



Modelagem em Foco: articulando experimentação, tecnologia e conceitos de oxirredução no Ensino Médio

Aline Samara Lima de Jesus e Ettore Paredes Antunes

Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa qualitativa realizada com estudantes do Ensino Médio em uma escola pública de Manaus/AM, que investigou a influência da modelagem e da experimentação na aprendizagem de oxirredução. A proposta envolveu oito encontros com atividades baseadas no Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) e no uso de microscópios USB. Os dados foram coletados por meio de formulários, folhas de atividades, entrevistas e grupo focal, permitindo a análise dos modelos mentais produzidos pelos estudantes. Os resultados evidenciaram a evolução na representação dos conceitos químicos, com maior articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico. A combinação entre modelagem, experimentação e mediação tecnológica favoreceu aprendizagens mais significativas, autorais e contextualizadas, destacando-se como estratégia potente para o ensino de Química.

► ensino fundamentado em modelagem, modelos mentais, ensino de química ◀

Recebido em 11/08/2025; aceito em 13/03/2026

Introdução

O ensino de Química tem enfrentado, ao longo das últimas décadas, o desafio de tornar-se significativo para os estudantes da Educação Básica, especialmente diante da complexidade dos conteúdos abordados e da distância entre a linguagem científica e as vivências cotidianas dos alunos. Esse distanciamento não é apenas conceitual, mas também epistemológico e metodológico, afetando a maneira como os conhecimentos químicos são ensinados, compreendidos e apropriados no espaço escolar. Pesquisadores como Mortimer *et al.* (2000) destacam que dificuldades recorrentes emergem quando os conteúdos são trabalhados de forma descontextualizada e excessivamente abstrata, levando à aprendizagem baseada em memorização mecânica. Dentre os temas que tradicionalmente figuram entre os mais abstratos e de difícil assimilação no Ensino Médio, destaca-se o conteúdo de oxirredução.

Partindo do pressuposto de que os alunos constroem compreensões próprias sobre os fenômenos científicos, ancoradas em suas experiências e visões de mundo, a proposta desenvolvida buscou não apenas transmitir conteúdos, mas promover reformulações conceituais por meio da

problematização e do teste de suas próprias representações. A pergunta norteadora de nossa pesquisa foi: Qual a influência de atividades experimentais de modelagem, mediadas por um microscópio USB, na aprendizagem de oxirredução por estudantes do Ensino Médio?

A coleta de dados envolveu instrumentos diversos, como formulários diagnósticos, folhas de atividades, entrevistas individuais do tipo *teachback* e grupo focal, permitindo uma análise completa e triangulada dos sentidos atribuídos pelos alunos à aprendizagem construída. A utilização de tecnologias acessíveis, como o microscópio USB, foi ressaltada de forma conceitualmente correta: embora esse equipamento não opere em escala submicroscópica, como fazem os microscópios eletrônicos, ele permite observar evidências em nível microscópico, favorecendo a articulação entre observações empíricas e a revisão de modelos expressos (Jesus *et al.*, 2025).

Dessa forma, a investigação teve como objetivo analisar como os estudantes mobilizam, expressam e reelaboram seus modelos ao longo da sequência didática, considerando o papel desempenhado pela experimentação investigativa, pela colaboração entre pares e pela mediação tecnológica na construção conceitual.

Referencial teórico

O ensino de Química exige não apenas a transmissão e memorização de conteúdos, mas o desenvolvimento de estratégias pedagógicas que possibilitem ao estudante compreender os processos de construção do conhecimento científico. Nesse contexto, a utilização da modelagem, associada às atividades experimentais, tem sido amplamente debatida na literatura especializada como elemento-chave para uma aprendizagem com foco no raciocínio mais adequado sobre evidências científicas e na melhor integração com os conhecimentos prévios dos estudantes (Justi, 2015; Gilbert e Justi, 2016; Hodson, 1994).

O entendimento do conteúdo de oxirredução exige a articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, conforme proposto por Johnstone (1991, 1993). Essa articulação demanda do estudante operações cognitivas que extrapolam a memorização, exigindo a capacidade de relacionar fenômenos observáveis, entidades não visíveis e representações simbólicas formais. Assim, requerem estratégias pedagógicas capazes de favorecer processos de explicação causal e visualização. Nesse sentido, Moreira (2011) reforça que a aprendizagem significativa ocorre quando novos conhecimentos se integram de forma não arbitrária às concepções prévias dos estudantes, o que raramente ocorre quando o ensino se restringe a definições formais e exercícios algorítmicos e evidencia a necessidade de abordagens que facilitem a transição entre os três níveis referidos por Johnstone (1991, 1993).

Diversas pesquisas em ensino de Ciências têm apontado a necessidade de integrar novas estratégias didáticas que favoreçam a construção ativa do conhecimento por parte dos alunos, valorizando seus saberes prévios, suas linguagens e experiências culturais. Nesse sentido, o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) tem se consolidado como uma abordagem promissora, especialmente no ensino de Química, por permitir aos estudantes representar, explicar e testar fenômenos a partir da criação e reformulação de modelos, articulando diferentes níveis de representação (Justi, 2015).

É importante destacar, conforme Gilbert e Justi (2016), que as etapas de criação, expressão, teste e avaliação correspondem ao processo científico de modelagem praticado por cientistas; desse modo, no contexto escolar, tais práticas funcionam como referência para organizar atividades didáticas análogas, e não como um modelo didático prescritivo. Essa perspectiva amplia as possibilidades de aprendizagem ao colocar o estudante como agente ativo na construção de explicações, favorecendo mecanismos de visualização, argumentação e revisão conceitual ao longo do ensino.

[...] a utilização da modelagem, associada às atividades experimentais, tem sido amplamente debatida na literatura especializada como elemento-chave para uma aprendizagem com foco no raciocínio mais adequado sobre evidências científicas e na melhor integração com os conhecimentos prévios dos estudantes (Justi, 2015; Gilbert e Justi, 2016; Hodson, 1994).

O conceito de modelos mentais, por sua vez, é central para compreender a modelagem e como os estudantes constroem e reorganizam suas ideias sobre os fenômenos científicos. Johnson-Laird (1983) define modelos mentais como estruturas cognitivas internas, baseadas em experiências anteriores, utilizadas para simular mentalmente eventos e fenômenos. Complementando essa perspectiva cognitivista, Bodner e Domin (2000) destacam que tais modelos orientam o raciocínio químico, influenciando a forma como os alunos interpretam e explicam fenômenos relacionados à Química.

No entanto, esses modelos não podem ser acessados diretamente: o que se torna visível no processo educativo são suas externalizações, os chamados modelos

expressos – manifestados em falas, desenhos, diagramas, esquemas ou construções materiais (Seel, 2003; Bicalho *et al.*, 2022). Essa distinção entre o que é interno (mental) e o que é externalizado (expresso) é fundamental para compreender os limites e as potencialidades das representações produzidas pelos estudantes durante atividades de modelagem.

Halloun (1996) destaca que, no processo educativo, esses modelos nem sempre coincidem com os modelos científicos e, por isso, devem ser objeto de investigação e intervenção pedagógica. Nersessian (1992) acrescenta que a construção e reformulação de modelos é parte constitutiva do raciocínio científico, e sua apropriação pelo estudante promove o desenvolvimento de habilidades de investigação, argumentação e validação conceitual. Nesse sentido, torna-se essencial reconhecer que a reconstrução conceitual ocorre justamente quando os estudantes externalizam seus modelos e os submetem à análise coletiva, pois é no plano social que se observam os modelos expressos (Seel, 2003; Bicalho *et al.*, 2022). Assim, a modelagem escolar favorece não apenas a aprendizagem de conceitos, mas também a compreensão sobre como o conhecimento científico é elaborado e validado.

No contexto da aprendizagem escolar, os modelos mentais revelam as concepções espontâneas que os alunos possuem sobre os conteúdos e podem funcionar como obstáculos ou pontos de partida para a construção do conhecimento formal. Vosniadou (2002) defende que a mudança conceitual é um processo gradual, mediado por conflitos cognitivos e reorganizações internas que ocorrem à medida que o estudante é confrontado com informações inconsistentes com seu modelo inicial. Nesse mesmo sentido, Moreira (2011) ressalta que a aprendizagem significativa envolve a transformação dessas concepções prévias em estruturas cognitivas mais elaboradas, desde que o novo conhecimento encontre ancoragem em ideias já existentes. Essa compreensão reforça a importância de estratégias que permitam ao professor identificar e trabalhar com os modelos iniciais dos estudantes, favorecendo sua reestruturação progressiva.

A modelagem, portanto, deve ser pensada como uma estratégia didática que possibilita não apenas a expressão dos modelos mentais, mas sua problematização, reelaboração e aproximação progressiva do modelo científico. Associado a isso, temos a experimentação, que, quando concebida como uma atividade com características investigativas, constitui outro eixo importante para o ensino de Química. Hodson (1994) critica o uso tradicional da experimentação como mera ilustração de teorias já consolidadas, defendendo que ela deve promover o pensamento crítico e a autonomia intelectual do estudante. Assim, reforça-se a ideia de que modelagem e experimentação são complementares: enquanto a modelagem favorece a construção e revisão de explicações, a experimentação investigativa fornece evidências empíricas para testar e validar os modelos produzidos pelos estudantes.

Giordan (1999) argumenta que a experimentação deve permitir ao aluno observar, questionar, formular hipóteses e testar explicações, integrando teoria e prática de forma significativa. Nesse contexto, incluiu-se a discussão sobre o potencial pedagógico do microscópio USB, uma vez que esse recurso amplia o campo observacional e possibilita identificar detalhes microscópicos relevantes que, embora não correspondam à escala submicroscópica, servem como evidências empíricas importantes para apoiar a revisão de modelos (Jesus *et al.*, 2025). Assim, ao favorecer a visualização de fenômenos não perceptíveis a olho nu, o uso da microscopia digital contribui para uma abordagem mais investigativa e contextualizada da experimentação no ensino de Química.

Ao realizar atividades que envolvam as características mencionadas, é essencial construir um planejamento que esteja voltado para a construção de uma aprendizagem significativa e contextualizada. Maia e Justi (2009) defendem que o conhecimento de Ciências deve corresponder às demandas da atualidade, superando o caráter meramente transmissivo e favorecendo processos de investigação e construção ativa do conhecimento.

De acordo com Souza (2021), trata-se de uma abordagem que articula os conteúdos científicos às realidades socioculturais dos estudantes, permitindo que fenômenos abstratos sejam interpretados à luz de vivências locais, experiências pessoais e problemas concretos. Destaca-se a importância de integrar modelagem, experimentação e mediação tecnológica de maneira situada, conectada ao contexto da escola amazônica em que a pesquisa foi desenvolvida.

Moreira (2011) complementa essa ideia ao afirmar que o professor deve identificar as concepções iniciais dos estudantes e utilizá-las para planejar intervenções pedagógicas que favoreçam a reconstrução do conhecimento. No caso da modelagem, os modelos mentais iniciais são tratados não

como erros a serem corrigidos, mas como formas legítimas de representar a realidade, passíveis de transformação por meio do confronto com novas evidências e discussões mediadas. Trata-se de postura epistemológica central ao EFM, que valoriza os modelos iniciais como ponto de partida para ciclos sucessivos de criação, teste e reformulação, aproximando progressivamente as representações dos estudantes do modelo científico (Justi, 2015; Gilbert e Justi, 2016).

Dessa forma, os fundamentos teóricos que sustentam esta pesquisa se articulam em torno da modelagem como estratégia didática, dos modelos mentais como expressão do pensamento dos estudantes, da experimentação como prática investigativa e da valorização dos conhecimentos prévios como ponto de partida para a aprendizagem. A modelagem favorece a externalização e a problematização de ideias; os modelos expressos permitem inferir transformações conceituais; a experimentação investigativa fornece evidências empíricas para validar ou refutar representações; e a mediação tecnológica, como o uso do microscópio USB, amplia o acesso a fenômenos microscópicos relevantes. Assim, esses elementos compõem o núcleo teórico que orienta todo o percurso metodológico e a análise dos resultados desta investigação.

Percorso metodológico

A presente pesquisa, de natureza qualitativa, foi conduzida sob a perspectiva interpretativa, com o objetivo de compreender os sentidos construídos pelos estudantes diante de uma proposta pedagógica baseada no Ensino Fundamentado em Modelagem, associado à experimentação no ensino de oxirredução. Segundo Bogdan e Biklen (1994), a abordagem qualitativa é especialmente adequada quando se busca interpretar significados atribuídos pelos sujeitos a

determinadas experiências, fenômenos ou contextos educacionais. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa sob o CAAE nº 46260621.0.0000.5020.

O campo empírico foi uma escola pública estadual da cidade de Manaus, no estado do Amazonas. Os 40 estudantes foram organizados em seis grupos heterogêneos, definidos a partir do desempenho escolar, participação nas aulas e

equilíbrio entre gêneros, buscando favorecer a colaboração entre diferentes perfis de estudantes. O projeto de intervenção foi organizado com os componentes curriculares da área de Ciências da Natureza, especialmente Química, em articulação com o plano de ensino vigente.

A proposta pedagógica foi desenvolvida ao longo de oito encontros, com duração média de duas horas cada, realizados no contraturno escolar no espaço *maker* da escola. A sequência foi estruturada conforme os princípios do Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM), e envolveu

O campo empírico foi uma escola pública estadual da cidade de Manaus, no estado do Amazonas. Os 40 estudantes foram organizados em seis grupos heterogêneos, definidos a partir do desempenho escolar, participação nas aulas e equilíbrio entre gêneros, buscando favorecer a colaboração entre diferentes perfis de estudantes.

diferentes práticas experimentais articuladas à construção e reformulação de modelos mentais sobre oxirredução.

As atividades experimentais realizadas nesta pesquisa foram desenvolvidas com o uso de materiais de baixo custo e fácil acesso, com o objetivo de viabilizar a replicação em ambientes escolares com infraestrutura limitada. Entre os principais materiais utilizados destacam-se frutas como limão e maçã, metais como ferro e cobre, fios condutores, lâmpadas LED, placas metálicas, soluções ácidas, recipientes plásticos e equipamentos de proteção individual. A seleção desses materiais buscou não apenas garantir segurança e viabilidade prática, mas também favorecer a criação de um ambiente investigativo coerente com os princípios de experimentação defendidos por Hodson (1994) e Giordan (1999), estimulando a exploração ativa dos fenômenos químicos.

Além dos materiais utilizados nas atividades experimentais, foram disponibilizados aos estudantes diversos recursos para a expressão dos seus modelos mentais. Esses materiais incluíam papel A4, cartolinas coloridas, canetas hidrográficas, lápis de cor, massa de modelar, tesoura e cola. A escolha desses recursos visou estimular a criatividade e favorecer múltiplas formas de representação, possibilitando que os estudantes expressassem suas compreensões de maneira visual e simbólica. Esses recursos funcionaram como mediadores da externalização dos modelos expressos, permitindo registrar e analisar as representações construídas pelos estudantes ao longo das atividades (Seel, 2003; Bicalho *et al.*, 2022). Essa estratégia buscou, conforme orienta Justi (2015), ampliar as possibilidades expressivas e cognitivas envolvidas na elaboração de modelos, promovendo o desenvolvimento de habilidades relacionadas à comunicação científica e à visualização de conceitos abstratos.

Dentre os recursos didáticos empregados, destacou-se o microscópio USB, que desempenhou um papel central nas observações realizadas durante as atividades experimentais. Trata-se de um equipamento de baixo custo, com capacidade de ampliação de até 1000 vezes, conectado a dispositivos eletrônicos como computadores ou celulares, permitindo a captura e projeção de imagens em tempo real. Apesar disso, o equipamento possibilitou a visualização de detalhes microscópicos relevantes como alterações superficiais, formação e desprendimento de bolhas e padrões de corrosão, ampliando a percepção dos fenômenos pelos estudantes e oferecendo evidências empíricas que contribuíram para reformulação de seus modelos expressos.

A escolha pelo microscópio USB como instrumento de mediação didática associado ao EFM potencializou a percepção de processos invisíveis a olho nu, ampliando as possibilidades de elaboração e revisão dos modelos mentais expressos pelos participantes. No contexto das atividades, os estudantes baixaram um programa que permitiu conectar o microscópio aos próprios celulares, atribuindo autonomia para ampliação e observação das superfícies. As imagens assim obtidas foram utilizadas como evidências empíricas para apoiar discussões investigativas, permitindo que os

estudantes comparassem observações microscópicas com suas interpretações iniciais e revisassem seus modelos ao longo dos encontros.

As capturas de imagens feitas com o microscópio USB evidenciam detalhes estruturais da superfície metálica, formação e desprendimento de bolhas gasosas e processos de corrosão, aspectos que, mesmo não sendo propriamente submicroscópicos no rigor do termo, representam um avanço significativo na percepção dos fenômenos químicos para alunos que, até então, estavam acostumados apenas a observações macroscópicas. Esse recurso visual ampliado auxiliou na articulação entre o nível microscópico e as explicações teóricas discutidas em sala, oferecendo evidências empíricas que os estudantes utilizaram para revisar, comparar e justificar seus modelos expressos ao longo da sequência didática. Dessa forma, o microscópio USB funcionou como mediador tecnológico que favoreceu a problematização, a análise e a reformulação das representações construídas pelos participantes.

Dessa forma, consolidado o contexto metodológico e os instrumentos da pesquisa, apresenta-se a seguir os objetivos e procedimentos realizados ao longo dos encontros experimentais, destacando as estratégias empregadas para potencializar o processo de ensino e aprendizagem. Para tornar a descrição mais clara e alinhada às exigências metodológicas, os objetivos, atividades, instrumentos de coleta e evidências geradas em cada encontro foram organizados em um quadro-síntese que permite uma visão integrada do percurso desenvolvido (Quadro 1). Além disso, essa sistematização auxilia na compreensão da progressão conceitual ao longo da sequência didática, evidenciando como modelagem, experimentação e mediação tecnológica foram articuladas para favorecer a elaboração e reformulação dos modelos expressos pelos estudantes.

Conforme sintetizado no Quadro 1, a sequência didática foi organizada em oito encontros, cada um com objetivos específicos, atividades investigativas e instrumentos de coleta articulados ao Ensino Fundamentado em Modelagem. A seguir, apresentam-se as descrições detalhadas de cada encontro, destacando o desenvolvimento das atividades, as interações dos estudantes e as evidências geradas ao longo do processo.

Encontro 0 – Apresentação e diagnóstico inicial: este encontro teve como finalidade ambientar os estudantes à proposta da pesquisa, explicar os objetivos do estudo e organizar a turma em seis grupos heterogêneos. Aplicou-se um formulário diagnóstico para identificar concepções prévias sobre oxirredução e sobre o conceito de modelo científico. Esse levantamento inicial orientou o planejamento dos encontros subsequentes e permitiu mapear as ideias iniciais dos participantes, que constituíram o ponto de partida para o processo de modelagem.

Encontro 1 – “Conhecendo a modelagem”: o primeiro encontro investigativo introduziu os estudantes aos conceitos de modelo e modelagem científica. A partir da observação de objetos oxidados — como pregos, moedas e palha de

Quadro 1: Síntese dos objetivos, atividades, instrumentos de coleta e evidências produzidas ao longo dos encontros da sequência didática baseada no Ensino Fundamentado em Modelagem

Encontro	Objetivo do encontro	Atividades desenvolvidas	Instrumentos de coleta	Evidências geradas	Relação com o EFM
0 - Apresentação e diagnóstico	Levantar concepções prévias sobre oxirredução e modelos.	Apresentação da pesquisa; formação dos grupos; aplicação de formulário diagnóstico.	Formulário diagnóstico (online/impresso).	Ideias iniciais, concepções espontâneas e vocabulário utilizado pelos estudantes.	Criação dos modelos iniciais
1 - “Conhecendo a modelagem”	Introduzir o conceito de modelo e modelagem científica.	Observação de objetos oxidados com microscópio USB; produção de modelos expressos (desenhos/maquetes).	Folhas de atividade; registros fotográficos.	Primeiras representações visuais dos estudantes; externalizações dos modelos iniciais.	Expressão de modelos
2 - “A pilha de limão”	Relacionar oxirredução com produção de energia elétrica.	Montagem de pilhas de limão; observação espontânea com microscópio USB; discussão coletiva.	Folhas de atividade; fotos; anotações de campo.	Representações do fluxo de cargas e funcionamento da pilha; registros de raciocínio causal.	Criação e expressão
3 - “Como evitar a oxidação do ferro?”	Compreender corrosão como processo de oxirredução.	Exposição de placas metálicas a diferentes condições; uso obrigatório do microscópio USB.	Folhas de atividade; imagens ampliadas; anotações.	Comparação entre superfícies corroídas; explicações sobre proteção e ataque químico.	Teste e reformulação
4 - “Por que as frutas escurecem?”	Relacionar oxirredução a processos do cotidiano (alimentos).	Tratamento de frutas com antioxidantes; observação ampliada com microscópio USB; debates.	Folhas de atividade; fotos; pequenas narrativas dos grupos.	Explicações sobre ação antioxidante; ampliação do modelo anterior para novo contexto.	Reformulação de modelos
5 - “Combustão e oxirredução”	Compreender combustão como reação de oxidação.	Queima de palha de aço; observação das alterações superficiais; discussão do NOx.	Folhas de atividade; imagens; mapa conceitual.	Representações envolvendo elétrons e variação de massa; integração dos níveis representacionais.	Avaliação dos modelos
6 - Grupo focal	Analisar percepções dos estudantes sobre a experiência pedagógica.	Discussão orientada com representantes dos grupos.	Roteiro de grupo focal; gravação em áudio.	Significados atribuídos às atividades; avaliação da proposta do ponto de vista dos alunos.	Meta-avaliação do processo
7 - Entrevistas individuais (teachback)	Identificar reformulações conceituais individuais.	Entrevistas reflexivas; explicação oral livre sobre oxirredução.	Roteiro semi-estruturado; gravação em áudio.	Explicações espontâneas; indicadores de aprendizagem significativa e reorganização conceitual.	Avaliação final dos modelos mentais

aço — com o auxílio do microscópio USB, os alunos foram convidados a expressar suas ideias iniciais por meio de desenhos, esquemas e maquetes. Esse momento marcou a

expressão dos modelos iniciais, etapa central do EFM, estimulando a visualização, explicitação e discussão coletiva das representações produzidas.

Encontro 2 – “Se a vida te der um limão, faça uma... pilha eletroquímica!”: neste encontro, a montagem de pilhas de limão permitiu relacionar conceitos de oxirredução à produção de energia elétrica. Os estudantes utilizaram cobre e zinco como eletrodos e observaram o funcionamento do circuito, articulando fenômenos macroscópicos e explicações teóricas. Embora facultativo, o uso do microscópio USB contribuiu para observar alterações superficiais nos metais. As representações produzidas pelos grupos evidenciaram reformulações iniciais em relação aos modelos expressos no encontro anterior.

Encontro 3 – “Como evitar a oxidação do ferro?”: neste momento, os estudantes investigaram condições que favorecem ou inibem a corrosão do ferro, articulando o conteúdo ao contexto regional de embarcações amazônicas. O uso obrigatório do microscópio USB permitiu observar em tempo real a formação de bolhas e alterações na superfície metálica, ampliando o nível de evidência disponível. As explicações geradas pelos participantes revelaram maior compreensão sobre mecanismos de ataque químico e proteção do metal, caracterizando um avanço na coerência representacional dos modelos.

Encontro 4 – “Por que as frutas escurecem?”: este encontro ampliou a aplicação dos conceitos de oxirredução para fenômenos cotidianos, como o escurecimento enzimático de frutas. A observação das amostras com o microscópio USB possibilitou identificar modificações superficiais ao longo do tempo. Os estudantes compararam tratamentos com limão e vitamina C, produzindo modelos expressos que relacionavam a ação antioxidante à prevenção do escurecimento. Houve avanço na capacidade de transferir conceitos para novos contextos e na justificação do papel dos agentes redutores.

Encontro 5 – “Qual a relação entre combustão e oxirredução?”: a combustão da palha de aço serviu como ponto de partida para discutir processos de oxidação em alta temperatura. O microscópio USB evidenciou a formação de resíduos e alterações estruturais após a queima. Os estudantes relacionaram a variação de massa à transferência de elétrons e demonstraram maior integração entre os níveis macroscópico, simbólico e microscópico, apresentando modelos mais completos e articulados.

Encontro 6 – Grupo focal: participaram deste momento representantes dos seis grupos. O objetivo foi compreender os sentidos atribuídos à sequência didática, às atividades experimentais, ao uso do microscópio e ao processo de modelagem. O diálogo coletivo possibilitou captar percepções sobre a aprendizagem construída e identificar elementos que favoreceram ou dificultaram o desenvolvimento das explicações.

Encontro 7 – Entrevistas individuais (*teachback*): no último encontro, foram realizadas entrevistas individuais do tipo

teachback, nas quais os estudantes explicaram os conteúdos utilizando suas próprias palavras, modelos e justificativas. Esse instrumento permitiu acessar reformulações conceituais em nível individual, avaliar a evolução dos modelos expressos e compreender como cada estudante articulou evidências, representações e explicações ao final da sequência.

Resultados e discussões

A análise dos dados expressos pelos estudantes revelou mudanças graduais na qualidade representacional dos modelos produzidos ao longo dos cinco encontros experimentais. Essas mudanças foram identificadas a partir dos critérios de coerência, completude e nível representacional definidos por Jesus (2025), aplicados à avaliação dos modelos expressos. Observou-se, por exemplo, que muitos estudantes passaram de representações exclusivamente macroscópicas para

modelos que incluíam elementos submicroscópicos (como transferência de elétrons) e simbólicos (como indicação de NO_x), indicando avanço no entendimento das reações de oxirredução. Essa evolução não é interpretada como “efetividade” em sentido amplo, mas como indício de progressão conceitual sustentado pelas evidências coletadas, em consonância com a perspectiva de Justi e Gilbert (2002a), segundo a qual a modelagem constitui um processo dinâmico de construção e reelaboração orientado pela interação entre fenômenos, explicações e novas informações.

No contexto desta pesquisa, a integração entre modelagem e experimentação contribuiu para ampliar as formas de representação utilizadas pelos estudantes. As imagens obtidas pelo microscópio USB evidenciaram alterações microscópicas nas superfícies metálicas, como formação de bolhas, rugosidades e pontos de corrosão que foram incorporadas pelos estudantes em seus modelos expressos, permitindo maior aproximação entre o fenômeno observado e sua explicação teórica. Essas observações favoreceram a articulação entre os níveis macroscópico e microscópico, já que muitos grupos passaram a representar processos invisíveis a olho nu, como oxidação localizada e desprendimento de material metálico, aspecto previsto por Johnstone (1991) e Justi (2006) como central na aprendizagem de conceitos químicos. Assim, o microscópio funcionou como um mediador tecnológico que gerou evidências empíricas utilizadas pelos estudantes para revisar e justificar seus modelos ao longo da sequência.

Esses resultados também indicam que, ao longo da sequência, os estudantes passaram a integrar de forma mais explícita elementos macroscópicos, submicroscópicos e simbólicos na construção de seus modelos. Enquanto nos primeiros encontros predominavam descrições visuais do

O uso obrigatório do microscópio USB permitiu observar em tempo real a formação de bolhas e alterações na superfície metálica, ampliando o nível de evidência disponível. As explicações geradas pelos participantes revelaram maior compreensão sobre mecanismos de ataque químico e proteção do metal, caracterizando um avanço na coerência representacional dos modelos.

fenômeno (como mudança de cor ou formação de bolhas), nos últimos modelos expressos observaram-se representações que incluíam transferência de elétrons, indicação de estados de oxidação e identificação de agentes oxidantes e redutores, evidenciando maior capacidade de abstração e explicação causal dos processos químicos envolvidos.

Essa evolução foi evidenciada nos critérios de avaliação aplicados (coerência interna, completude e adequação representacional) que mostraram progressões na articulação entre evidências observadas e explicações teóricas. Tais avanços dialogam com as proposições de Gilbert (2004; 2006), que destacam a importância da consistência lógica e da integração entre diferentes níveis representacionais na elaboração de modelos científicos.

Além disso, a análise conjugada dos diferentes instrumentos de coleta de dados, modelos expressos, entrevistas individuais e grupo focal, evidenciou padrões recorrentes na forma como os estudantes revisaram suas explicações ao longo da sequência didática, o que possibilitou uma compreensão mais abrangente dos seus processos de aprendizagem. A convergência entre as representações produzidas, os relatos orais e as percepções compartilhadas em grupo reforçaram a consistência das interpretações realizadas, em consonância com Marcondes e Brisola (2014), que destacam o potencial da triangulação para fortalecer a validade das inferências ao confrontar e complementar dados obtidos por diferentes técnicas investigativas.

Antes de apresentar a análise detalhada das produções dos estudantes, é importante destacar que os dados aqui discutidos se referem aos registros realizados nos encontros práticos de 1 a 5, nos quais os participantes expressaram seus modelos mentais sobre as reações de oxirredução por meio de atividades baseadas no EFM. Esses modelos expressos foram avaliados segundo os critérios propostos por Jesus (2025), organizados em quatro níveis de adequação: inadequado (1), parcialmente inadequado (2), parcialmente adequado (3) e adequado (4), o que permitiu acompanhar a progressão da coerência e da complexidade representacional ao longo da sequência didática.

No primeiro encontro, o modelo expresso pelo grupo 1 destacou-se como um exemplo de tentativa inicial de representação científica associada a um fenômeno cotidiano. O modelo, representado por duas moedas (uma nova e outra oxidada após anos de exposição ao oxigênio), revela a familiaridade dos estudantes com processos naturais de oxidação, ainda que essa compreensão se mantenha predominantemente ancorada no nível macroscópico de descrição, sem explicitação de aspectos submicroscópicos ou simbólicos do fenômeno. Essa representação está ilustrada na Figura 1.

A Figura 1 representa duas moedas lado a lado, a primeira com aspecto brilhante e a segunda escurecida, simbolizando o resultado da oxidação ao longo do tempo. O estudante utilizou setas para indicar a exposição ao oxigênio e uma linha ondulada para a passagem do tempo, porém não inseriu explicações químicas em nível submicroscópico ou simbólico, como equações ou diagramas de transferência eletrônica.

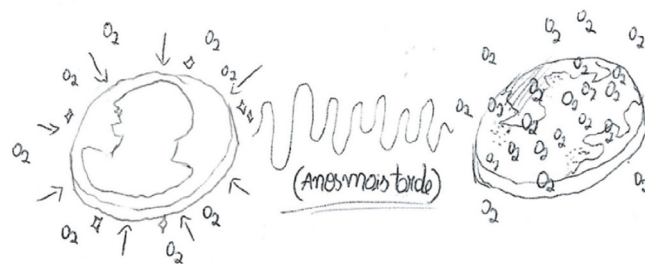


Figura 1: Modelo selecionado pelo grupo 1 no encontro 1.

O modelo foi considerado mais adequado na dimensão macroscópica, especialmente pela clareza visual e pertinência do exemplo cotidiano, mas, na avaliação geral segundo os critérios de Jesus (2025), enquadrou-se como parcialmente adequado, uma vez que sua coerência se restringe ao nível macroscópico e não contempla de forma explícita o nível submicroscópico. O estudante indicou a participação do oxigênio, mas não representou a transferência de elétrons nem a formação de íons metálicos, aspectos fundamentais para compreender o processo de oxirredução em uma perspectiva integrada (Johnstone, 1991; Justi, 2006).

No grupo focal, a estudante identificada como A22G4 enfatizou: “Com as experiências que a gente fez aqui, deu para entender direito como que funciona a formação de um modelo”, indicando que o processo de modelagem, articulado à experimentação, foi fundamental para a ampliação de sua compreensão. Esse depoimento reforça a percepção de que as atividades não apenas favoreceram a construção de explicações sobre oxirredução, mas também contribuíram para que os estudantes compreendessem o próprio processo de elaborar, testar e revisar modelos, aspecto central nas propostas de Ensino Fundamentado em Modelagem.

No segundo encontro, o modelo expresso pelo Grupo 3 destacou-se pela qualidade visual e pela coerência científica na representação do experimento da pilha de limão. A construção incluiu os principais componentes do circuito: limões conectados por cliques metálicos, eletrodos de cobre e zinco e uma lâmpada de LED, indicando a passagem de corrente elétrica no circuito fechado. Essa representação pode ser observada na Figura 2.

A Figura 2 retrata quatro limões alinhados, com fios interligando corretamente os eletrodos metálicos, respeitando a polaridade (positivo e negativo). O fluxo de energia foi ilustrado por linhas coloridas, direcionadas do eletrodo negativo ao positivo, culminando na iluminação do LED, o que evidencia a compreensão de que a diferença de potencial entre os metais gera uma corrente elétrica capaz de acender a lâmpada no circuito fechado.

Este modelo é considerado coerente, pois articula adequadamente o nível macroscópico (montagem da pilha e acendimento do LED) e o nível submicroscópico, sugerindo a ideia de fluxo de cargas por meio das linhas que indicam o percurso da corrente elétrica no circuito. Entretanto, a ausência de uma representação simbólica, como uma equação de oxirredução ou a explicitação dos pares redox envolvidos, limitou sua completude, de modo que, segundo

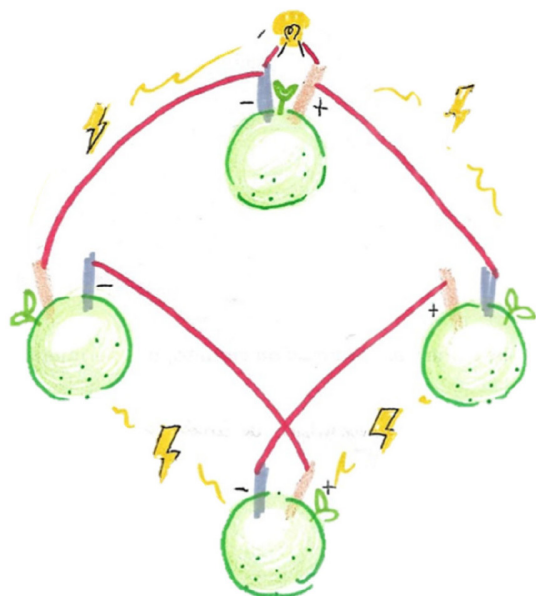


Figura 2: Modelo selecionado pelo Grupo 3 no encontro 2.

os critérios de Jesus (2025), o modelo foi classificado como parcialmente adequado. Ainda assim, o uso das cores para diferenciar os materiais favoreceu a compreensão e a comunicação científica, conforme preconizado por Gilbert (2006).

Na entrevista, o estudante A11G2 comentou: “As apresentações foram o que mais me ajudaram, porque eu podia me expressar sem medo de errar”, evidenciando o papel da modelagem como espaço de expressão, experimentação de ideias e reflexão sobre o próprio pensamento.

No terceiro encontro, a atividade consistiu na observação dos efeitos da corrosão sobre superfícies metálicas, ampliada com o uso do microscópio USB. O modelo selecionado pelo Grupo 4 destacou-se pela tentativa de representar a formação de óxidos sobre a superfície metálica, associando as observações feitas com o microscópio ao fenômeno químico investigado. O modelo está ilustrado na Figura 3.

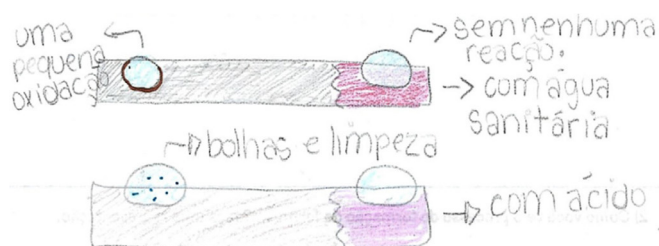


Figura 3: Modelo selecionado pelo Grupo 4 no encontro 3.

A Figura 3 evidencia a representação de uma placa metálica, parcialmente coberta por uma camada de esmalte, e outra parte exposta ao ácido clorídrico. O estudante desenhou bolhas na região exposta, indicando o início da corrosão, e uma superfície íntegra na área protegida, o que demonstra

compreensão sobre o papel da camada protetora na prevenção do contato direto entre o metal e o meio corrosivo. Ao distinguir visualmente as duas regiões da placa, o modelo articula o nível macroscópico da observação (formação de bolhas e desgaste do metal) com uma explicação causal simples sobre a ação do revestimento, configurando um avanço em relação aos modelos que se limitavam apenas à descrição do fenômeno.

Esse modelo foi avaliado como coerente, pois articulou adequadamente o nível macroscópico (alterações visíveis na placa) e o nível submicroscópico, ao sugerir a formação de óxidos na região exposta ao ácido, além de contemplar parcialmente o nível simbólico por meio de setas que indicavam a direção do ataque químico. De acordo com os critérios de Jesus (2025), o modelo foi classificado como parcialmente adequado, uma vez que a ausência de uma equação química representando a reação de oxirredução envolvida limitou a completude da explicação (Justi e Gilbert, 2002b). A fala do estudante A18G3 reforça essa compreensão: “Eu acho que contribuiu muito para quando eu tiver que pensar numa questão mais física assim, sem ter que só imaginar”, sugerindo que a visualização proporcionada pelas atividades e

pelo modelo construído reduziu a dependência de abstrações puramente imaginadas e favoreceu a elaboração de explicações mais ancoradas em evidências observáveis.

No quarto encontro, os estudantes modelaram os efeitos de diferentes antioxidantes sobre a oxidação de frutas. Entre os modelos produzidos, destacou-se

aquele expresso pelo Grupo 6, que apresentou uma comparação entre uma maçã e uma banana, ambas submetidas a tratamentos com e sem antioxidantes, como vitamina C e limão. A representação pode ser visualizada na Figura 4.

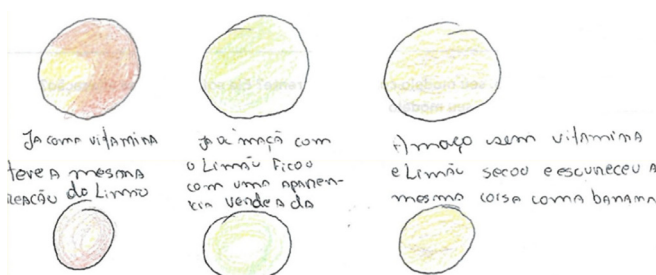


Figura 4: Modelo selecionado pelo Grupo 6 no encontro 4.

A análise da Figura 4 mostra três conjuntos de desenhos comparativos: à direita, as frutas sem qualquer proteção, apresentando escurecimento acentuado; no centro, as frutas tratadas com limão, com coloração mais clara e tonalidade esverdeada; e à esquerda, as frutas tratadas com vitamina C, também com leve alteração de cor. A ausência de setas ou símbolos não comprometeu a interpretação, já que o estudante utilizou a própria variação de coloração entre os

tratamentos como indicador visual do efeito dos antioxidantes, estabelecendo uma comparação direta entre as condições experimentais representadas.

Embora o modelo tenha sido considerado adequado na clareza da comparação macroscópica, ele falhou em integrar os níveis submicroscópico e simbólico. Não houve explicitação, por exemplo, sobre como a vitamina C e o ácido cítrico atuam como agentes redutores, impedindo a oxidação dos compostos fenólicos presentes nas frutas. A ausência desses elementos limitou sua completude e, segundo os critérios de Jesus (2025), o modelo foi classificado como parcialmente adequado. Ainda assim, a metáfora visual utilizada demonstrou um esforço comunicativo, conforme enfatizado por Souza e Justi (2012). O estudante A21G6 expressou: “Eu gostei muito de desenhar as estruturas e como funciona, achei bem interessante”, indicando que a elaboração gráfica favoreceu a expressão das ideias iniciais e contribuiu para o engajamento no processo de modelagem. Esse relato evidencia que a atividade permitiu ao estudante explorar diferentes formas de representação, aspecto central no desenvolvimento de modelos expressos.

No último encontro prático, os estudantes foram convidados a integrar os conceitos de combustão e reações de oxirredução. O modelo expresso pelo Grupo 1 se destacou por representar adequadamente o processo de combustão da palha de aço, indicando tanto a variação de massa após a queima quanto a transferência de elétrons associada à oxidação do ferro. Essa representação está apresentada na Figura 5.

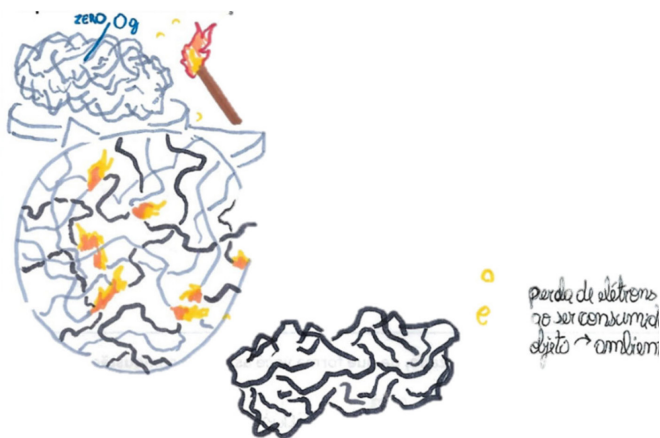


Figura 5: Modelo selecionado pelo Grupo 1 no encontro 5.

O modelo representado na Figura 5 foi considerado coerente porque articula diferentes níveis representacionais do fenômeno. No nível macroscópico, o estudante representou claramente a palha de aço antes e depois da combustão, indicando a variação de massa e a formação de resíduos sólidos. No nível submicroscópico, os pequenos pontos amarelos ao redor do material queimado simbolizam a perda de elétrons pelo ferro durante o processo de oxidação, sugerindo uma compreensão inicial sobre a transferência eletrônica.

Além disso, o rótulo “perda de elétrons” reforça a tentativa de relacionar a combustão à oxirredução, ainda que de forma simplificada. Apesar desses avanços, o modelo não

incluiu uma representação simbólica formal, como equações químicas ou indicação dos estados de oxidação envolvidos, o que, segundo os critérios de Jesus (2025), levou à sua classificação como parcialmente adequado. Ainda assim, a escolha de elementos visuais diferenciados (cores, pontos e rótulos) evidenciou esforço de comunicação científica, em consonância com Justi e Gilbert (2002b). A fala do estudante A29G1 ilustra essa aprendizagem: “Eu usei muito a escrita para tentar organizar, mas o que funcionou mais para mim na elaboração dos modelos foi o desenho mesmo”.

Os resultados desta investigação sugerem que o Ensino Fundamentado em Modelagem (EFM) apresenta potencial para favorecer a aprendizagem de conteúdos complexos, como as reações de oxirredução. A evolução observada nos modelos expressos pelos estudantes, especialmente no avanço da articulação entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico constitui indício de progressão conceitual ao longo da sequência didática, evidenciando que, ao serem instigados a criar, testar e reformular seus modelos, os estudantes desenvolveram competências importantes para a construção de explicações científicas. Essa tendência é coerente com o que defendem Justi (2015) e Gilbert (2004), ao enfatizarem que o envolvimento ativo no processo de modelagem favorece a elaboração, a revisão e a consolidação de entendimentos sobre fenômenos complexos.

A presença sistemática do microscópio USB como recurso mediador mostrou-se importante para que os estudantes iniciassem o processo de transição entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico, contribuindo para minimizar a tradicional fragmentação do ensino de Química descrita por Johnstone (1993). As imagens ampliadas de processos como corrosão, escurecimento de frutas e combustão da palha de aço forneceram evidências visuais que os estudantes incorporaram em seus modelos expressos, estimulando a problematização e a reconstrução conceitual. Esse uso da experimentação aliada à mediação tecnológica está em sintonia com Hodson (1994), ao conceber o laboratório como espaço de investigação, no qual os dados observados são mobilizados para elaborar, testar e revisar explicações, e não apenas para ilustrar teorias previamente estabelecidas.

Além disso, a análise conjunta dos modelos expressos, das entrevistas e do grupo focal evidenciou diferentes dimensões da aprendizagem mobilizadas ao longo da sequência didática. A convergência entre essas fontes de dados permitiu identificar não apenas indícios de reorganização conceitual, mas também aspectos relacionados ao engajamento, à expressão das próprias ideias e à reflexão sobre o processo de aprender, elementos frequentemente destacados por Marcondes e Brisola (2014) ao discutirem o potencial da triangulação para ampliar a compreensão dos fenômenos investigados. Essas interpretações foram reforçadas pelas falas dos estudantes, que atribuíram às atividades oportunidades de testar explicações, revisar representações e compartilhar significados construídos coletivamente.

Outro aspecto relevante foi o reconhecimento, por parte de vários estudantes, do caráter processual e investigativo da

modelagem científica, algo frequentemente ausente nas práticas tradicionais de ensino. Esse reconhecimento apareceu nas falas que mencionaram a possibilidade de “experimentar ideias”, “acertar e errar” e “refazer os desenhos”, bem como na sequência de versões dos modelos produzidos ao longo dos encontros, que mostraram sucessivas revisões e acréscimos de elementos explicativos. A percepção de que os modelos são instrumentos em constante reelaboração, e não produtos acabados, foi, assim, inferida tanto dos depoimentos dos participantes quanto dos avanços registrados nos modelos expressos, reafirmando a pertinência da modelagem como estratégia pedagógica, como também destacam Halloun (1996) e Nersessian (1992).

Assim, os resultados desta pesquisa sugerem que a combinação entre modelagem e experimentação, associada a recursos acessíveis como o microscópio USB, pode configurar-se como uma proposta pedagógica potencialmente relevante para o ensino de Química, especialmente em contextos educativos desafiadores. Ao promover a mobilização de saberes prévios, o desenvolvimento de habilidades científicas e a articulação entre diferentes níveis representacionais, essa proposta mostrou indícios de contribuir para uma aprendizagem mais significativa e reflexiva, alinhada às demandas contemporâneas do ensino de Ciências (Souza, 2021; Moreira, 2011).

Considerações finais

Os resultados desta pesquisa sugerem que a proposta pedagógica desenvolvida apresentou potencial para favorecer aprendizagens significativas no ensino de Química, especialmente no estudo das reações de oxirredução. A combinação entre modelagem científica, experimentação com recursos acessíveis e valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes contribuiu para a construção de um ambiente de aprendizagem investigativo, dinâmico e colaborativo. A análise dos modelos expressos ao longo dos encontros apresentou indícios de progressão conceitual, na medida em que os estudantes avançaram de representações iniciais mais descritivas e fragmentadas para explicações progressivamente mais articuladas e coerentes com os referenciais científicos.

A modelagem, tomada como eixo central da proposta, possibilitou que os estudantes expressassem e revisassem suas ideias de maneira criativa e reflexiva, promovendo o desenvolvimento de habilidades de representação, argumentação e abstração. O uso do microscópio USB mostrou-se um importante recurso de mediação, contribuindo para aproximar os estudantes dos níveis submicroscópico e simbólico, ao oferecer evidências visuais sobre fenômenos normalmente imperceptíveis. Essa mediação tecnológica fortaleceu o caráter investigativo das atividades, em sintonia com a perspectiva de Johnstone (1991; 1993; 2004) sobre a importância da transição entre diferentes níveis de pensamento e com o entendimento de Justi (2015) acerca da modelagem como processo de elaboração e reconstrução conceitual.

Os dados qualitativos provenientes das entrevistas e do grupo focal revelaram que os estudantes atribuíram valor à proposta, compreendendo a ciência como um processo ativo de investigação e reelaboração de ideias. A presença de múltiplas linguagens: visual, verbal, simbólica e experimental, ampliou os sentidos atribuídos à aprendizagem e favoreceu o engajamento nas tarefas. Momentos de socialização e discussão coletiva dos modelos produzidos foram frequentemente mencionados como oportunidades significativas de troca, reflexão e reconstrução do conhecimento.

Entre as contribuições desta pesquisa, destaca-se a possibilidade de integrar teoria e prática de forma contextualizada, articulando conteúdos químicos com situações presentes no cotidiano amazônico. A escolha de temas próximos da realidade dos estudantes, como o escurecimento de frutas, a corrosão de embarcações e a geração de energia com limões, permitiu uma abordagem mais situada, favorecendo a construção de vínculos entre o conhecimento escolar e o mundo vivido.

Do ponto de vista metodológico, a análise conjunta dos diferentes instrumentos de coleta (modelos expressos, entrevistas individuais e grupo focal) ampliou a consistência das interpretações, oferecendo uma visão abrangente sobre as dimensões conceituais, afetivas e metacognitivas envolvidas na aprendizagem.

Reconhece-se, no entanto, que o número reduzido de encontros e o recorte temporal limitado não permitiram acompanhar a consolidação das aprendizagens em longo prazo. Além disso, a realização da proposta com apenas uma turma restringe a generalização dos achados. Ainda assim, os dados obtidos oferecem indícios relevantes sobre os benefícios da abordagem adotada, apontando possibilidades de replicação e aperfeiçoamento em diferentes contextos educativos.

Recomenda-se que futuras pesquisas investiguem o impacto de propostas semelhantes em outros conteúdos da Química e em diferentes etapas da escolarização. Sugere-se, também, aprofundar estudos sobre o papel do professor na mediação da modelagem e sobre os desafios enfrentados na implementação de sequências investigativas com uso de tecnologias acessíveis.

Conclui-se, portanto, que a modelagem, quando integrada à experimentação e à valorização dos saberes dos estudantes, constitui uma estratégia promissora para o ensino de Química, favorecendo não apenas a compreensão de conceitos, mas também o desenvolvimento de competências investigativas, argumentativas e reflexivas. O percurso formativo analisado reafirma a importância de propostas que reconheçam os estudantes como sujeitos ativos na construção do conhecimento científico.

Aline Samara Lima de Jesus (aline.jesus@ufam.edu.br) é licenciada em Química e mestre em Ensino de Ciências e Matemática pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus-AM, Brasil. **Ettore Paredes Antunes** (ettore@ufscar.br) é bacharel e doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Atualmente é Professor Adjunto do Departamento de Química da UFSCar e Coordenador do Laboratório de Ensino e Aprendizagem de Química (LENAQ). São Carlos-SP, Brasil.

Referências

- BICALHO, H.; OLIVEIRA, L. e JUSTI, R. Processos de produção de representações vivenciados por estudantes em contextos de ensino fundamentado em modelagem. *Impacto - Revista de Pesquisa em Ensino de Ciências*, n. 1, e65299, 2022.
- BODNER, G. M. e DOMIN, D. S. Mental models: the role of representations in problem solving in chemistry. *University Chemistry Education*, v. 4, n. 1, p. 24-30, 2000.
- BOGDAN, R. C. e BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação*. Porto: Porto Editora, 1994.
- GILBERT, J. K. Models and modelling: routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 2, n. 2, p. 115-130, 2004.
- GILBERT, J. K. On the nature of “context” in chemical education. *International Journal of Science Education*, v. 28, n. 9, p. 957-976, 2006.
- GILBERT, J. K. e JUSTI, R. *Modelling-based teaching in science education*. Basel: Springer, 2016.
- GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, v. 10, p. 43-49, 1999.
- HALLOUN, I. A. Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 33, n. 9, p. 1019-1041, 1996.
- HODSON, D. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.
- JESUS, A. S. L. *Uso da modelagem como estratégia didática para potencializar o processo de ensino e aprendizagem de oxirredução sob o olhar microscópico*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática). Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2025.
- JESUS, A. S. L.; RIOS, E. C.; KASSEBOEHMER, A. C. e ANTUNES, E. P. Microscópio USB de baixo custo no laboratório didático de eletroquímica: dois experimentos clássicos sob um novo (micro) olhar. *Química Nova*, v. 48, n. 2, p. e-20250073, 2025.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. *Mental models*. Cambridge (EUA): Harvard University Press, 1983.
- JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 7, p. 75-83, 1991.
- JOHNSTONE, A. H. The development of chemistry teaching: a changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993.
- JOHNSTONE, A. H. The future shape of chemistry education. *Chemistry Education: Research and Practice*, v. 5, n. 3, p. 229-245, 2004.
- JUSTI, R. La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 24, n. 2, p. 173-184, 2006.
- JUSTI, R. Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do ensino de ciências. *Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, n. especial, p. 31-48, 2015.
- JUSTI, R. e GILBERT, J. K. Science teachers’ knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, v. 24, n. 12, p. 1273-1292, 2002a.
- JUSTI, R. e GILBERT, J. K. Modelling, teachers’ views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002b.
- MAIA, P. F. e JUSTI, R. Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, v. 31, n. 5, p. 603-630, 2009.
- MARCONDES, N. A. V. e BRISOLA, E. M. A. Análise por triangulação de métodos: um referencial para pesquisas qualitativas. *Revista Univap*, v. 20, n. 35, p. 201-208, 2014.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU, 2011.
- MORTIMER, E. F.; MACHADO, A. H. e ROMANELLI, L. I. A Proposta Curricular de Química do estado de Minas Gerais: fundamentos e pressupostos. *Química Nova*, v. 23, n. 2, p. 273-283, 2000.
- NERSESSIAN, N. J. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. *Cognitive Models of Science*, v. 15, p. 3-44, 1992.
- SEEL, N. M. Model-centered learning and instruction. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, v. 1, n. 1, p. 59-85, 2003.
- SOUZA, K. A. *Ensino de ciências na educação básica: o papel e o espaço da Química na BNCC para a educação infantil e os anos iniciais do ensino fundamental*. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão (PR), 2021.
- SOUZA, V. e JUSTI, R. Análise de uma proposta didática de modelagem no ensino de ciências: contribuições da Teoria da Aprendizagem Significativa. *Ciência & Educação*, v. 19, n. 2, p. 423-438, 2012.
- VOSNIADOU, S. Mental models in conceptual development. In: MAGNANI, L. e NERSESSIAN, N.J. (Eds.) *Model-Based Reasoning*. Nova York: Springer, 2002. p. 353-368.

Abstract: *Modelling in Focus: articulating experimentation, technology and oxidation-reduction concepts in High School.* This article presents the results of a qualitative study conducted in a public high school in Manaus/AM, Brazil, which investigated the influence of modelling and experimentation on learning redox reactions. The proposal involved eight sessions with activities based on Modelling-Based Teaching (MBT) and the use of USB microscopes. Data were collected through questionnaires, activity sheets, interviews, and focus groups, allowing the analysis of students’ mental models. The results showed improvement in the representation of chemical concepts, with better articulation of the macroscopic, submicroscopic, and symbolic levels. The combination of modelling, experimentation, and technological mediation promoted more meaningful, contextualized, and student-centered learning, standing out as a powerful strategy for Chemistry education.

Keywords: modelling-based teaching, mental models, chemistry education