha das formas de representação e a organização espacial do modelo.

A análise dos modelos produzidos revela que, mesmo partindo de um repertório teórico comum — fruto das discussões anteriores em sala —, os grupos realizaram escolhas distintas e tomaram decisões autônomas na construção de suas representações. Isso se refletiu, por exemplo, em diferentes maneiras como atribuíram tamanhos relativos aos prótons e elétrons, na forma como organizaram os íons, no modo de representar as cargas elétricas e na quantidade de detalhes incluídos nos modelos. Portanto, o fato de os conceitos terem sido previamente ensinados não resultou na produção de modelos idênticos nos diferentes grupos, mas, ao contrário, evidenciou a diversidade nas interpretações e nas estratégias representacionais adotadas por eles.

Assim, entende-se que houve, sim, a mobilização do vértice "criação", uma vez que os estudantes não apenas aplicaram mecanicamente modelos discutidos previamente, mas os reelaboraram, ajustaram e representaram de acordo com sua compreensão do fenômeno e com as demandas comunicativas da atividade. Esse entendimento é consistente com a concepção de modelagem na qual criar significa construir modelos que sejam funcionais, explicativos e coerentes dentro de um contexto (GILBERT; JUSTI, 2016; SCHWARZ *et al*., 2009).

Na Questão 8, os estudantes foram convidados a propor formas de testar o modelo. O grupo respondeu: "*Pegar água, o sal e a eletricidade e se irá conduzir corrente*

elétrica" (A3Q8G2). A formulação sugere que reconhecem uma relação entre a dissolução do sal e a condução elétrica, ainda que não explicitem os mecanismos envolvidos. Assim, a resposta foi categorizada como "previsão do fenômeno", relacionada à consideração de Natureza.

De forma geral, a Atividade 3 possibilitou a mobilização dos vértices de criação, expressão, avaliação e teste, com predomínio das considerações epistêmicas de Natureza e Justificação, além de manifestações pontuais associadas à consideração de Público. A ausência de manifestações vinculadas à Generalidade pode ser atribuída ao foco restrito no sistema iônico do NaCl, o que limitou a extrapolação dos conceitos para outros contextos.

Observa-se que, além dos movimentos epistêmicos analisados, alguns modelos apresentaram simplificações conceituais já amplamente documentadas na literatura, como a representação da ligação iônica a partir de ideias de 'doação' ou 'compartilhamento' de elétrons. Cabe destacar que, do ponto de vista científico, a ligação iônica não se caracteriza por esse tipo de interação, mas pela formação de íons de cargas opostas — cátions e ânions —, cuja estabilidade decorre da atração eletrostática que se estabelece entre eles no retículo cristalino. Portanto, não há transferência física de partículas nem compartilhamento de elétrons no sentido de uma ligação covalente, mas sim uma reorganização eletrônica que leva à formação de espécies eletricamente carregadas, cuja interação de longo alcance fundamenta a estrutura do composto iônico.

Considerando que os estudantes são do 9º ano e que o tema foi introduzido no próprio desenvolvimento da sequência, tais simplificações são esperadas e serão, inclusive, observadas novamente nas atividades subsequentes, o que reforça a importância de que esse tipo de abordagem promova, momentos de retomada e refinamento conceitual.

O Quadro 9 a seguir apresenta a frequência das categorias epistêmicas identificadas ao longo da atividade. Nota-se que a categoria "Interpretação do grupo sobre o fenômeno" foi a mais recorrente, especialmente em razão das revisões realizadas durante a apresentação oral do modelo (Figura 4), quando os estudantes passaram a refletir criticamente sobre suas decisões representacionais e conceituais.

Quadro 9. Categorias identificadas na atividade 3

Consideração Epistêmica	Categoria	Frequência	Unidades Relacionadas
Natureza	Explicação do fenômeno	2	A3Q1G2, A3Q3G2
	Descrição do Fenômeno	4	A3Q4G2, A3Q6G2 A3Q7G2F-E7.2 A3Q7M
	Previsão do fenômeno	1	A3Q8G2
Justificação	Interpretação do grupo sobre o fenômeno	6	A3Q5G2 A3Q7G2F-E8.1 A3Q7G2F-E8.2 A3Q7G2F-E7.3 A3Q7G2F-E7.4 A3Q7G2F-E6.1
Público	Uso colaborativo	1	A3Q7G2F-E7.1

Fonte: a autora.

A variação entre as respostas evidencia uma construção gradual de significados, estimulada pela interação entre os estudantes e pelas oportunidades de revisão durante a apresentação do modelo. A Atividade 3 permitiu que os alunos se engajassem em práticas epistêmicas autênticas — como a explicação, a justificativa e a avaliação de representações científicas —, aproximando o fazer escolar do fazer científico. Tal envolvimento reforça o papel da modelagem como estratégia pedagógica capaz de fomentar o desenvolvimento do pensamento científico em sala de aula.

3.4 Atividade 4

A Atividade 4 teve como objetivo aprofundar a compreensão dos estudantes sobre o comportamento dos íons em meio aquoso e as transformações envolvidas nos processos de dissolução e recristalização do sal, com base na dinâmica do sistema NaCl/solvente. A descrição completa da atividade encontra-se na seção 2.6. A seguir, apresentamos a

análise das unidades de análise produzidas pelo Grupo G2, selecionadas com base nos critérios estabelecidos no Capítulo 2.

Na primeira parte da atividade, os estudantes do Grupo G2 produziram um modelo que representa o processo de dissolução do sal (NaCl) em água, destacando a configuração eletrônica dos átomos envolvidos. Ao lado da representação da solução, o grupo desenhou os átomos de sódio (Na) e cloro (Cl) com as camadas eletrônicas, como pode ser observado na figura 5. Essa escolha revela uma tentativa de associar o fenômeno à estabilidade eletrônica, indicando que compreenderam que a formação dos íons está relacionada à perda e ao ganho de elétrons. Essa intenção se manifesta de forma explícita nas seguintes unidades de análise:

> A4Q1G2F-E8.1: "Acho que a gente tem que fazer os elétrons que fazem o átomo ficar estável."
> A4Q1G2F-E8.2: "Lembra que a professora falou que eles querem ser como os gases nobres?"
> A4Q1G2F-E8.3: "Então, temos que desenhar os átomos com as camadas completas de elétrons."

A primeira unidade de análise **(**A4Q1G2F-E8.1) revela uma tentativa de explicar o comportamento dos átomos a partir da busca por estabilidade eletrônica. Essa unidade foi categorizada como "explicação do fenômeno" dentro da consideração epistêmica Natureza, pois revela uma tentativa dos estudantes de justificar o comportamento dos átomos com base na estabilidade eletrônica. Ao associar a presença dos elétrons à estabilidade do átomo, os alunos buscam explicar a causa do fenômeno, e não apenas descrever o que ocorre. A menção ao papel dos elétrons funciona como uma chave interpretativa para entender por que ocorre a formação dos íons.

A segunda unidade de análise (A4Q1G2F-E8.2) foi categorizada como pertencente à consideração epistêmica Justificação, na categoria "autoridade externa", pois os estudantes recorrem a uma fonte de conhecimento — a professora — como forma de reforçar a validade de sua explicação. No entanto, o uso desse artifício não aparece como repetição passiva, mas como ponto de apoio para a construção de um raciocínio próprio. Ao mobilizarem essa referência como parte de um argumento que está sendo elaborado de forma autônoma, os estudantes demonstram engajamento epistêmico, apropriando-se ativamente do conteúdo discutido em sala.

A unidade de análise A4Q1G2F-E8.3 se enquadra na dimensão Justificação, categoria “interpretação do grupo sobre o fenômeno”, pois evidencia uma decisão epistêmica sobre como representar o conceito de estabilidade eletrônica no modelo produzido. Ao afirmar *“Então, temos que desenhar os átomos com as camadas completas de elétrons”*, a estudante não está explicando diretamente o fenômeno natural, mas sim discutindo como o grupo deve construir a representação, alinhando-se aos conhecimentos anteriormente discutidos e aos critérios estabelecidos na atividade. Esse tipo de manifestação reflete um movimento em que os estudantes negociam, no contexto da atividade, quais aspectos do fenômeno devem ser destacados no modelo, como devem ser representados e como garantir que o modelo comunique adequadamente o conceito em questão.

Além das falas analisadas, o modelo construído pelo grupo (Figura 6) também foi categorizado dentro da consideração epistêmica Natureza, mas na categoria “descrição do fenômeno”. A representação das camadas eletrônicas dos átomos de sódio e cloro indica uma preocupação em descrever aspectos estruturais do sistema. No entanto, a ausência de elementos que representem a transferência de elétrons ou a interação entre os átomos impede a classificação como explicação do fenômeno.

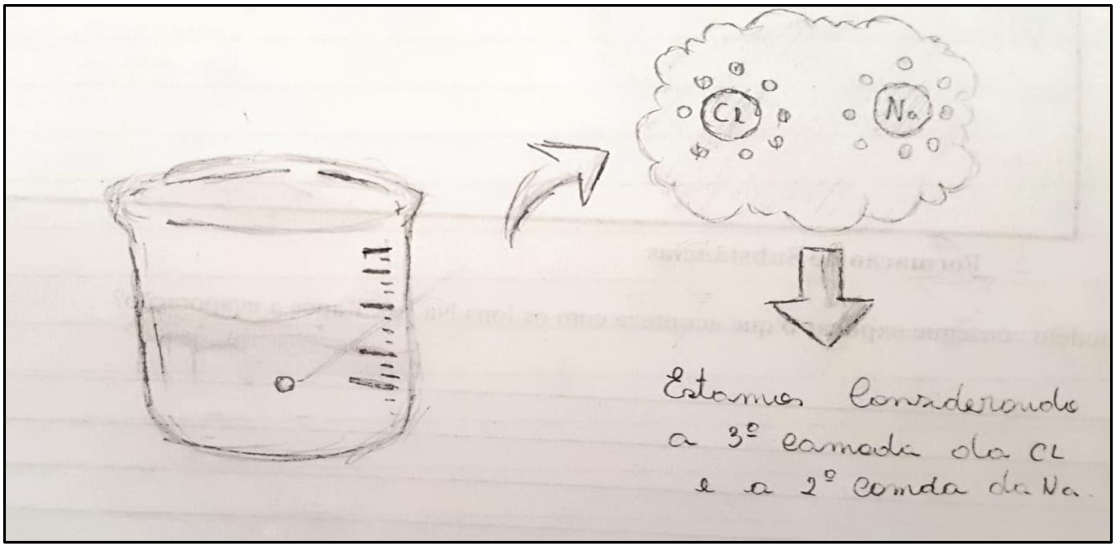


Figura 6. A4Q1G2M
Fonte: Produção dos estudantes do Grupo G2 na Atividade 4.

Ainda que o modelo não represente explicitamente as interações iônicas, ele evidencia a mobilização de vértices importantes do Ensino Fundamentado em

Modelagem, como criação e expressão. A elaboração do desenho com camadas eletrônicas demonstra uma tentativa de construir uma representação para um fenômeno submicroscópico.

Na segunda parte da atividade, os estudantes representaram o processo de evaporação da água e a posterior recristalização do sal. O modelo produzido pelo grupo representa o processo de evaporação da água e cristalização do sal ao longo do tempo. A sequência de imagens elaborada pelo grupo mostra, de forma linear três etapas: (1) o sal dissolvido em um copo com água; (2) a redução progressiva do volume de água, indicando a evaporação do solvente; e (3) os cristais de sal depositados no fundo do recipiente após a remoção total da água, conforme a figura 6.

Solicitamos aos alunos que eles explicassem como iriam elaborar o modelo. Esse momento de planejamento pode ser compreendido como mobilização do vértice criação do tetraedro da modelagem (Gilbert & Justi, 2016), pois envolve a decisão sobre quais elementos serão representados e de que forma. As unidades de análise apresentadas a seguir foram selecionadas respeitando os critérios anteriormente mencionados.

> A4Q2G2F-E8.1: “Achamos que fica mais fácil fazer com desenhos”.
> A4Q2G2F-E8.2: “Vamos tentar fazer como isso acontece em etapas”.
> A4Q2G2F-E8.3: “Primeiro, quando misturamos o sal e água, tendo aqui a formação deles separados, negativo e positivo”.
> A4Q2G2F-E8.4: “Depois, como fica quando ele é deixado no sol – como acontece nas salinas com a água evaporando”.
> A4Q2G2F-E8.5: “E o terceiro, ficando só o sal”.

De acordo com o planejamento do grupo, observamos algumas considerações epistêmicas sendo evidências. Por exemplo, A4Q2G2F-E8.1 evidencia uma preocupação com a função comunicativa do modelo. A justificativa de “facilitar com desenhos” indica que os estudantes estão considerando como o modelo será compreendido por outros leitores ou para facilitar a elaboração ao próprio grupo. Essa escolha evidencia a consideração epistêmica Público, na categoria “uso colaborativo”, pois demonstra que a representação foi elaborada pensando em sua função ao próprio grupo.

Em seguida, observamos que o grupo revela uma tentativa de representar o processo de forma causal e ordenada nas unidades A4Q2G2F-E8.2 e A4Q2G2F-E8. Por esse motivo, foram categorizadas como pertencentes à consideração epistêmica Natureza, na categoria “explicação do fenômeno”, pois expressam uma tentativa clara de articular

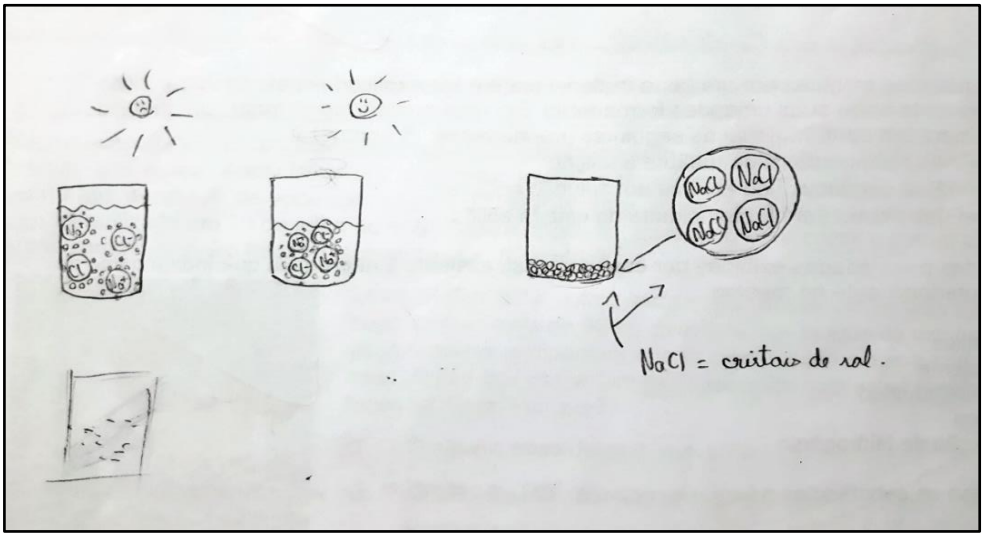
o mecanismo do processo de recristalização do sal. Ao afirmarem que o modelo deveria ser construído “em etapas”, os estudantes revelam a intenção de representar o encadeamento lógico dos eventos — da dissolução até a formação dos cristais. A fala sobre a separação entre “negativo e positivo” reforça essa construção explicativa, sugerindo que os estudantes compreendem que a dissolução do NaCl envolve a dissociação em íons de cargas opostas. Portanto, ainda que sem um amadurecimento do vocabulário correto, essa sequência discursiva evidencia uma tentativa de compreender *como* o fenômeno ocorre, marcando seu caráter explicativo.

É importante destacar que a unidade de análise A4Q2G2F-E8.2 apresenta elementos que poderiam, à primeira vista, ser associados à consideração epistêmica Público, na categoria “uso colaborativo”, especialmente pelo uso da expressão *“vamos tentar”*, que sugere um movimento de organização coletiva no grupo. Contudo, considerando os princípios da análise de conteúdo, que orientam a definição de categorias mutuamente excludentes, optou-se por classificá-la na dimensão Natureza, categoria “explicação do fenômeno”. Isso se deve ao fato de que o núcleo da fala está centrado na intenção de representar como isso acontece em etapas, evidenciando uma preocupação com o encadeamento causal do fenômeno da formação do sal e não apenas na organização da tarefa.

Achamos válido destacar a unidade A4Q2G2F-E8.4, pois foi um dos poucos indícios na qual identificamos a manifestação, ainda que bem inicial, da consideração epistêmica Generalidade. Categorizamos essa unidade na categoria “conecta-se a características gerais”, por evidenciar uma tentativa do grupo em relacionar o fenômeno modelado (específico) a uma situação do cotidiano: as salinas – exploração ainda presente na região onde a pesquisa foi desenvolvida. Ao mencionarem que o processo ocorre “como nas salinas com a água evaporando”, os alunos buscam estabelecer uma ponte entre o modelo escolar e um exemplo empírico, ainda que de forma superficial. Essa conexão não expande conceitualmente a explicação para outros compostos ou padrões químicos, mas aponta para um esforço de contextualização do conhecimento, o que justifica sua categorização como indício de generalização.

Por fim, unidade A4Q2G2F-E8.5 foi categorizada como pertencente à consideração epistêmica Natureza, na categoria “descrição do fenômeno”. A expressão

“ficando só o sal” aponta para o resultado final do processo representado, ou seja, a presença do sal sólido após a evaporação da água.



Fonte: Produção dos estudantes do Grupo G2 na Atividade 4.
Figura 7. A4Q2G2M

O modelo na Figura 7 representa, em sequência lógica e visual, os eventos relacionados à dissolução do NaCl, à evaporação da água e à formação de cristais. Apesar da simplicidade, a progressão dos quadros sugere uma intenção de explicar a causa do processo, ou seja, à medida que o solvente evapora (representado pelo sol), os íons se reaproximam e se organizam, formando cristais de sal. Essa organização visual revela uma compreensão de que há uma transformação progressiva no sistema e que a recristalização depende da ausência do solvente.

Mesmo que o modelo não represente explicitamente a interação eletrostática entre os íons ou como eles se reorganização, ele mostra uma tentativa de articular diferentes níveis de representação (macroscópico e submicroscópico), através da sequência de eventos. A legenda “NaCl = cristais de sal” reforça a intenção explicativa.

Nesse sentido, o modelo evidencia uma elaboração que busca não apenas descrever o que ocorre, mas justificar como e por que ocorre a recristalização. Por isso, foi categorizado como pertencente à consideração epistêmica Natureza, na categoria explicação do fenômeno.

Solicitamos aos alunos que eles explicassem o modelo criado. As unidades de análise apresentadas a seguir foram selecionadas respeitando os critérios anteriormente mencionados.

> A4Q2G2F-E6.1: “No primeiro, fizemos um copo de água com o sal misturado. Então, fizemos as bolinhas pequenas como se fossem a água envolvendo o Na e o Cl, porque ele se dissolveu – misturou”.
> A4Q2G2F-E6.2: “Colocamos o Na e o Cl como íons, Na^+ e Cl^-, porque um perdeu e outro ganhou elétron”.
> A4Q2G2F-E6.3: “Achamos que como o Na e o Cl possuem cargas opostas, quando não tem mais água, eles se juntam de novo porque se atraem.”

As unidades de análise complementam e aprofundam a explicação construída anteriormente pelo grupo, trazendo elementos que não estavam presentes nem no modelo criado nem na fala anterior quando ainda planejavam o modelo. Em A4Q2G2F-E6.1, o estudante descreve como a água interage com os íons, sugerindo um entendimento da função do solvente na separação das partículas — um aspecto adiciona uma camada explicativa importante ao raciocínio do grupo. Já em A4Q2G2F-E6.2, eles introduzem explicitamente o mecanismo de formação dos íons por transferência de elétrons, algo apenas sugerido nas falas anteriores.

Por fim, em A4Q2G2F-E6.3, relacionam a recristalização à atração eletrostática entre os íons na ausência do solvente, oferecendo uma justificativa mais articulada para o retorno ao estado sólido. Esses elementos reforçam o caráter explicativo da fala e ampliam significativamente o que havia sido representado no modelo. Nesse caso, atribuímos a todas as unidades analisadas a categoria de “explicação do fenômeno”, pois essas expressões buscaram explicar o mecanismo do fenômeno passo a passo.

Esse aprofundamento conceitual, evidenciado nas falas, pode ser interpretado como parte do processo de avaliação e expressão do modelo, conforme o EFM, pois os estudantes estão, ao justificar suas escolhas e interpretações, também testando a coerência interna e comunicativa da representação construída.

A última pergunta do roteiro questionava aos estudantes se o modelo criado explicava o que acontecia com o NaCl após a evaporação da água, os alunos disseram que sim e explicaram da seguinte maneira: *“Isso aconteceu porque, como são de cargas opostas, eles se atraem e formam o NaCl de novo por causa da força de atração”* (A4Q3G2). Percebemos que os estudantes explicam por que o Na^+ e o Cl^- se juntam, eles relacionam que por serem de cargas opostas, ocorre atração eletrostática. Essa

justificativa expressa uma tentativa clara de articular uma relação de causa ao fenômeno modelado, sendo, portanto, categorizada como “explicação do fenômeno”.

De modo geral, a análise da Atividade 4 evidenciou uma predominância da consideração epistêmica Natureza, especialmente na categoria explicação do fenômeno, com progressos observáveis na elaboração de justificativas ao longo do processo de modelagem. Ainda que com limitações conceituais, os estudantes demonstraram esforço para explicar transformações como a dissociação do sal e a recristalização. Também foram identificadas manifestações pontuais das considerações Público, Justificação e Generalidade, refletindo uma ampliação gradual do engajamento epistêmico. As categorias mobilizadas estão organizadas no Quadro 10. No âmbito do Ensino Fundamentado em Modelagem, a atividade envolveu especialmente os vértices de *criação* (durante o planejamento e elaboração dos desenhos), *expressão* (ao representar visualmente as etapas do fenômeno e verbalizar interpretações) e *avaliação* (na escolha de elementos relevantes e na justificativa da coerência do modelo).

Quadro 10. Categorias identificadas na atividade 4.

Consideração Epistêmica	**Categoria**	**Frequência**	**Unidades Relacionadas**
Natureza	Explicação do fenômeno	8	A4Q1G2F-E8.1 A4Q2G2F-E8.2 A4Q2G2F-E8.3 A4Q2G2F-E6.1 A4Q2G2F-E6.2 A4Q2G2F-E6.3 A4Q2G2M A4Q3G2
	Descrição do fenômeno	2	A4Q2G2F-E8.5 A4Q1G2M
Justificação	Autoridade externa	1	A4Q1G2F-E8.2
	Interpretação do grupo	1	A4Q1G2F-E8.3
Generalidade	Conecta-se a características gerais	1	A4Q2G2F-E8.4
Público	Uso colaborativo	1	A4Q2G2F-E8.1

Fonte: a autora.

Dando continuidade, a seguir, a Atividade 5 buscou aprofundar a compreensão dos estudantes sobre a relação entre o tipo de ligação química e as propriedades físicas das substâncias. Para isso, os alunos observaram um experimento com água e sal e foram convidados a avaliar e, se necessário, revisar seus modelos.

3. 5 Atividade 5

A Atividade 5 teve como objetivo aprofundar a compreensão dos estudantes sobre o papel explicativo dos modelos científicos, especialmente no que diz respeito à formação do cloreto de sódio (NaCl) e às propriedades que emergem desse sistema iônico. A proposta foi construída de maneira a permitir que os alunos colocassem à prova o modelo elaborado em atividades anteriores, buscando verificar sua capacidade de explicar fenômenos observáveis como a evaporação da água, a permanência do sal, as ligações envolvidas e o comportamento das substâncias. Caso o modelo se mostrasse insatisfatório, os estudantes deveriam revisá-lo e justificá-lo, reconhecendo a natureza dinâmica da modelagem.

Na Questão 1, os estudantes foram questionados sobre qual substância (água ou sal) possui maior temperatura de ebulição. Para fim de análise, consideremos a seguinte unidade de análise: "*O sal, pois a água a uma certa temperatura evapora, e o sal permanece porque sua temperatura de ebulição é maior" (A5Q1G2).*

Percebemos que essa é uma descrição coerente ao fenômeno observado no cotidiano: a água evapora enquanto o sal permanece. No entanto, os estudantes não exploram os fatores moleculares ou interações intermoleculares que justificariam essa diferença de comportamento físico entre as substâncias. Portanto, essa unidade foi categorizada na categoria "descrição do fenômeno". A resposta relata o que acontece no processo de evaporação, mas não articula mecanismos causais nem conceitos científicos, como ligações químicas ou forças de atração entre partículas.

A segunda questão perguntava aos alunos por que eles achavam que as propriedades físicas eram diferentes. A resposta foi segmentada em três unidades de análise, apresentadas a seguir.

> A5Q2G2.1: "A água faz ligação covalente ametal com ametal. O sal faz a ligação iônica metal e ametal".
> A5Q2G2.2: "Assim, sabemos que no sal (ligação iônica) há uma força maior em sua substância, pois tem essa doação de elétrons, um ganhando e outro recebendo".

> A5Q2G2.3: “Já a água, com sua ligação covalente, há um compartilhamento de elétrons. Assim, sendo mais frágil a ligação”.

A análise das três unidades de análise identificadas revela que os estudantes construíram uma explicação estruturada por meio de contrastes conceituais entre as substâncias analisadas. As ideias foram organizadas em sequência, articulando, de forma complementar, a identificação dos tipos de ligação com a explicação das diferenças de intensidade.

A unidade A5Q2G2.1 foi classificada na dimensão epistêmica da Natureza, na categoria “descrição do fenômeno”, por apresentar apenas uma identificação conceitual dos tipos de ligação sem estabelecer relações causais ou estruturais. Já as unidades A5Q2G2.2 e A5Q2G2.3 foram categorizadas na mesma dimensão (Natureza), mas na categoria “explicação do fenômeno”, pois buscam relacionar o tipo de ligação à sua intensidade na tentativa de justificar propriedades como o ponto de ebulição.

A proposta da Questão 4 buscava incentivar os estudantes a refletirem sobre situações nas quais a Ciência precisou ser revista ou reformulada com base em novas informações, dados ou experimentações. A seguir, analisamos o trecho extraído da resposta do grupo.

> “Um exemplo, foi na época da pandemia, onde se teve vários testes para enfim, concluir a melhor vacina eficaz. Pelo o que ficamos sabendo, houve teste relacionado a algo do chimpanzé, ele é manipulado para que ele não possa mais se replicar e para inserir o gene de uma proteína” (A5Q4G2).

O grupo menciona o processo de testagem científica ocorrido durante a pandemia, reconhecendo que foi necessário realizar vários testes até se chegar a uma solução eficaz, o que indica, ainda que de forma indireta, a visão de que modelos (ou estratégias) científicos são passíveis de revisão e testes. Embora não haja uma referência explícita ao conceito de modelo, nem à descrição precisa das modificações envolvidas, a resposta sugere que os alunos compreendem que o conhecimento científico é testado, ajustado e reformulado. Por isso, a unidade foi classificada na dimensão epistêmica da Natureza, na categoria “descrição do fenômeno”, uma vez que o grupo relata um processo de construção de conhecimento, porém sem desenvolver uma explicação ou previsão sobre o funcionamento dos modelos científicos em si.

Embora se esperasse que os estudantes recorressem aos modelos atômicos como exemplos — tema previamente trabalhado nas aulas — a extrapolação apresentada pelo grupo, ainda que sem muita precisão conceitual, revela um aspecto que merece atenção: os alunos começam a aplicar suas compreensões sobre o caráter dinâmico dos modelos científicos em contextos distintos daquele explorado diretamente na disciplina. A escolha do exemplo, associada ao processo de desenvolvimento de vacinas, indica uma percepção inicial de que o conhecimento científico passa por revisões e aprimoramentos constantes. Apesar das limitações, a resposta sinaliza um movimento importante em direção ao reconhecimento da Ciência como uma prática em construção, o que reforça a necessidade de promover discussões mais sistemáticas sobre como os modelos são formulados, testados, avaliados e transformados ao longo do tempo.

Na Questão 6, os estudantes foram convidados a refletir sobre quais modificações poderiam ser feitas no modelo construído, de modo a torná-lo mais eficaz na explicação de diferentes propriedades físicas da água e do sal, como os pontos de fusão e ebulição e a condutividade elétrica. Essa questão tinha o objetivo de provocar uma avaliação crítica da capacidade explicativa do modelo e incentivar sua revisão com base em novos elementos conceituais. Os trechos destinados a análise serão apresentados a seguir,

> "Podíamos mostrar que o sal é formado por íons de Na^+ e Cl^-, que ficam ligados com muita força. Isso faz com que o sal tenha um ponto de fusão alto e não conduza eletricidade no estado sólido. Porém, quando misturado na água, ele se separa em íons, permitindo a passagem de corrente elétrica" (A5Q6G2.1).
> "A gente poderia ter pensado em alguma coisa para explicar também porque os íons do sal se juntam, porque quando a água evapora é isso que acontece." (A5Q6G2.2)

A unidade A5Q6G2.1 apresenta uma explicação estruturada, em que os estudantes relacionam o tipo de ligação (iônica) à intensidade das interações entre partículas, justificando propriedades como o ponto de fusão e a condutividade elétrica. Eles reconhecem que, no estado sólido, os íons permanecem fortemente ligados, o que impede a condução elétrica, e que, ao se dissociarem em meio aquoso, os íons passam a permitir a passagem de corrente elétrica. Por articular estrutura submicroscópica e propriedades macroscópicas, essa unidade foi categorizada na dimensão da Natureza, na categoria "explicação do fenômeno".

No entanto, destacamos que os estudantes não explicam como tais ideias seriam incorporadas ao modelo construído, o que indica que a explicação ainda ocorre no nível conceitual. Os alunos não mencionam como e com quais recursos essas alterações seriam realizadas, o que tornaria mais evidente a etapa de revisão do modelo criado.

A unidade A5Q6G2.2 os estudantes mencionam que os íons se juntam novamente com a evaporação da água, sinalizando uma percepção inicial do processo de recristalização, ainda que esse mecanismo não seja detalhado. Essa observação sugere uma tentativa de completar o ciclo do fenômeno, indo além do que foi representado no modelo anterior.

Já na unidade A5Q6G2.2, o grupo menciona que os íons voltam a se juntar com a evaporação da água, indicando uma observação do processo de recristalização. Ainda que a fala indique um desejo de incluir esse aspecto no modelo, ela não apresenta qualquer explicação relacionado à como ou por que esse fenômeno ocorre, tampouco específica como a modificação seria feita. Por esse motivo, essa unidade foi classificada como "descrição do fenômeno", pois apenas relata o que ocorre, sem aprofundar ou justificar.

A Questão 7 da Atividade 5 propunha uma reflexão mais ampla sobre a importância da revisão de modelos científicos. O Grupo G2 respondeu: *"Para que não haja nenhum erro na substância representada e para que possamos entender melhor como ela funciona"* (A5Q7G2). Esse trecho indica que os estudantes compreendem, em termos gerais, que a revisão dos modelos é necessária para assegurar a precisão na representação e favorecer a compreensão do fenômeno.

No entanto, a resposta não faz referência direta ao modelo produzido pelo grupo, o que pode estar relacionado à formulação da própria pergunta do roteiro que direciona à Ciência. Por essa razão, ela não foi considerada uma unidade de análise epistêmica formal, conforme os critérios estabelecidos nesta pesquisa. Ainda assim, a fala traz elementos relevantes sobre as percepções dos estudantes em relação à Ciência O grupo demonstra compreender que os modelos não são representações fixas, mas ferramentas que precisam ser constantemente revisadas, atualizadas e aprimoradas para garantir sua utilidade na explicação dos fenômenos. Ainda que não seja possível afirmar, com base apenas nesse trecho, que os estudantes extrapolam esse entendimento para os próprios modelos construídos na atividade, a fala sugere uma aproximação inicial com a compreensão do caráter dinâmico dos modelos na prática científica.

Na Questão 9, os estudantes foram convidados a refletir sobre possíveis modificações em seu modelo que facilitassem o entendimento por um novo público-alvo. As respostas do Grupo G2 indicam que os alunos consideraram tanto a fala da professora quanto a avaliação do próprio grupo.

No trecho *"Não fizemos o NaCl juntando, esse foi um ponto que a professora falou que poderia ser melhorado"* (A5Q9G2.1), observa-se uma justificativa: modificar o modelo baseado na autoridade externa, no caso, a professora, sem que os critérios conceituais envolvidos na mudança sejam explicitados. Por essa razão, a fala foi categorizada "autoridade externa" vinculada a consideração epistêmica Justificação.

Na mesma resposta, os alunos colocaram:

> *"*Nosso modelo foi para nossa turma" (A5Q9G2.2.1).
> "A partir do momento em que meu modelo e/ou explicação é questionado, como exemplo outras turmas poderíamos mudar como fizemos as coisas, como a cor que escolhemos ou o material. Poderíamos mudar as etapas também e acrescentar coisas, como as coisas que falamos na questão que perguntava dos ajustes do modelo como a evaporação*"* (A5Q9G2.2.2.)

Na unidade (A5Q9G2.2.1), o grupo reconhece que a construção foi pensada para um público familiarizado com o tema, ou seja, colegas ou a própria professora, o que justifica escolhas menos detalhadas. Essa unidade foi categorizada em autoridade (professor/colegas com familiaridade prévia).

Na continuação (*A5Q9G2.2.2*), os estudantes ampliam sua análise ao considerar a apresentação do modelo para outros públicos. O grupo sugere adaptações tanto na forma quanto no conteúdo do modelo, com base em sua própria interpretação da necessidade de torná-lo mais compreensível. Essa resposta foi categorizada como "Interpretação do grupo sobre o fenômeno", pois evidencia um esforço para avaliar e justificar alterações no modelo de acordo com o contexto comunicativo.

A análise conjunta das duas respostas revela que os estudantes começam a desenvolver uma compreensão mais sofisticada sobre a função dos modelos como artefatos comunicativos e revisáveis, ajustáveis conforme o público-alvo e o contexto de apresentação. Observa-se também uma distinção interessante quanto aos públicos considerados: enquanto a primeira resposta (A5Q9G2.1) parece referir-se a um público com conhecimento prévio sobre ligações químicas, como a professora ou colegas da

própria turma, a segunda (A5Q9G2.2.2) indica a preocupação com um público mais amplo, possivelmente com menos familiaridade com o tema. Essa diferenciação amplia a reflexão dos estudantes sobre a público e reforça a ideia de que a clareza e a acessibilidade do modelo são valores fundamentais na comunicação científica.

Quadro 11. Categorias identificadas na atividade 5

Consideração Epistêmica	**Categoria**	**Frequência**	**Unidades Relacionadas**
Natureza	Explicação do fenômeno	3	A5Q2G2.2, A5Q2G2.3, A5Q6G2.1
	Descrição do fenômeno	4	A5Q1G2, A5Q4G2, A5Q6G2.2 A5Q2G2.1
Justificação	Autoridade externa	1	A5Q9G2.1
	Interpretação do grupo	1	A5Q9G2.2.2
Público	Autoridade (professor/colegas)	1	A5Q9G2.2.1

Fonte: a autora.

A Atividade 5 evidenciou a presença de diferentes categorias epistêmicas, sendo as mais frequentes: explicação do fenômeno e descrição do fenômeno, conforme o Quadro 11. Quanto as Considerações Epistêmicas, percebemos que a Natureza e a Justificação aparecem de forma mais evidente nas decisões tomadas pelos alunos. As respostas dos estudantes revelaram variações no tipo de conhecimento mobilizado, ora descrevendo o que ocorre, ora buscando explicar causalmente os fenômenos observados. Também foram identificadas justificativas baseadas tanto em orientações da professora quanto em análises do próprio grupo, além de preocupações com a comunicação do modelo a diferentes públicos. Essas categorias revelam um trânsito entre etapas do Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM), como o uso explicativo, a avaliação crítica e a revisão do modelo, indicando um avanço na compreensão dos estudantes sobre a natureza representacional, funcional e comunicativa dos modelos científicos.

3.6 Atividade 6

A análise da Atividade 6 revela um momento de consolidação de aprendizagens e de reflexões críticas por parte dos estudantes sobre os modelos construídos ao longo da sequência didática. As respostas do grupo, ainda que sucintas em alguns momentos, evidenciam a mobilização de categorias epistêmicas importantes, principalmente relacionadas à Justificação, à Natureza e ao Público, indicando apropriações parciais, porém significativas, das funções epistêmicas atribuídas à modelagem.

Na Questão 1, ao serem questionados sobre o que o modelo representava, o grupo respondeu: *"mostra o sal se formando, depois se dissolvendo na água e depois voltando quando a água evapora"* (A6Q1G2). Essa unidade de análise demonstra que o grupo reconhece que o modelo elaborado teve a função de representar um processo em etapas. No entanto, a ausência de justificativas causais ou articulações conceituais indica que se trata de um relato sequencial, sem explicações do porquê ou como esses processos ocorrem. Por essa razão, a categoria epistêmica mais adequada para essa unidade é "descrição do fenômeno".

Na questão seguinte, sobre as limitações do modelo (Questão 2), o grupo respondeu: *"quando fizemos parecia que tinham dois elétrons indo pro cloro, mas era só um. Essa é uma limitação importante, pois não deu a ideia que o elétron estava de movimentando"* (A6Q2G2). Essa resposta revela uma reflexão crítica sobre a representação visual do modelo, indicando que os estudantes foram capazes de identificar, após a mediação docente, uma ambiguidade no modelo. A justificativa é construída a partir da interpretação do próprio grupo, que analisa a eficácia comunicativa da representação, caracterizando-se como uma manifestação da categoria "interpretação do grupo sobre o fenômeno".

A mesma categoria epistêmica é mobilizada na resposta à Questão 4, que indagava sobre as modificações feitas no modelo ao longo do processo. O grupo indicou: *"mudamos a cor das bolinhas, colocamos mais etapas e corrigimos umas coisas erradas"* (A6Q4G2). Ainda que a linguagem seja informal, a fala demonstra um movimento de avaliação e revisão do modelo, com foco na clareza e no aprimoramento comunicativo da representação. Ao mencionarem a adição de etapas e a correção de erros,

os estudantes revelam uma postura ativa de avaliação crítica, o que sustenta sua alocação na categoria “interpretação do grupo sobre o fenômeno”.

Na Questão 5, ao refletirem sobre a evolução dos modelos ao longo da sequência, os estudantes afirmaram: *“antes a gente fazia só o átomo, depois a gente começou a mostrar o que acontece passo a passo, tipo quando o sal dissolve e quando volta”* (A6Q5G2). Esse trecho revela que o grupo reconhece um desenvolvimento gradual na forma como representavam os fenômenos, passando de uma visualização estática para uma representação mais dinâmica e processual. A expressão *“passo a passo”* sugere a valorização da estrutura sequencial da explicação. No entanto, essa fala não apresenta mecanismos explicativos nem articulação conceitual sobre as interações químicas envolvidas, permanecendo no nível descritivo. Por essa razão, a categorização mais adequada” descrição do fenômeno”, pois o grupo relata como organizou a representação do fenômeno.

Nas Partes II e III do roteiro, os estudantes foram convidados a refletir sobre o que o modelo revelava sobre a natureza dos íons (Parte II) e sobre a possibilidade de aplicação do modelo a outros compostos iônicos além do NaCl (Parte III). No entanto, o Grupo G2 não forneceu respostas significativas para essas seções, limitando-se a anotações genéricas ou deixando os campos em branco. A ausência de justificativas mais elaboradas pode estar relacionada a diversos fatores: o nível de abstração exigido pelas perguntas, a dificuldade de transferir o modelo para outros contextos ou ainda o cansaço acumulado após uma sequência de atividades complexas. Nesse sentido, Blanco-Anaya, Justi e Díaz de Bustamante (2017) apontam que atividades fundamentadas em modelagem demandam tempo e engajamento, o que pode representar um desafio adicional em contextos escolares tradicionais.

Do ponto de vista epistêmico, a ausência de respostas significativas nas Partes II e III reforça o entendimento de que, ao longo da sequência didática, a consideração da Generalidade não foi mobilizada pelos estudantes. Ainda que os modelos revelem um entendimento progressivo do sistema NaCl, esse conhecimento permaneceu ancorado em um único exemplo, sem extrapolação para novos contextos. Esse resultado pode estar relacionado a uma limitação no próprio desenho da sequência, que não propôs, de forma sistemática, comparações com outros compostos ou desafios que exigissem a aplicação do modelo a situações distintas. Assim, embora os alunos tenham desenvolvido

explicações mais coerentes sobre o sistema investigado, faltaram oportunidades que incentivassem o reconhecimento de padrões mais amplos entre os fenômenos, condição essencial para a emergência da consideração epistêmica da Generalidade.

Na Parte IV da atividade, os estudantes foram questionados sobre quais evidências experimentais sustentavam a explicação sobre a formação de íons. A resposta apresentada pelo Grupo G2 inicia com *"quando o sal se mistura, ele some, porque ele se dissolveu na água"* (A6Q8G2.1). Essa manifestação apresenta uma descrição direta do fenômeno de dissolução no nível macroscópico, sem articulação conceitual. Por isso, foi categorizada como "descrição do fenômeno", pois se limita a relatar o que ocorre, conforme os critérios definidos na metodologia.

Em seguida, os estudantes complementam: *"isso mostra que ele se separou em partes menores, que são os íons"* (A6Q8G2.2). Neste trecho, há uma tentativa de interpretação que vai além da observação direta, sugerindo um raciocínio a partir da dissolução. Essa construção de sentido, feita com base em conhecimentos prévios enquadra-se na categoria "interpretação do grupo sobre o fenômeno". O raciocínio é aprofundado quando afirmam: *"quando ele se separa, a água com os íons passa a ser condutora de energia"* (A6Q8G2.3), indicando uma relação causal entre a presença de íons e a condutividade elétrica. Essa fala expressa uma tentativa de explicar o fenômeno com base em uma propriedade mensurável, sendo assim categorizada como "explicação do fenômeno".

Por fim, a proposta de testar a hipótese por meio de um experimento — *"daria para fazer um experimento como aqueles que acende um LED"* (A6Q8G2.4) — revela a intenção do grupo de prever um resultado empírico que confirmaria sua explicação. A fala não descreve um experimento já realizado, mas antecipa uma possível evidência que sustentaria a presença de íons. Por esse motivo, essa manifestação foi categorizada como "previsão do fenômeno".

Por fim, a Parte V do roteiro solicitava aos estudantes que adaptassem a explicação do modelo para um público que não tivesse familiaridade com o conceito de ligações químicas. O grupo respondeu: *"a gente diria que é como se fossem duas peças que se encaixam: uma perde e a outra pega um pedacinho (elétron)"* (A6Q9G2). Ainda que a explicação utilize uma linguagem informal, a analogia empregada demonstra uma preocupação em tornar a ideia mais acessível a outros interlocutores. Esse esforço revela

que os estudantes estavam considerando o modelo como um artefato comunicativo, destinado não apenas à avaliação da professora, mas também à compreensão de terceiros. Assim, essa unidade de análise foi alocada na categoria Público –"Uso colaborativo", pois o modelo é compreendido como um produto compartilhável, capaz de mediar a construção de conhecimento em contextos coletivos (BERLAND *et al*., 2016).

De forma geral, a Atividade 6 evidencia a mobilização predominante de duas categorias: descrição do fenômeno e interpretação do grupo sobre o fenômeno, conforme o Quadro 12. A ausência da consideração da Generalidade reforça a necessidade de ajustes na estrutura da sequência, com vistas a incluir atividades que incentivem a extrapolação dos modelos para novos contextos. Tais ajustes poderão contribuir para a ampliação do repertório epistêmico dos estudantes, favorecendo o desenvolvimento de uma compreensão mais integrada e transferível dos conceitos científicos.

Quadro 12 Categorias identificadas na atividade 6.

Consideração Epistêmica	**Categoria**	**Frequência**	**Unidades Relacionadas**
Natureza	Descrição do fenômeno	3	A6Q1G2, A6Q5G2, A6Q8G2.1
	Explicação do fenômeno	1	A6Q8G2.3
	Previsão do fenômeno	1	A6Q8G2.4
Justificação	Interpretação do grupo sobre o fenômeno	3	A6Q2G2, A6Q4G2, A6Q8G2.2
Público	Uso colaborativo	1	A6Q9G2

Fonte: a autora

3.7 Aspectos Relevantes e Desafios da Implementação da Modelagem

Ao concluir a análise das atividades, foi possível a identificação de padrões mais amplos de engajamento epistêmico por parte dos estudantes ao longo da sequência didática. Com o intuito de sintetizar esses resultados, as Figuras 8 e 9 reúnem, respectivamente, a distribuição das categorias epistêmicas por atividade e a proporção geral das dimensões epistêmicas mobilizadas. Esses dados contribuem para uma visão mais integrada do desenvolvem dos estudantes e oferecem subsídios importantes para a reflexão dos resultados obtidos.

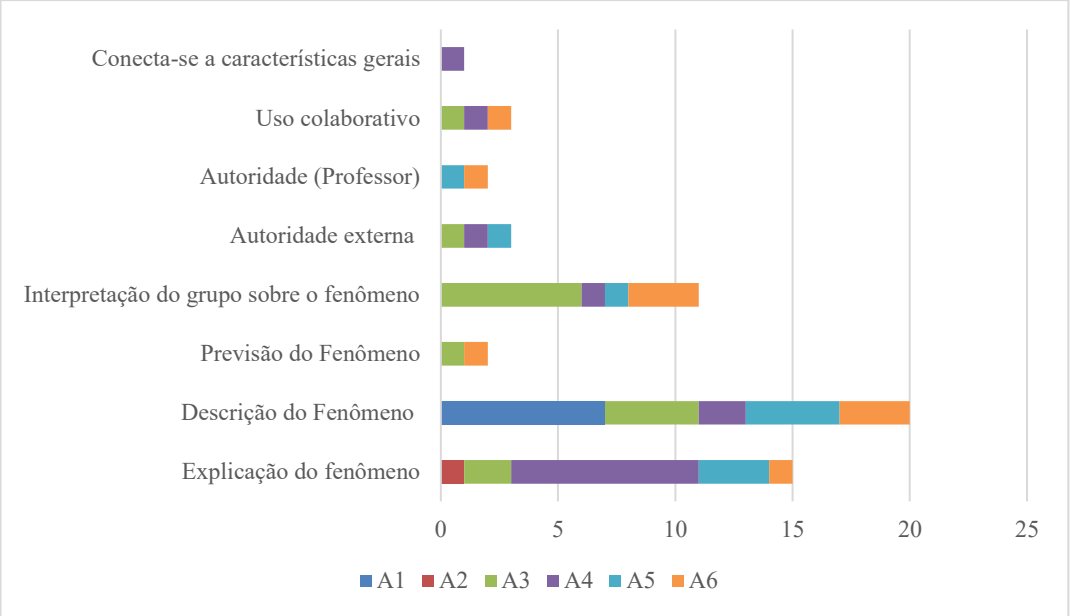


Figura 8. Distribuição das categorias por atividade.
Fonte: a autora.

Na Figura 8, observa-se o predomínio das categorias vinculadas à "explicação do fenômeno" e à "descrição do fenômeno", ambas pertencentes à dimensão da Natureza, conforme proposto por Berland *et al.* (2016). Tais categorias foram especialmente recorrentes nas atividades 1, 3, 4 e 5, sugerindo que os estudantes estiveram fortemente engajados na construção de raciocínios causais e na representação submicroscópica dos fenômenos investigados. A categoria "interpretação do grupo", relacionada à Justificação, também apareceu com frequência, evidenciando momentos de avaliação crítica dos modelos. Em contraste, as manifestações das dimensões Público e Generalidade ocorreram de forma pontual, o que pode estar associado à estrutura da sequência e à ausência de propostas explícitas voltadas à comunicação com diferentes públicos ou à aplicação do modelo em novos contextos.

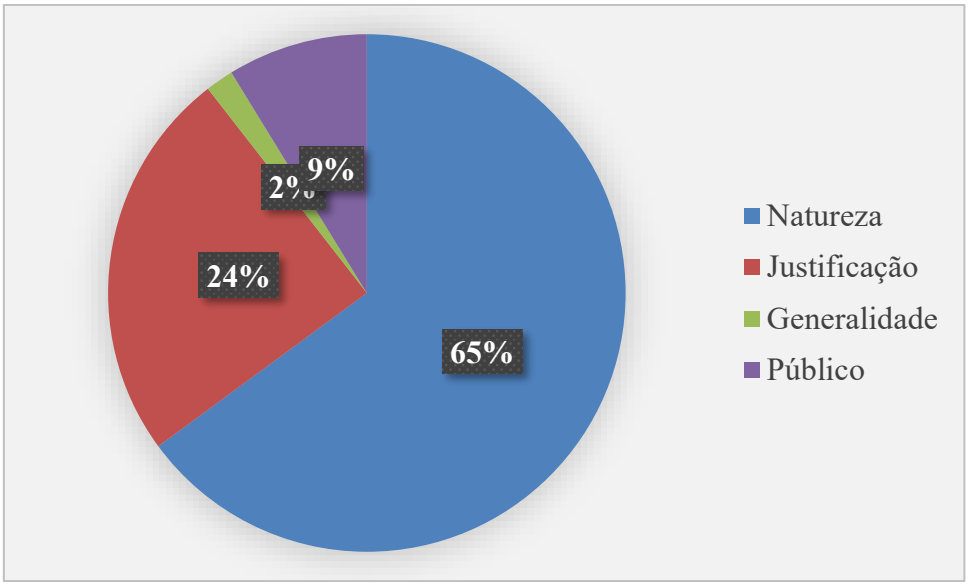


Figura 9. Distribuição das Dimensões Epistêmicas ao longo da sequência.
Fonte: a autora.

A Figura 9 apresenta a distribuição percentual das quatro considerações epistêmicas identificadas ao longo da sequência didática, com destaque para a predominância da Natureza (65%), o que reforça o papel central da descrição e explicação de fenômenos na construção dos modelos pelos estudantes. A presença da Justificação (24%) aponta para momentos em que os alunos foram desafiados a revisar e defender suas representações, especialmente em atividades que promoveram a avaliação crítica dos modelos criados. Por outro lado, as considerações relacionadas ao Público (9%) e à Generalidade (2%) apareceram de forma mais pontual, sugerindo a necessidade de maior intencionalidade didática na promoção de reflexões sobre o uso social do conhecimento e sua aplicabilidade em diferentes contextos.

Tais resultados são valiosos para compreender não apenas as considerações epistêmicas mobilizados pelos estudantes, mas também os limites da própria sequência de atividades. Nesse sentido, futuras produções, e mesmo aplicações dessa sequência didática poderão ser aprimoradas com o objetivo de promover uma experiência mais equilibrada, tanto em relação às categorias epistêmicas quanto aos vértices do tetraedro da modelagem.

Cabe destacar que, ao longo das atividades, alguns modelos produzidos pelos estudantes incorporaram concepções alternativas ou simplificações. Entre elas, observa-se, por exemplo, a representação da ligação química como um processo de “doação” de elétrons, ou ainda a interpretação dos compostos iônicos como estruturas formadas por

pares de átomos unidos por “elétrons emparelhados” — uma visão que se aproxima do modelo de ligação covalente, mas que não corresponde à natureza das interações eletrostáticas que caracterizam a ligação iônica. Tais concepções, embora não tenham sido objeto de análise específica nesta pesquisa, refletem as dificuldades documentadas na literatura (FERNANDES; CAMPOS, 2012; FREITAS *et al.,* 2022) e reforçam os desafios didáticos envolvidos na abordagem desse tema.

É importante ressaltar que os estudantes envolvidos nesta pesquisa são do 9º ano do Ensino Fundamental, e que o tema das ligações químicas foi introduzido no período ao qual essa pesquisa foi desenvolvida. Portanto, parte dessas simplificações reflete não apenas dificuldades conceituais, mas também o estágio inicial de apropriação dos conceitos, uma vez que esse conteúdo não faz parte das práticas escolares usuais para essa etapa de escolarização.

Além disso, embora o foco da presente pesquisa não tenha sido avaliar a aprendizagem conceitual dos alunos sobre ligações químicas, mas sim compreender como eles mobilizaram considerações epistêmicas no contexto de atividades de modelagem, ao final da sequência didática foram realizadas discussões específicas para retomar, esclarecer e sistematizar os conceitos científicos envolvidos, especialmente no que se refere à natureza da ligação iônica, à formação de íons e às interações eletrostáticas. Esse movimento foi fundamental para promover o refinamento conceitual dos estudantes, o que, inclusive, está alinhado com os princípios do Ensino Fundamentado em Modelagem, no qual a construção, avaliação e revisão dos modelos favorece não apenas práticas epistêmicas, mas também a aprendizagem conceitual ao longo do processo.

Assim, reconhecemos que as limitações conceituais observadas nos modelos fazem parte de um processo de aprendizagem em construção, especialmente considerando a faixa etária e o fato de que este foi o primeiro contato dos alunos com conceitos de estrutura da matéria e ligações químicas mediados por atividades de modelagem.

Do ponto de vista da prática docente, a experiência impactou significativamente minha atuação em sala de aula. A modelagem mostrou-se uma estratégia não apenas para promover a compreensão de conteúdos abstratos, mas também para tornar visíveis as concepções dos alunos, suas dúvidas e seus processos de construção de significado. Foi especialmente motivador acompanhar a forma como os estudantes justificavam suas decisões, avaliavam seus modelos e buscavam aperfeiçoá-los. Embora esta dissertação

tenha focado, em sua análise, o Grupo G2, percebi um envolvimento crescente da turma como um todo ao longo da sequência.

Por outro lado, alguns desafios também se fizeram presentes. O número de atividades e a densidade dos roteiros provocaram certo cansaço nos estudantes, o que pode ter influenciado a qualidade das respostas em momentos pontuais. Os alunos apresentaram dificuldade em expressar em texto suas ideias, então, algumas questões foram muito objetivas como sim ou não, o que dificultou a obtenção de alguns dados.

Somando-se a isso, esta foi a primeira vez que lecionei para uma turma do 9º ano e que desenvolvi uma sequência didática fundamentada em modelagem. A introdução a essa abordagem impactou minha capacidade de prever o desenvolvimento das atividades, dificultando a antecipação de eventuais problemas de execução e mediação. Assim, algumas decisões de planejamento e condução precisaram ser revistas ao longo da própria sequência, como a delimitação das atividades ao NaCl. Ademais, o tempo reduzido destinado à disciplina de Ciências no Ensino Fundamental limita a implementação contínua de abordagens investigativas mais exigentes, como o EFM a muitas unidades de ensino. Ainda assim, os resultados obtidos indicam que, mesmo com essas limitações, é possível promover avanços significativos na construção de práticas científicas desenvolvidas em sala de aula.

Essa constatação se aproxima aos apontamentos de Blanco-Anaya, Justi e Díaz de Bustamante (2017), Bricker e Kinzie (2016) e Schwarz *et al*. (2009), que ressaltam a importância da continuidade e da sustentação das práticas de modelagem ao longo do tempo. Esses autores destacam que ciclos mais longos de modelagem permitem o desenvolvimento de explicações mais sofisticadas, o aprimoramento das representações e a consolidação de um raciocínio científico mais crítico. Nesse contexto, uma aplicação mais prolongada do EFM tende a ampliar o repertório epistêmico dos estudantes e diversificar suas interações com os modelos, favorecendo um percurso investigativo mais completo e alinhado às práticas autênticas da Ciência.

Esses desafios revelam que a implementação do Ensino Fundamentado em Modelagem, especialmente em turmas do Ensino Fundamental, exige um esforço constante de planejamento, mediação e adaptação por parte do professor. A construção de modelos científicos demanda tempo, engajamento contínuo dos estudantes e um ambiente escolar que favoreça esse tipo de atividade, o que nem sempre é compatível

com as condições estruturais e curriculares de muitas escolas. Além disso, a natureza abstrata dos conteúdos envolvidos e a pouca familiaridade dos estudantes com práticas epistêmicas tornam o processo mais exigente. Ainda assim, essas dificuldades não devem ser vistas como obstáculos intransponíveis, mas como parte do próprio processo de apropriação da modelagem como prática pedagógica.

4 - Desdobramentos da Pesquisa

4.1 Ausência da Consideração de Generalidade

Um aspecto importante observado nesta pesquisa foi a baixa ocorrência das manifestações ligadas à consideração epistêmica da Generalidade ao longo das atividades de modelagem. Essa dimensão, segundo Berland *et al.* (2016), refere-se à capacidade dos estudantes de relacionar os produtos de conhecimento a uma gama mais ampla de fenômenos ou ideias científicas. Em outras palavras, envolve reconhecer que modelos científicos podem não se restringir à explicação de casos isolados, mas podem ser capazes de conectar diferentes situações, prever comportamentos e sustentar explicações mais abrangentes.

A pouca mobilização dessa consideração pode estar relacionada a diferentes fatores: a natureza das tarefas propostas, que podem não ter exigido, de forma explícita, a articulação entre diferentes fenômenos; o tempo reduzido para desenvolvimento das atividades; e o próprio estágio inicial de familiaridade dos estudantes com o processo de modelagem.

Do ponto de vista da aprendizagem, a mobilização da Generalidade é central para o desenvolvimento de raciocínios científicos mais abstratos, pois permite aos estudantes irem além da descrição pontual de fenômenos para construir explicações mais sistemáticas e com maior poder de previsão e generalização. Ignorar essa dimensão pode levar à cristalização de concepções fragmentadas, dificultando a construção de um entendimento mais integrado sobre os conceitos científicos.

Do ponto de vista da pesquisa, essa constatação aponta para a necessidade de novas investigações que explorem propositalmente estratégias didáticas capazes de favorecer a mobilização da Generalidade, como a proposição de tarefas que exijam comparação entre fenômenos, construção de modelos para diferentes contextos ou ainda a análise crítica dos limites e aplicabilidades dos modelos criados. Tais propostas podem promover uma ampliação da visão dos estudantes sobre a Ciências e favorecer a consolidação de modelos complexos e funcionais. Compreender como essa dimensão pode emergir e de que forma ela pode ser favorecida constitui um caminho promissor

para aprofundar a articulação entre modelagem e as considerações epistêmicas manifestadas na prática.

4.2 Contribuições à Formação Docente

Os resultados obtidos também podem ajudar a formação de professores de Ciências. O engajamento epistêmico dos estudantes, tal como analisado à luz das EIP, evidencia a complexidade do trabalho docente em propostas didáticas que visam promover práticas científicas autênticas. Mais do que aplicar sequências previamente estruturadas, é necessário que o professor desenvolva a escuta, análise e interpretação das ações dos estudantes como práticas epistêmicas, reconhecendo que decisões, justificativas e formas de participação revelam compreensões, muitas vezes implícitas, sobre a visão de Ciência que esses alunos possuem.

Nesse sentido, a articulação entre os referenciais do EFM e das EIP pode representar uma oportunidade à formação docente, ao permitir que o professor compreenda, acompanhe e favoreça o desenvolvimento de raciocínios mais complexos por parte dos alunos. Essa articulação pode contribuir para uma prática pedagógica mais sensível às formas como os estudantes constroem, testam e validam conhecimentos em sala de aula.

Contribuir à formação de professores para essa abordagem implica não apenas introduzir esses referenciais teóricos à sua atuação, mas também promover vivências e reflexões que articulem as práticas escolares com as atividades desenvolvidas pela Ciência, favorecendo uma aproximação real entre esses dois campos. Trata-se de problematizar, por exemplo, como os critérios de validação do conhecimento operam na Ciência formal e como podem ser reinterpretados em propostas didáticas. Da mesma forma, é necessário criar espaços formativos que permitam ao professor compreender o papel do modelo como artefato epistêmico, e não apenas como instrumento ilustrativo. Ao reconhecer que os estudantes não apenas reproduzem conhecimentos, mas participam ativamente da construção de sentidos, o docente se coloca como mediador de práticas mais autênticas, aproximando o ensino escolar da natureza dinâmica, provisória e situada da Ciência acadêmica.

4.3 Implicações para a Área de Ensino de Ciências

Este estudo também apresenta contribuições para a área de Ensino de Ciências ao reforçar a articulação entre o EFM e as EIP como referenciais complementares no trabalho com modelagem. A análise das ações dos estudantes a partir da EIP permitiu não apenas identificar o conteúdo dos modelos criados, mas também compreender as intenções, justificativas e estratégias envolvidas na construção desses produtos de conhecimento. Essa abordagem oferece à área uma alternativa analítica e didática que vai além da avaliação de produtos ou da verificação de conceitos esperados.

Ao se debruçar sobre um conteúdo comumente considerado desafiador — as ligações químicas — e sobre uma etapa historicamente pouco explorada no Ensino de Ciências e no Ensino de Química — o Ensino Fundamental —, esta pesquisa buscou contribuir para uma lacuna ainda presente na literatura da área, que se concentra majoritariamente no Ensino Médio. Ao aplicar o EFM em conjunto com as Epistemologias na Prática nesse segmento da escolarização, o estudo oferece evidências de que é possível envolver estudantes mais jovens em práticas epistêmicas autênticas e complexas, desde que adequadamente adaptadas à sua realidade escolar e formativa.

Considerações Finais

Esta pesquisa teve como objetivo identificar as considerações epistêmicas na prática demonstradas por estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do Estado do Rio de Janeiro, durante atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas. A partir da elaboração e aplicação de uma sequência didática composta por atividades voltadas à criação, expressão, teste e avaliação de modelos, buscou-se compreender como os alunos se engajaram na construção do conhecimento por meio da modelagem, à luz dos referenciais de Berland *et al*. (2016) e Gilbert e Justi (2016).

Os resultados evidenciaram uma predominância das considerações epistêmicas da Natureza e da Justificação, com destaque para as categorias de explicação e descrição de fenômenos. As dimensões de Público e Generalidade apareceram de forma menos frequente, sugerindo a necessidade de intervenções didáticas mais intencionais para que essas formas de engajamento epistêmico também possam ser mobilizadas.

A distribuição das considerações epistêmicas ao longo da sequência revela que a Natureza foi mobilizada com maior frequência nas Atividades 2, 3 e 5, especialmente por meio das categorias “explicação do fenômeno” e “descrição do fenômeno”, como no caso da explicação sobre a liberação de odor no café quente (Atividade 2) e da representação do processo de formação de íons (Atividade 3). A Justificação teve destaque nas Atividades 5 e 6, quando os estudantes precisaram revisar seus modelos com base em discussões coletivas. Já as considerações de Público apareceram mais claramente nas Atividades 5 e 7, quando os alunos demonstraram intenção de tornar seus modelos compreensíveis para colegas ou para a professora. A Generalidade apareceu pontualmente em um episódio da Atividade 6, quando um grupo relacionou o reaparecimento do sal à evaporação da água, extrapolando o fenômeno analisado.

Do ponto de vista do tetraedro da modelagem (GILBERT; JUSTI, 2016), os dados indicam a mobilização predominante dos vértices de criação, expressão e avaliação, com menor ocorrência explícita do vértice de teste. Essa configuração reflete, em parte, o planejamento da sequência. No entanto, é importante considerar que o teste dos modelos ocorreu de forma implícita, por meio de testes mentais, ainda que esses não tenham sido manifestos de maneira expressa nas produções dos estudantes.

Ainda assim, observou-se um processo inicial de apropriação da modelagem como prática epistêmica. Os estudantes passaram a utilizar os modelos não apenas como representações visuais, mas como recursos explicativos e comunicativos, mobilizando conceitos científicos para justificar suas ideias, identificar limitações e buscar clareza na apresentação de seus raciocínios. Mesmo diante de limitações terminológicas ou conceituais, foi evidenciado o esforço dos alunos em construir argumentos causais e interpretar fenômenos com base em princípios da Ciência.

Esses resultados dialogam com investigações anteriores sobre o EFM no ensino de ligações químicas, como Mendonça e Justi (2009) e Sá, Moralles e Bego (2019), que também destacam o potencial da modelagem para favorecer avanços conceituais e o desenvolvimento do pensamento crítico e da argumentação científica, especialmente quando as sequências didáticas integram, de forma articulada, os diferentes vértices do processo de modelagem.

Os dados desta pesquisa também se aproximam da literatura que investigam o engajamento epistêmico em sala de aula por meio do referencial das Epistemologias na Prática. Krist (2020), por exemplo, observou que, mesmo em contextos de atividades orientadas para práticas científicas, os estudantes tendem a mobilizar com maior frequência a dimensão da Natureza, sobretudo quando a estrutura da tarefa não favorece momentos de revisão e comunicação. De forma semelhante, Grapin *et al.* (2023) identificaram um padrão análogo em turmas com diversidade linguística, destacando que as dimensões de Justificação e Público emergem com maior intensidade quando há espaços sistemáticos para colaboração e exposição de ideias. Tais convergências reforçam os resultados aqui obtidos e apontam para a relevância de sequências didáticas que articulem intencionalmente múltiplos tipos de engajamento epistêmico no Ensino de Ciências.

A pesquisa também contribuiu para a formação da docente-pesquisadora, ao evidenciar a modelagem como estratégia para acessar as concepções dos estudantes, promover reflexões significativas e favorecer o desenvolvimento de práticas epistêmicas mais autênticas. Ao mesmo tempo, revelou desafios relacionados ao tempo limitado para o desenvolvimento de atividades, à complexidade dos conteúdos e a inexperiência dos próprios estudantes em atividades de modelagem.

Entre as limitações identificadas, destaca-se o foco exclusivo no sistema NaCl e a ausência de atividades voltadas à comparação entre diferentes compostos, o que pode ter restringido o desenvolvimento da consideração epistêmica da Generalidade. Além disso, o número de questões e o ritmo intenso da sequência podem ter provocado cansaço em alguns momentos, o que pode ter afetado a profundidade das respostas dos estudantes.

Em síntese, esta pesquisa reafirma o potencial do Ensino Fundamentado em Modelagem como uma alternativa para o Ensino de Ciências, ao possibilitar que os estudantes se engajem em práticas epistêmicas autênticas e desenvolvam compreensões mais profundas sobre a natureza do conhecimento científico. A integração das Epistemologias na Prática como ferramenta analítica permitiu compreender não apenas o que os estudantes aprenderam, mas como construíram esse conhecimento e quais decisões epistêmicas mobilizaram ao longo do processo.

Por fim, os resultados desta pesquisa reforçam a importância de práticas que envolvam os estudantes na construção ativa do conhecimento, promovendo uma aproximação entre o fazer escolar e a dinâmica investigativa da Ciência. A articulação entre o Ensino Fundamentado em Modelagem e as Epistemologias na Prática se mostrou possível para acessar e interpretar as ações epistêmicas dos estudantes, apontando caminhos interessantes para a pesquisa e para a formação docente. Espera-se que este trabalho contribua para o avanço das discussões sobre a modelagem no Ensino Fundamental e inspire novas investigações que aprofundem a compreensão das práticas epistêmicas em sala de aula, fortalecendo a construção de uma educação científica ainda mais crítica.

Referências

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2011.

BARRETO, U. R. **Modelos em Química:** ensino, pesquisa e linguagem. 1 ed. Curitiba: Appris, 2020.

BERLAND, L. K.; HAMMER, D. (2012). Framing for scientific argumentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 49, n. 1, p. 68–94, 2012. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.20446. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.20446. Acesso em: 24 jan. 2023.

BERLAND, L. K.; HAMMER, D. (2012). Students' framings and their participation in scientific argumentation. In M. S. Khine (Ed.), **Perspectives on scientific argumentation**. Dordrecht: Springer, 2012. p. 73–93.

BERLAND, L. K; SCHWARZ, C. V.; KRIST, C.; KENYON, A. S. Lo; REISER, B. J. Epistemologies in Practice: Making Scientific Practices Meaningful for Students. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 53, n. 7, p. 1082–1112, set. 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.21257. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.21257. Acesso em: 24 nov. 2024.

BLANCO-ANAYA, P.; JUSTI, R.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. Challenges and opportunities in analysing students' modelling-based teaching sequences. **International Journal of Science Education**, London, v. 39, n. 3, p. 377–402, 2017. DOI: https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1286408. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2017.1286408. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 1 jul. 2024.

CALABRESE BARTON, A.; TAN, E.; RIVET, A. (2008). Creating hybrid spaces for engaging school science among urban middle school girls. **American Educational Research Journal,** v. 45, n. 1, p. 68–103, mar. 2008. DOI: https://doi.org/10.3102/0002831207308641. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.3102/0002831207308641. Acesso em: 24 mai. 2024.

CHITTLEBOROUGH, G.; TREAGUST, D. F.; MAMIALA, T. L.; MOCERINO, M. Student's perceptions of the role of models in the process of science and in the process of learning. **Research in Science & Technological Education,** London, v. 23, n. 2, p. 195–212, 2005. DOI: https://doi.org/10.1080/02635140500266484. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02635140500266484. Acesso em: 24 jun. 2025.

CLEMENT, J. J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 9, p. 1041–1053, 2000. DOI: https://doi.org/10.1080/095006900416901. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/095006900416901. Acesso em: 24 jan. 2024.

COLL, R. K.; FRANCE, B.; TAYLOR, I. The role of models and analogies in science education: implications from research. **International Journal of Science Education**, London, v. 27, n. 2, p. 183–198, fev. 2005. DOI: https://doi.org/10.1080/0950069042000276712. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069042000276712. Acesso em: 24 fev. 2024.

COSTA, A. M.; OLIVEIRA, T. M. S.; ALVES, I. C. A construção de explicações sobre ligações iônicas em aulas de Ciências no Ensino Fundamental: um estudo de caso. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.] v. 10, n. 2, p. 239–260, 2008.

FERNANDES, L. dos S.; CAMPOS, A. F. Pesquisas em periódicos nacionais e internacionais sobre o ensino e aprendizagem de ligação química. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 153-157, 2012. Disponível em: https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4. Acesso em: 30 jun. 2024.

FERREIRA, P. F. M.; JUSTI, R. S. Modelagem e o "Fazer Ciência". **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 28, p. 32–36, mai. 2008. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc28/08-RSA-3506.pdf. Acesso em: 3 de maio 2023.

FREITAS, M. C. C. de; LOPES JUNIOR, M. L.; FREITAS, A. C. G. de A.; SANTOS, A. C. dos; CORREIA, L. M.; SANTOS, G. B. dos; SANTOS, L. da S.; ARAÚJO, R. N. M.; SILVA, L. O. da; PINHEIRO, W. B. de S. **Ensino e aprendizagem do conteúdo de ligação química na disciplina de Ciências: percepção dos alunos do 9º ano do Ensino Fundamental.** *In*: Open Science Research VII. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.37885/221010480. Acesso em: 21 abr. 2025.

FORD, M. J. 'Grasp of practice' as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding. **Science & Education**, Dordrecht, v. 17, n. 2–3, p. 147–177, jul. 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-006-9045-7. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-006-9045-7. Acesso em: 4 abr. 2024.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. **Modelling-based Teaching in Science Ecucation.** Dordrecht: **Springer**. 2016. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-29039-3. Acesso em: 18 mai. 2023.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **RAE - Revista de Administracao de Empresas**, *[S. I.]*, v. 35, n. 3, p. 20–29, mai. 1995. Disponível em: https://periodicos.fgv.br/rae/article/view/38200. Acesso em: 23 jul. 2024.

GOUVEA, J.; PASSMORE, C. 'Models of'versus 'Models for' Toward an Agent-Based Conception of Modeling in the Science Classroom. **Science & Education**, Dordrecht, v. 26, p. 49-63, abr. 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4. Disponível: https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-017-9884-4. Acesso em: 14 de mar. 2024.

GROSSLIGHT, L.; UNGER, C.; JAY, E.; SMITH, C. L. Understanding Models and their use in Science: Conceptions of middle and high school students and experts. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 9, p. 799–822, nov. 1991. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.3660280907. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tea.3660280907. Acesso em: 2 jun. 2023.

HARRISON; TREAGUST, D. F. Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. **Science education**, London, v. 80, n. 5, p. 509-534, set. 1996. DOI: https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199609)80:5<509::AID-SCE2>3.0.CO;2-F. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1098-237X(199609)80:5%3C509::AID-SCE2%3E3.0.CO;2-F. Acesso em: 24 jan. 2025.

IBRAIM, S. de S.; MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. A modelagem no ensino de ciências: articulações entre diferentes perspectivas teóricas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 1, p. 159–185, nov. 2013. Disponível em: https://abrapecnet.org.br/revistas/index.php/rbpec/article/view/472. Acesso em: 24 jun. 2024.

INGHAM, A. M.; GILBERT, J. K. The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. **International Journal of Science Education,** London, v. 13, n. 2, p. 193–202, fev. 2007. DOI: https://doi.org/10.1080/0950069910130206. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069910130206. Acesso em: 24 abr. 2024.

ISLAS, S. M.; PESA, M. A. A. Qué ideas tiene los profesores de física de nivel medio respecto al modelado? **Ciência & Educação**, Bauru, v. 8, n. 1, p. 13–26, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-73132002000100002. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ciedu/a/YqH9M7KbF7fWVrjttz6VbYC/?lang=es. Acesso em: 15 jul. 2024.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; CRUJEIRAS, B. Epistemic practices and scientific practices in science education. In: DILLON, J. (ed.). **Science Education**. Leiden: Brill, 2017. p. 69–80. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-6300-749-8_5. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/312248304_Epistemic_Practices_and_Scientific_Practices_in_Science_Education. Acesso em: 15 jul. 2024.

JUSTI, R. Ensino fundamentado em modelagem: significado e contribuições para a aprendizagem de e sobre o Ciências. *In*: CUSTÓDIO, J. F; COSTA, D. A. da; FLORES, C. R; GRANDO, R. C. **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA (PPGECT)**: CONTRIBUIÇÕES PARA PESQUISA E ENSINO. 1ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2018.

JUSTI, R. La Enseñanza de Ciencias Basada en la Elaboración de Modelos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 2, p. 173-184, nov. 2006. DOI: https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3798Disponível em: https://ensciencias.uab.es/article/view/v24-n2-justi. Acesso em: 24 dez. 2023.

JUSTI, R.; GILBERT, J. K. Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 24, n. 12, p. 1273-1292, nov. 2010. DOI: https https://doi.org/10.1080/09500690210163198. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690210163198. Acesso em: 24 fev. 2025.

KNUUTTILA, T.; BOON, M. How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine. **European Journal for the Philosophy of Science**, v. 1, n. 3, p. 309-334, set. 2011. DOI: 10.1007/s13194-011-0029-3. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s13194-011-0029-3. Acesso em: 23 mar. 2024.

MAIA, P. F.; JUSTI, R. Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-Based Teaching. **International Journal of Science Education**, Londres, v. 31, n. 5, p. 603-630, mar. 2009. DOI: 10.1080/09500690802538045. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09500690802538045. Acesso em: 23 jun. 2023.

MADEIRA, R. P. **Modelagem no ensino de Ciências e Matemática: uma revisão de periódicos nacionais A1 de 2001 a 2022**. 2024. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, Rio de Janeiro, 2024.

MARTINS, M.; JUSTI, R.; MENDONCA, P. C. C. O papel da argumentação na mudança conceitual e suas relações com a epistemologia de Lakatos. **Educación Química**. Cidade México, v. 27, n. 1, p. 3-14, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.08.003. Disponível em <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2016000100003&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 13 set. 2024

MELO, M. R. **Estrutura atômica e ligações químicas: uma abordagem para o ensino médio**. 2002. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2002.

MENDONÇA, P. **'Ligando' as ideias dos alunos à ciência escolar: análise do**

ensino de ligação iônica por modelagem. 2008. 216 f. Dissertação (Mestrado em Educação) — Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R. Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem Parte I. **Educación Química**, *[S. l.],* v. 20, p. 282-293, jun. 2009. DOI: 10.1016/S0187-893X(18)30065-X. Disponível em: https://www.elsevier.es/pt-revista-educacion-quimica-78-articulo-favorecendo-o-aprendizado-do-modelo-S0187893X1830065X. Acesso em: 23 mar. 2024.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA BRASILEIROS DESTINADOS AO ENSINO MÉDIO. **Investigações em Ensino de Ciências**, Cidade México, v. 5, n. 2, p. 67–91, nov. 2016. Disponível em: 4https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/650/0. Acesso em: 23 jan. 2025.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Educação**, Porto Alegre, v. 22, n.37, p. 7-32, mar. 1999.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. da S. MODELAGEM ANALÓGICA NO ENSINO DE CIÊNCIAS. **Investigações em Ensino de Ciências**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 155–182, abr. 2018. DOI: 10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p155. Disponível em: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n1p155. Acesso em: 14 nov. 2023.

NAHUM, T. L.; MAMLOK-NAAMAN, R.; HOFSTEIN, A.; KRAJCIK, J. Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. **Science Education**, v. 91, n. 4, p. 579-603, jun. 2007. DOI: 10.1002/sce.20201. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.20201. Acesso em: 22 fev. 2024.

PAGANINI, P.; JUSTI, R.; MOZZER, N. B. Mediadores na coconstrução do conhecimento de ciências em atividades de modelagem. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 20, n. 4, p. 1019-1036, 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1516-73132014000400016. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/ciedu/v20n4/1516-7313-ciedu-20-04-1019.pdf. Acesso em: 22 fev. 2024.

PAZINATO, M. S. **Ligações químicas: investigação da construção do conhecimento dos estudantes**. 2016. Tese (Doutorado em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 372, 2016.

PEREIRA, E. M.; SILVA, D. S.; COSTA, E. S.; SILVA, A. A.; HARAGUCHI, S. K. Quest das ligações químicas: um jogo didático para o ensino de química. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 2, n. 2, p. 886-900, ago. 2020. Disponível em: https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/4241. Acesso em: 11 mar. 2024.

PEREIRA, A. S.; SHITSUKA, D. M.; PARREIRA, F. J.; SHITSUKA, R.

Metodologia da pesquisa científica. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 2018.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

REISER, B. J.; BERLAND, L. K.; KENYON, L. Engaging students in the scientific practices of explanation and argumentation. **Science Teacher**, v. 79, n. 4, abr. 2012. ISSN: ISSN-0036-8148. Disponível em: https://static.nsta.org/ngss/resources/201204_Framework-ReiserBerlandKenyon.pdf. Acesso em 30 de jun 2024.

RUSS, R. S.; BERLAND, L. K. Invented Science: A Framework for Discussing a Persistent Problem of Practice. **Journal of the Learning Sciences**, v. 28, n. 3, p. 279-301, nov. 2018. DOI: 10.1080/10508406.2018.1517354. Disponível em: https://doi.org/10.1080/10508406.2018.1517354. Acesso em: 30 jun. 2024.

SÁ, C. R. A.; MORALLES, V. A.; BEGO, A. M. Modelo atômico de Thomson e o Ensino Fundamentado em Modelagem: uma intervenção no Ensino Médio. **REnCiMa**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 1-24, mar. 2021. DOI: 0.26843/rencima.v12n2a17. Disponível : https://www.researchgate.net/publication/349694720_Modelo_atomico_de_Thomson_e_o_Ensino_Fundamentado_em_Modelagem_uma_intervencao_no_Ensino_Medio_Thomson's_atomic_model_and_Modelling-Based_Teaching_an_intervention_in_High_School. Acesso em 17 de jan. 2024.

SAARI, H.; VIIRI, J. A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh grade students. **International Journal of Science Education,** Londres, v. 25, n. 11, p. 1333–1352, nov. 2003. DOI: 10.1080/0950069032000052081. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1080/0950069032000052081. Acesso em 25 jun 2024.

SCHWARZ, C. V.; KE, Li; SALGADO, M.; MANZ, E. Beyond assessing knowledge about models and modeling: Moving toward expansive, meaningful, and equitable modeling practice. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 59, n. 6, p. 1086-1096, mar. 2022. DOI: 10.1002/tea.21770. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tea.21770. Acesso em: 30 jun. 2024.

SCHWARZ, C. V.; WHITE, B. Y. Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling, **Cognition and Instruction**, Londres, 162-205, ago. 2005. DOI: 10.1207/s1532690xci2302_1. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci2302_1. Acesso em 30 maio. 2024.

SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. S. Produção e utilização de multimídia como recurso didático para o ensino de modelos atômicos – Uma experiência fundamentada na pesquisa educacional. In: ENCONTRO MINEIRO DE ENSINO DE QUÍMICA, 3., 2003, Viçosa. Anais [...]. Viçosa: UFV, 2003.

SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. S.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizados no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pesam a partir delas. **Revista Investigações em Ensino de Ciências** [S.l.], v. 2, n. 1, p. 7-28, mar. 2006. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/500. Acesso em: 23 jun. 2024.

TAYLOR, I.; BARKER, M.; JONES, A. Promoting mental model building in astronomy education**. International Journal of Science Education**, Londres, v. 25, n. 10, p. 1205-1225, nov. 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1080/0950069022000017270a Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069022000017270a. Acesso em: 12 dez. 2024.

TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. **International Journal of Science Education,** Londres, v. 24, n. 4, p. 357-368, jun. 2002. DOI: https://doi.org/10.1080/09500690110066485. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690110066485. Acesso em: 01 jan. 2025.

Apêndice 1 – Atividades de modelagem

Disciplina: Ciências	**Professor (a):**	
Alunos (as):	**N°**	**Turma:**

ATIVIDADE 1

Todos temos uma ideia geral sobre o que seja um modelo. Utilizando essa ideia geral, analise os sistemas que serão apresentados e classifique-os como modelos ou não.

Vocês estarão dispostos em grupos, poderão discutir entre si, contudo, cada uma deverá preencher seu próprio roteiro. Combinado?

SISTEMA 1 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____
_____
_____
_____

SISTEMA 2 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____
_____
_____

SISTEMA 3 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____
_____
_____

SISTEMA 4 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____

_____

_____

SISTEMA 5 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____

_____

_____

SISTEMA 6 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____

_____

_____

SISTEMA 7 - _____

Na sua concepção, isso seria um modelo? _____

Por quê?

_____

_____

_____

IMAGENS DA ATIVIDADE 1

Atividade 1

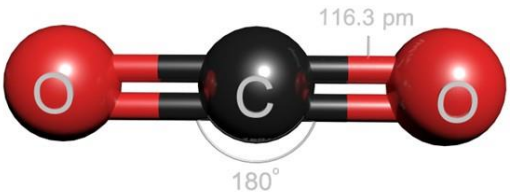
Na sua concepção, isso seria um modelo?

1



Na sua concepção, isso seria um modelo?

2



Na sua concepção, isso seria um modelo?

3

H_2O

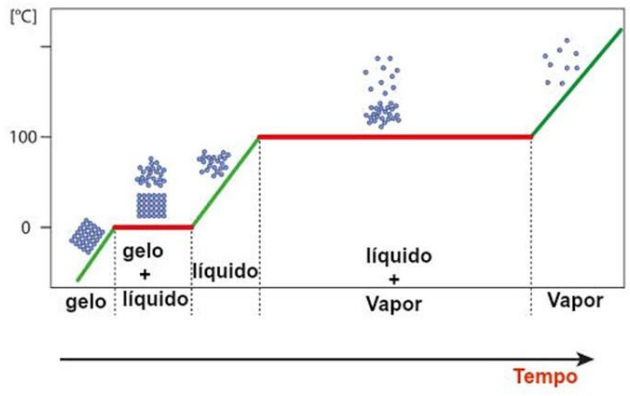
Na sua concepção, isso seria um modelo?

4



Na sua concepção, isso seria um modelo?

5



Na sua concepção, isso seria um modelo?

6

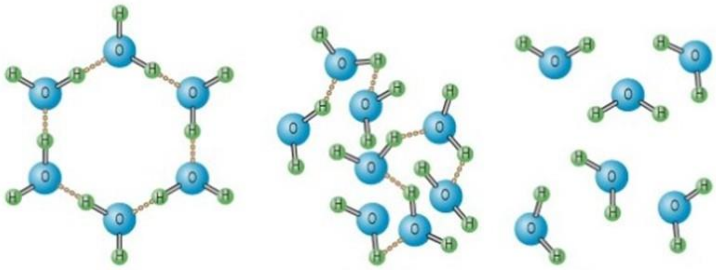






Na sua concepção, isso seria um modelo?

7



Disciplina: Ciências	**Professor (a):**	
Alunos (as):	**N°**	**Turma:**

ATIVIDADE 2

Modelando o Café

Por que sentimos o cheiro do café mais intensamente quando ele está quente?

Objetivo: Criar modelos simples para entender a diferença no cheiro do café quente e do café frio.

Proponha modelos que expliquem por que o cheiro do café é mais forte quando ele está quente.

Você poderá escolher a maneira que preferir para representar esse fenômeno. Estão à sua disposição folhas brancas, lápis de cor, canetinhas, massinhas, palitinhos de dente, tesoura, cola e barbante.

Disciplina: Ciências	**Professor (a):**	
Alunos (as):	**N°**	**Turma:**

ATIVIDADE 3

O cloreto de sódio, sal de cozinha, amplamente utilizado para o preparo de alimentos, é constituído por átomos de sódio (Na) e cloro (Cl). O cloreto de sódio é um produto da reação de neutralização entre o ácido clorídrico (HCl) e o hidróxido de sódio (NaOH). A questão que buscaremos explicar é como o cloreto de sódio é formado a partir desses átomos.

Tópicos para Consideração:

Como vimos anteriormente, a energia de ionização (E.I.) é a energia necessária para retirar os elétrons de um átomo. Quando esses elétrons são retirados, o átomo deixa de ser neutro e a espécie resultante é um íon, que poderá ser carregado positivamente ou negativamente.

Analise os valores da 1ª energia de ionização dos 20 primeiros elementos químicos da tabela periódica.

Número atômico (Z)	*Símbolo do elemento*	*1ª energia de ionização (eV)*	*Número atômico (Z)*	*Símbolo do elemento*	*1ª energia de ionização (eV)*
1	H	13,6	11	Na	5,1
2	He	24,5	12	Mg	7,6
3	Li	5,4	13	Al	6,0
4	Be	9,3	14	Si	8,1
5	B	8,3	15	P	10,5
6	C	11,3	16	S	10,4
7	N	14,5	17	Cl	13,0
8	O	13,6	18	Ar	15,8
9	F	17,4	19	K	4,4
10	Ne	21,6	20	Ca	6,1

1. O que é necessário para formar um íon?

_____

_____

_____

2. Como a energia de ionização afeta a formação dos íons?

_____

_____

_____

_____

3. Como os íons Na^+ e Cl^- se formam a partir do Na e do Cl?

4. Quais elementos e processos vocês acham que devem estar representados em um modelo para explicar a formação de um íon?

5. Como vocês poderiam representar a transferência de elétrons para explicar a formação dos íons Na^+ e Cl^- no modelo?

6. De que forma o modelo de octeto poderia ajudar a ilustrar a estabilidade dos íons?

7. Utilizando os valores de energia de ionização da tabela periódica e considerando o que aprendemos sobre a formação de íons, criem um modelo visual que explique como os íons são formados.

> Vocês poderão utilizar os materiais disponibilizados durante a aula, como: Bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos de dente, palito para churrasco, tesouras, folhas em branco.

8. Como poderíamos testar o modelo? Que dados ou experimentos vocês acham que poderiam ajudar?

Disciplina: Ciências	**Professor (a):**	
Alunos (as):	**N°**	**Turma:**

ATIVIDADE 4

Na atividade anterior, vocês propuseram modelos para a formação de íons considerando o Na^+, Cl^- e o H^+, Cl^-. A próxima questão a ser explicada é a maneira com que esses íons interagem, levando à formação do cloreto de sódio (NaCl) e do ácido clorídrico (HCl). Nesta atividade, vocês deverão propor um modelo que explique a interação entre os íons que vocês apresentaram anteriormente.

1. **Modelos de Sistemas Iônicos em Meio Aquoso**

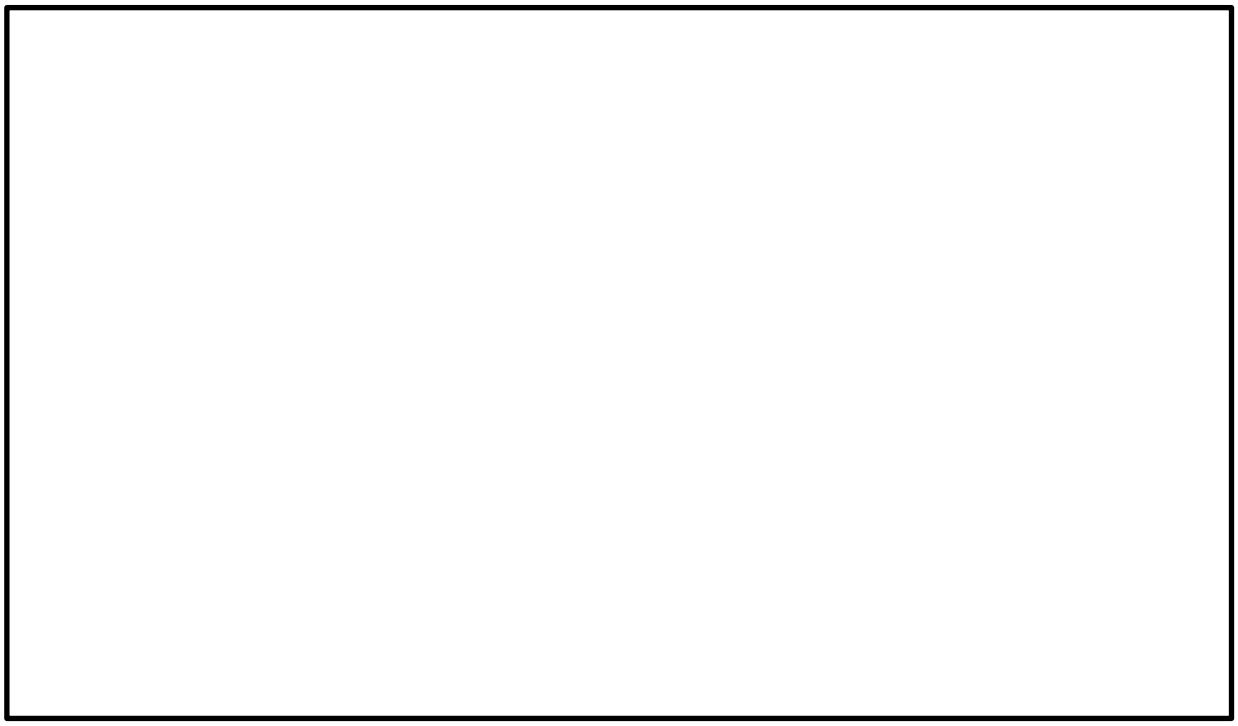
Considere um sistema formado por água e íons Na^+ e Cl^-. Como vocês imaginam que esse sistema poderia ser representado em um modelo?

Efeito da Evaporação da Água

O que acontece nesses sistemas à medida que a água evapora até secar? Como vocês acham que poderiam representar isso no modelo?

Justifique a escolha do material utilizado (bolinhas de isopor, massinha de modelar, palitos, desenhos com lápis de cor ou outros).

Faça uma representação do processo de evaporação (desenho, diagrama, texto) que corresponda ao modelo criado por vocês.



2. **Formação de Substâncias**

Seu modelo consegue explicar o que acontece com os íons Na^{+} e Cl^{-} após a evaporação?

_____

_____

_____

Disciplina: Ciências	**Professor (a):**	
Alunos (as):	**N°**	**Turma:**

Atividade 5

Objetivo da Atividade: Discutimos anteriormente que os modelos possuem finalidades específicas na Ciência. Por isso, é importante deixar claro o objetivo para o qual o modelo foi criado. No nosso caso, construiremos um modelo com o intuito de explicar a formação do cloreto de sódio (NaCl) e suas propriedades. Agora, iremos testar o modelo que foi proposto por vocês. Se o modelo conseguir explicar bem as propriedades do cloreto de sódio, ele será satisfatório. Caso contrário, deverá ser modificado.

Teste do Modelo Proposto

1. Em uma mistura contendo água e sal de cozinha (cloreto de sódio), sabemos que um método eficaz para separar essas substâncias seria considerar suas propriedades físicas, como a temperatura de fusão e de ebulição. Nesse sentido, qual das substâncias teria maior temperatura de ebulição?

_____

_____

_____

2. Por que você acha que isso acontece?

_____

_____

3. O modelo criado por seu grupo na aula anterior consegue explicar por que essas temperaturas são diferentes?

_____

_____

4. Você consegue pensar em outros exemplos em que foi necessário revisar modelos na Ciência? (Apresente as modificações que os modelos sofreram).

_____

_____

_____

Reformulação do Modelo

5. Se o modelo atual não conseguir explicar bem a diferença das propriedades físicas (como as temperaturas de fusão e ebulição) da água e do sal, que partes do modelo vocês acham que poderiam precisar de ajustes?

_____

_____

_____

6. Como essas modificações podem ajudar a explicar as diferentes propriedades do NaCl e do H_2O?

_____

_____

_____

7. Por que é importante revisar os modelos científicos?

_____

_____

_____

8. O modelo criado por vocês foi direcionado para um público alvo. Qual é o público pensado por vocês?

_____

_____

_____

9. Em qual situação o modelo criado por vocês teria que ser modificado para que facilitar o entendimento do novo público alvo?

_____

_____

_____

Disciplina: Ciências	**Professor (a):**	
Alunos (as):	**N°**	**Turma:**

Atividade 6 - Análise e reflexão sobre modelos criados

Ao longo das atividades anteriores, vocês criaram e refinaram modelos para explicar a formação e interação de íons, além das propriedades do cloreto de sódio e do ácido clorídrico. Nesta atividade, vamos refletir criticamente sobre esses modelos, analisando como foram desenvolvidos, as decisões tomadas durante o processo e como eles nos ajudam a entender melhor os fenômenos estudados.

Discutam suas reflexões sobre cada uma das categorias abaixo e respondam.

Parte I: Revise os modelos que você e seu grupo criaram nas atividades anteriores.

Perguntas Norteadoras

1) Quais são as principais características de cada modelo?
2) Qual a limitação do modelo?
3) Quais os objetivos atendidos pelo modelo criado?
4) Quais as modificações foram necessárias ao longo do modelo?

5) Como os modelos evoluíram ao longo das atividades?

Parte II: Refletir sobre o que seu modelo revela sobre a natureza dos fenômenos estudados.

6) Como nosso modelo explica a formação e a natureza dos íons?

Parte III: Refletir sobre em que situações seu modelo pode ser aplicado além do caso específico do NaCl.

7) Nosso modelo pode ser aplicado a outros compostos iônicos? Por quê?

Parte IV: Identificar as evidências e raciocínios usados para construir e modificar seus modelos.

8) Quais provas experimentais mostram como esses íons se formam?

Parte V: Considerar como você adaptaria a linguagem e os argumentos de seus modelos para diferentes públicos.

9) Como explicaríamos nosso modelo para alguém que não conhece ligações químicas?

Apêndice 2 – Documentos

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Prezados,

Eu, Ketlien de Oliveira Mendes, atualmente mestranda do curso de Mestrado em Ciência, Tecnologia e Educação do CEFET-RJ campus Maracanã, venho por meio desta solicitar autorização do Município para desenvolver uma pesquisa qualitativa relacionada à minha dissertação de mestrado, orientada pela Professora Juliana Machado, docente do CEFET-campus Maracanã. A temática da pesquisa está intimamente ligada ao Ensino de Ciências, com foco nos modelos e no processo de modelização.

Destaco meu interesse em realizar esta pesquisa junto a uma turma do 9º ano da Escola Municipal Alice Canellas da Silveira, onde atuo como professora de Ciências. A pesquisa será conduzida durante as aulas de ciências da referida turma, respeitando integralmente a proposta curricular do Município.

A pesquisa objetivará identificar as possíveis considerações epistêmicas demonstradas por estudantes do nono ano do ensino fundamental durante uma atividade de Ensino Fundamentado em Modelagem dentro da unidade temática matéria e energia.

Asseguro que os dados obtidos por meio desta pesquisa serão utilizados exclusivamente para os propósitos da mesma, e que todas as informações coletadas serão tratadas com rigor ético, garantindo o anonimato dos participantes envolvidos. Além disso, estou aberta a quaisquer orientações e esclarecimentos que possam favorecer o desenvolvimento adequado da pesquisa.

Anexo a esta carta, encontram-se a declaração de matrícula, o modelo do termo de consentimento livre e esclarecido (alunos) e o modelo de autorização (escola) que serão necessários para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Agradeço antecipadamente pela atenção dispensada a esta solicitação e aguardo com expectativa uma resposta favorável.

Ketlien de Oliveira Mendes
ketlien.mendes@aluno.cefet-rj.br
(22) 98805-3806

Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada EPISTEMOLOGIAS NA PRÁTICA: CONSIDERAÇÕES EPISTÊMICAS DE ESTUDANTES EM ATIVIDADES DE ENSINO FUNDAMENTADO EM MODELAGEM SOBRE LIGAÇÕES QUÍMICAS conduzida por Ketlien de Oliveira Mendes. Esta pesquisa tem por objetivo identificar as possíveis considerações epistêmicas demonstradas por estudantes do nono ano do ensino fundamental durante atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre ligações químicas.

Você foi selecionado(a) por fazer parte público-alvo de estudo da pesquisa (estudantes do 9 ano do ensino fundamental). Sua participação não é obrigatória. A qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa, desistência ou retirada de consentimento não acarretará prejuízo.

Os riscos de participação nessa pesquisa são mínimos, isto é, representam apenas o seu possível desconforto em ter o áudio de sua voz gravado durante a realização das atividades, que se dará de forma anônima e impessoal.

Sua participação na pesquisa não é remunerada nem implicará em gastos por sua parte. No entanto, a participação nesta pesquisa pode proporcionar um benefício educacional, já que oferece a oportunidade de participar de atividades inovadoras e contribuir para o desenvolvimento do Ensino de Ciências. Além disso, os resultados podem beneficiar a comunidade acadêmica ao promover novas abordagens no ensino, auxiliando na melhoria das práticas pedagógicas e na compreensão dos processos de aprendizagem em Ciências.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em participar das aulas presencialmente, realizando as atividades propostas. Cada encontro contará com um roteiro a ser preenchido individualmente e cujas respostas serão analisadas junto dos áudios gravados durante a atividade.

Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão confidenciais e não serão divulgados em nível individual, visando assegurar o sigilo de sua participação. O pesquisador responsável se compromete a tornar públicos nos meios acadêmicos e

científicos os resultados obtidos de forma consolidada sem qualquer identificação dos participantes.

Caso você concorde em participar desta pesquisa, assine este documento, que possui duas vias, sendo uma delas sua, e a outra, do pesquisador responsável pela pesquisa.

Esta pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estácio de Sá (CEP-UNESA). Caso tenha dúvidas ou queira informações adicionais, o (a) Sr. (a) pode entrar em contato com o próprio CEP-UNESA, situado na Avenida Presidente Vargas, 642, 22º andar, Rio de Janeiro – RJ, telefone (21) 2206-9726, com atendimento às terças e quintas, das 9:00 às 17:00. O e-mail para contato é **cep.unesa@estacio.br**.

Rubrica do participante | Rubrica do pesquisador

Certificado de Assentimento

Eu, (seu nome) _____, entendi que a pesquisa é sobre_____

_____

_____

(descrever resumidamente objetivos e procedimentos a serem realizados).

Nome e/ou assinatura da criança/adolescente:_____.

Nome e assinatura dos pais/responsáveis:

_____.

Nome e assinatura do responsável por obter o consentimento:

_____.

Iguaba Grande, _____ de _____ de 2025.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Prezado (a) Senhor (a) _____,

O (A) Sr. (a) está sendo convidado como voluntário (a) a participar da pesquisa intitulada: **"Epistemologias na Prática: Considerações Epistêmicas de Estudantes em Atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem sobre Ligações Químicas"**, que tem como objetivo identificar as considerações epistêmicas demonstradas por estudantes do nono ano do ensino fundamental durante atividades de modelagem de ligações químicas. Este estudo é de grande importância para entender e contribuir melhorar as metodologias de ensino na área de Ensino de Ciências.

Durante o estudo, será realizado um conjunto de atividades de modelagem nas aulas de Ciências. As interações entre os estudantes e a professora serão registradas em áudio, e os modelos criados pelos participantes serão fotografados para análise e categorização. As entrevistas com perguntas semiestruturadas poderão ser realizadas após as atividades, a fim de entender melhor o processo de modelagem. Garantimos que todas as informações serão tratadas de forma confidencial e que os estudantes não serão identificados nas gravações ou nos registros.

Apesar de a pesquisa apresentar **riscos mínimos**, há a possibilidade de desconforto durante as atividades. Caso isso ocorra, o (a) Sr. (a) poderá interromper sua participação e buscar assistência junto à equipe de pesquisa, que estará disponível para ajudar.

A participação nesta pesquisa pode proporcionar um **benefício educacional**, já que oferece a oportunidade de participar de atividades inovadoras e contribuir para o desenvolvimento do Ensino de Ciências. Além disso, os resultados podem beneficiar a comunidade acadêmica ao promover novas abordagens no ensino.

Não haverá compensação financeira para os participantes. Entretanto, fica garantido o **direito de buscar indenização** caso algum dano inesperado ocorra durante a participação.

Caso tenha dúvidas ou queira informações adicionais, o (a) Sr. (a) pode entrar em contato com o **Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Estácio de Sá (CEP-UNESA)**, situado na Avenida Presidente Vargas, 642, 22º andar, Rio de Janeiro – RJ, telefone (21) 2206-9726, com atendimento às terças e quintas, das 9:00 às 17:00. O e-mail para contato é **cep.unesa@estacio.br**.

A participação é totalmente **voluntária** e o (a) Sr. (a) poderá se recusar a participar ou desistir a qualquer momento, sem sofrer qualquer penalidade ou prejuízo.

Após o encerramento da pesquisa, os resultados estarão disponíveis ao participante. A equipe de pesquisa estará disponível para acompanhamento caso o (a) Sr. (a) tenha dúvidas sobre os dados coletados e sua aplicação.

Declaro ter sido informado de maneira clara sobre os objetivos, procedimentos, riscos e benefícios da pesquisa, e que poderei esclarecer minhas dúvidas a qualquer momento. Concordo voluntariamente em participar, incluindo as gravações de áudio e uso dos registros produzidos durante as atividades.

Recebi uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e fui informado sobre a possibilidade de buscar mais informações junto ao CEP-UNESA, caso necessário.

Nome do responsável:_____
(caso entrevistado menor de 18 anos).

Assinatura do responsável: _____
Identidade:_____
(caso entrevistado menor de 18 anos).

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deste entrevistado ou representante legal para a sua participação neste estudo.

Assinatura do responsável pelo estudo: _____
Identidade: _____

Iguaba Grande, ____ de _____ de 2024.

DECLARAÇÃO DE INFRAESTRUTURA

Eu, Antônio Carlos do Brasil Rodrigues, diretor da Escola Municipal Alice Canellas da Silveira, autorizo a realização da pesquisa "Epistemologias na prática: Considerações Epistemológicas de Estudantes em Atividades de Ensino Fundamentado em Modelagem" nesta instituição, sob a responsabilidade da pesquisadora Ketlien de Oliveira Mendes.

Informo que a Escola Municipal Alice Canellas da Silveira dispõe de toda a infraestrutura necessária e que esta será disponibilizada à pesquisadora para atendimento ao projeto, bem como para lidar com eventuais necessidades decorrentes da pesquisa.

Iguaba Grande, 18 de outubro de 2024.

Responsável pela Instituição (assinatura e carimbo legível)
Antonio Carlos do Brasil Rodrigues
Diretor
Matr.: 149

Ketlien de Oliveira Mendes

Ketlien de Oliveira Mendes (pesquisadora responsável)