



A evocação do pensamento metavisual em uma atividade sobre o efeito da temperatura na rapidez de uma reação

The evocation of metavisual thought in activity on the effect of temperature the rate of a reaction

La evocación del pensamiento metavisual en una actividad sobre el efecto de la temperatura en la velocidad de una reacción

Marcella Seika Shimada

Universidade Federal do ABC
marcella.shimada@ufabc.edu.br
<https://orcid.org/0000-0002-4253-6298>

Solange Wagner Locatelli

Universidade Federal do ABC
solange.locatelli@ufabc.edu.br
<https://orcid.org/0000-0002-7639-6772>

Resumo

Este estudo qualitativo trata de um recorte de uma pesquisa maior sobre o ensino de química, com foco na cinética, sob a perspectiva da metacognição. O objetivo deste trabalho é analisar de que forma os incidentes metavisuais, evocados por um grupo de estudantes, influenciam no processo de aprendizagem durante uma atividade que aborda o efeito da temperatura na rapidez de uma reação química. A atividade metavisual foi realizada com três estudantes universitários em uma universidade pública brasileira. Durante a atividade, os alunos foram incentivados a refletir por meio da comparação de suas próprias representações simbólicas e pictóricas com os diagramas químicos apresentados pela professora. Os resultados indicaram que os incidentes metavisuais, de modo integrado, permitiram que os discentes revisassem e reconstruíssem o pensamento em estágios diferentes da tarefa. Além disso, o estudo também aborda algumas dificuldades relacionadas aos conceitos de química geral e implicações para o ensino no contexto desta pesquisa.

Palavras-chave: Metavisualização; metacognição; ensino de química; cinética química.

Abstract:

This qualitative study is a section of a larger research on the teaching of chemistry, with a focus on kinetics, from the perspective of metacognition. The objective of this work is to analyze how the metavisual incidents evoked by a group of students influence the learning process during an activity that addresses the effect of temperature on the rate of a chemical reaction. The metavisual activity was carried out with three undergraduate students at a public Brazilian university. During the activity, students were encouraged to reflect by comparing their own symbolic and pictorial representations with the chemical diagrams presented by the teacher. The results indicated that the metavisual incidents, in an integrated manner, allowed the learners to revise and reconstruct their thinking at different stages of the task. In addition, the study also addresses some difficulties related to general chemistry concepts and implications for teaching in the context of this research.

Keywords: Metavisualization; metacognition; chemistry teaching; chemical kinetics.

Resumen

Este estudio cualitativo es una sección de una investigación más amplia sobre la enseñanza de la química, centrada en la cinética, desde la perspectiva de la metacognición. El objetivo de este trabajo es analizar cómo los incidentes metavisuales evocados por un grupo de estudiantes influyen en el proceso de aprendizaje durante una actividad que aborda el efecto de la temperatura en la velocidad de una reacción química. La actividad metavisual se llevó a cabo con tres estudiantes de licenciatura de una universidad pública brasileña. Durante la actividad, se animó a los estudiantes a reflexionar comparando sus propias representaciones simbólicas y pictóricas con los diagramas químicos presentados por el profesor. Los resultados indicaron que los incidentes metavisuales, de forma integrada, permitieron a los estudiantes revisar y reconstruir su pensamiento en diferentes etapas de la tarea. Además, el estudio también aborda algunas dificultades relacionadas con los conceptos de química general y las implicaciones para la enseñanza en el contexto de esta investigación.

Palabras clave: Metavisualización; metacognición; enseñanza de la química; cinética química.

Introdução

As estratégias metacognitivas têm emergido como uma ferramenta eficaz para promover o desenvolvimento da capacidade dos estudantes em monitorar e controlar o seu próprio processo de aprendizagem, sendo evidenciadas em pesquisas voltadas para o ensino de ciências (Corrêa et al., 2022; Fernandes & Locatelli, 2021; Locatelli & Davidowitz, 2021; Souza Neto & Lima, 2022; Tavares et al., 2018).

A primeira definição de metacognição foi estabelecida pelo psicólogo John Flavell (1976), tratando como seria o conhecimento que um indivíduo tem sobre os próprios processos mentais, isto é, a capacidade de monitorar ativamente e regular os próprios processos cognitivos em relação aos objetos ou informações sobre os quais eles se baseiam.



Em consonância, para Brown (1978), que deu continuidade nos estudos de Flavell, a metacognição está para além do conhecimento sobre as próprias cognições, ela possibilita o controle executivo consciente, como prever, planejar, avaliar e monitorar (Brown, 1978). Estas etapas são importantes para que o indivíduo desenvolva habilidades necessárias para resolução de problemas, o que é frutífero para o ensino de ciências, e neste trabalho em específico, o ensino de química.

Segundo Wu e Shah (2004), a química é uma ciência visual, pois as múltiplas formas de representações são utilizadas em sala de aula desde a introdução de conceitos básicos da área. Para as autoras, a capacidade de compreender e manipular essas representações é um aspecto necessário para o entendimento pleno do conteúdo e o avanço nos estudos, sobretudo no nível submicro do conhecimento químico.

Diante disso, fica em evidência a importância de abordagens que permitam aos estudantes o contato e o aprimoramento do pensamento visual, habilidade que pode ocorrer por meio da metacognição, isto é, a metavisualização, conceituada por Gilbert (2005). Esta estratégia é significativa principalmente no nível submicro, que por sua vez tem como característica a abstração e dificuldade de representá-lo com precisão (Davidowitz & Chittleborough, 2009). De modo a compreender como os alunos repensam sobre a visualização, Locatelli e Arroio (2014) propuseram o uso dos incidentes metavisuais, os quais serão aprofundados na próxima seção.

Tendo isso em vista, neste trabalho foi proposto a discentes de graduação elaborar e comparar representações simbólicas e pictóricas durante uma atividade metavisual que envolveu a reação química entre ferro sólido e uma solução aquosa de ácido sulfúrico. Desta forma, este estudo tem como pergunta de investigação: *De que maneira os incidentes metavisuais impactam na aprendizagem de estudantes de graduação a partir de uma atividade sobre a influência da temperatura na rapidez da reação?*

Contextualização teórica

De acordo com Gobert (2005), a visualização é usada na pesquisa educacional em três formas: 1) visualizações externas, descritas como ferramentas de aprendizagem, sendo gráficos, diagramas, modelos, simulações, etc., são consideradas semanticamente ricas porque envolvem símbolos; 2) visualizações internas, que referem-se às construções mentais internas de cada indivíduo armazenados da memória; e 3) visualização como habilidade visuoespacial, que é compreendida como a habilidade de interpretar padrões desta natureza.

Para Gilbert et al. (2009), a visualização refere-se ao processo de criar uma imagem mental interna a partir de uma informação visual externa. Os autores apontam ainda a importância da visualização no ensino de química, tendo em vista que a articulação dos modelos científicos é fundamental para o aprendizado. Desta forma, há a necessidade de que os estudantes se tornem metacognitivos no que se diz respeito à visualização (Locatelli et al., 2010). A Figura 1 demonstra um modelo que relaciona a metavisualização com a metacognição e a visualização.

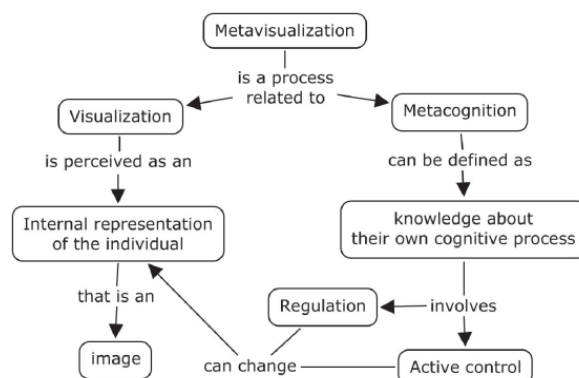


Figura 1. Modelo sobre a metavisualização (Locatelli et al., 2010, p. 80)

Segundo o modelo, a visualização interna de um indivíduo pode ser modificada a partir da regulação e controle ativo dos seus próprios processos mentais, como a metacognição e neste caso, a metavisualização. Este processo pode oportunizar a autonomia dos alunos em relação à aprendizagem, fazendo-os se autorregularem com constância e de forma significativa (Fernandes & Locatelli, 2021).

Locatelli e Arroio (2014) publicaram um estudo aplicado com alunos de Ensino Médio com uma abordagem metavisual para o ensino de isomeria geométrica. Para analisar a manifestação da metavisualização dos estudantes, foram usados os “incidentes metavisuais”, sendo eles possíveis indícios que indicam evocação do pensamento metavisual. Em estudos posteriores, Paz e Locatelli (2019) sugerem alterações na nomenclatura de dois termos, cuja nova reformulação consta no Quadro 1.

Quadro 1. Incidentes metavisuais e as respectivas descrições segundo Locatelli e Arroio (2014) e modificações nas nomenclaturas dos dois últimos por Paz e Locatelli (2019).

Incidentes metavisuais	Código	Descrição
Monitoramento	Mn	Questionar ou repensar uma ideia/raciocínio.
Confirmação	Cn	Confirmação de ideia/raciocínio ou conclusão.
Mudança efetiva	ME	Reconstrução de ideia/pensamento direcionado ao acerto conceitual.
Mudança em Construção	MeC	Reconstrução de ideia/pensamento direcionado ao erro conceitual.

Os resultados de pesquisa de Locatelli e Arroio (2014) concluem que a atividade meta-visual possibilita a revisão e (re)construção de conceitos relacionados à isomeria geométrica. Além disso, ainda afirmam que o acesso do pensamento metavisual é complexo e os alunos têm dificuldades de externalizar os pensamentos, por isso, a baixa habilidade visual e as ideias prévias podem dificultar a reconstrução do conhecimento, sendo estes alguns fatores citados pelos autores inerentes ao processo.



No que se concerne aos incidentes, achados de Locatelli e Davidowitz (2021), em estudo com estratégia metavisual sobre o ensino de reações químicas entre íons com graduandos, indicam Mudança Efetiva (ME) no pensamento dos alunos majoritariamente em relação ao nível submicro, tendo evidências de que a estratégia pode ser útil para desenvolver a revisão dos conceitos químicos.

Em proposta semelhante aos estudos anteriormente citados, no estudo de Kelly (2017) com alunos de graduação, os estudantes compararam a compreensão deles em animações de reações redox, determinando qual animação seria cientificamente mais precisa. A partir do monitoramento metacognitivo, os resultados sugerem que os alunos dão preferência a modelos mais simplistas ligados explicitamente ao nível macro, sendo capazes de entender o conceito central.

Por isso, é recomendável que se usem práticas que envolvam a modelagem (Gilbert et al., 2009), para que os alunos sejam envolvidos em um processo constante de (re)construção de representações da química, de modo a gradualmente serem capazes de compreender modelos cada vez mais complexos e cientificamente mais precisos. O professor deve oportunizar tarefas em que os aprendizes construam novas representações (Gilbert et al., 2009) a partir de um contexto de produção (situação-problema), para que a construção e desenvolvimento desses conceitos sejam aliados a atividades críticas e que engajem os alunos (Silva et al., 2021).

Método

Este estudo adota uma abordagem qualitativa, uma vez que baseia-se na compreensão e percepção humana. Segundo Stake (2011) a essência desse tipo de abordagem é caracterizada pela riqueza de ações pessoais e à complexidade dos ambientes.

Participaram do estudo três estudantes de graduação: Yohan, um aluno de 28 anos, e duas alunas, Ariadne e Cecília, de 21 e 22 anos (nomes fictícios escolhidos por eles mesmos). Os dados foram coletados durante uma aula da disciplina de Práticas de Ensino de Química II, cursada por eles de setembro a dezembro de 2022, na Universidade Federal do ABC (UFABC), situada na cidade de Santo André, em São Paulo, Brasil. Vale ressaltar que, embora a disciplina tivesse inicialmente quatro alunos matriculados, apenas três estavam presentes no dia da atividade em questão.

Este trabalho seguiu os parâmetros éticos de estudos envolvendo seres humanos, tendo posse do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e com aprovação do Comitê de Ética – UFABC – SP no dia 06 de julho de 2022, seu registro CAAE é 58429722.0.0000.5594.

Durante a etapa 1 da atividade, os estudantes foram apresentados a uma situação-problema que envolvia a reação química entre ferro sólido e uma solução aquosa de ácido sulfúrico. O objetivo da investigação era determinar se o aumento da temperatura resultaria em um aumento na rapidez e no rendimento da reação apresentada.



Diante da problemática apresentada, os estudantes trabalharam em grupo de modo a levantar hipóteses e traçar um plano experimental para o teste das hipóteses estabelecidas. Para realizar o experimento, utilizaram os seguintes reagentes e materiais: solução aquosa de H_2SO_4 1,0 mol/L, pregos de ferro, chapa de aquecimento, tubos de ensaio, estante para os tubos e uma pisseta contendo água destilada. Os estudantes observaram os fenômenos ocorridos durante o experimento e discutiram suas conclusões preliminares.

Em seguida, na etapa 2, o grupo foi instruído a discutir e elaborar representações simbólicas e pictóricas que explicassem o experimento realizado. A primeira proposta foi determinar a equação química correspondente (Figura 2, item A). Em seguida, os estudantes compararam e deliberaram as semelhanças e diferenças entre a equação química proposta por eles e a equação química apresentada pela professora ($\text{Fe}_{(s)} + 2\text{H}^+_{(aq)} \rightarrow \text{Fe}^{2+}_{(aq)} + \text{H}_{2(g)}$), conforme apresentado na Figura 2, item A'. Essa etapa representou um momento metavisual de reflexão e análise das representações.

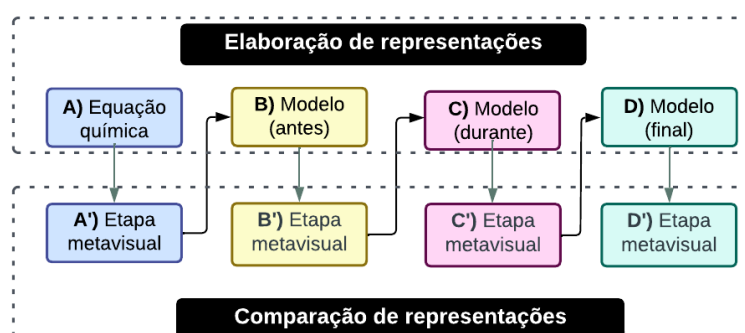


Figura 2. Esquema de atividades da etapa 2.

Após a conclusão da etapa anterior, o grupo avançou para o item B da Figura 2, no qual eles elaboraram modelos explicativos em nível submicro, considerando o momento em que os reagentes entraram em contato, isto é, antes do início da reação. Após finalizarem o desenho, eles seguiram o procedimento da etapa metavisual (Figura 2, item B'), ou seja, os alunos compararam e analisaram as convergências e divergências entre o modelo proposto pelo grupo com o modelo que foi posteriormente apresentado pela professora como uma possibilidade de explicação (Figura 3, item B).

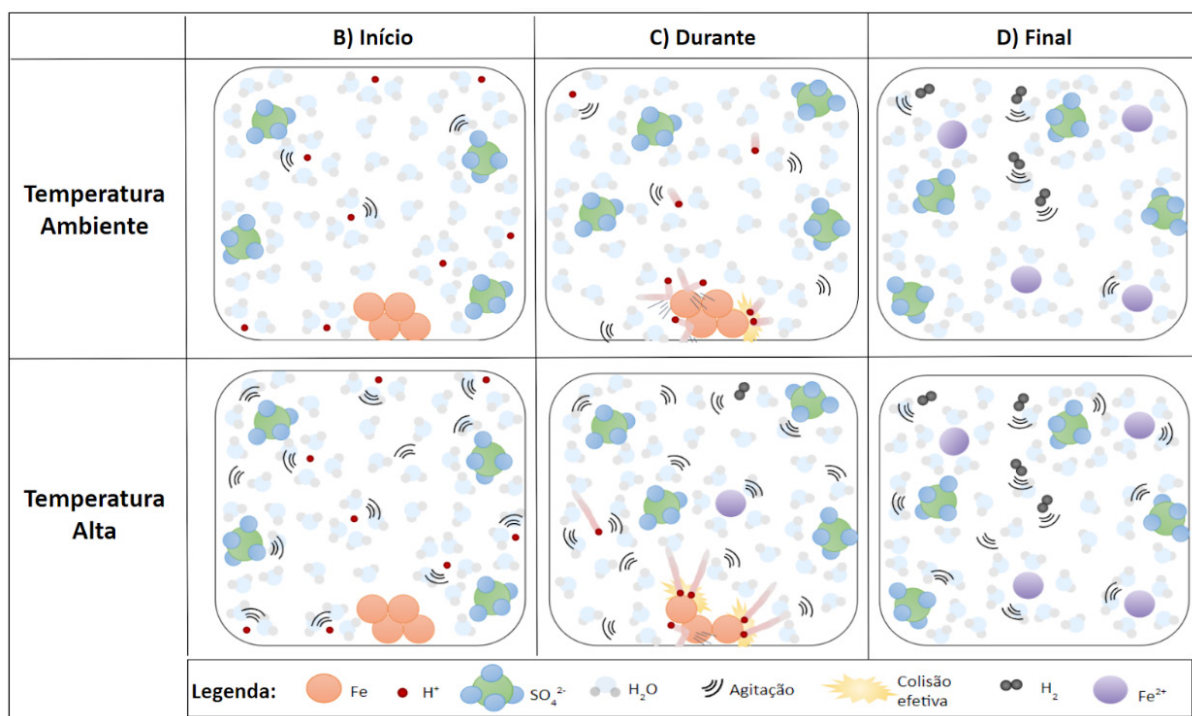


Figura 3. Possibilidade de modelos explicativos considerando o início, durante e ao final da reação em temperatura ambiente e temperatura alta

O mesmo procedimento foi realizado para os demais itens (C e D), nos quais foram elaborados modelos explicativos C) durante e D) ao final da reação (considerando que todo o prego fosse consumido). A dinâmica utilizada para esses itens seguiu o mesmo padrão dos itens mencionados anteriormente. As possibilidades de modelos explicativos apresentadas pela professora para os itens C e D também estão na Figura 3.

A atividade teve duração de aproximadamente 120 minutos. As produções simbólicas e pictóricas dos discentes foram registradas enquanto as discussões foram gravadas em áudio. Posteriormente, as gravações foram transcritas e organizadas em turnos de fala enumeradas seguindo critério cronológico.

Considerou-se que um turno de fala é iniciado quando um indivíduo realiza a tomada de palavra e se estende até o momento em que ele conclui sua frase ou o questionamento. Segundo Villani e Nascimento (2003), em estudos onde são realizadas as análises de turnos de fala, as hesitações, os gestos e outros elementos podem indicar um novo turno de fala. Portanto foi levado em consideração que um novo turno não se inicia apenas quando há a alternância entre os interlocutores na conversa, nesse sentido, o novo turno de fala pode ser iniciado pelo mesmo indivíduo do turno anterior.

Tendo em vista que o estudo explora o uso de representações e a construção e reconstrução do pensamento por meio da visualização, optou-se pela análise dos turnos de fala por meio

da categorização pré-estabelecida por Locatelli e Arroio (2014) com as modificações de Paz e Locatelli (2019) de acordo com a incidência de evento metavisual do Quadro 1. Para validar a categorização, a análise dos dados foi feita por três pesquisadores de forma independente, levando em consideração exclusivamente os conceitos de química evocados pelos alunos, portanto os diálogos inerentes a procedimentos e estratégias de trabalho não foram considerados.

Exemplos com justificativas de como os turnos de fala foram classificados de acordo com os incidentes metavisuais estão no Quadro 2. O contexto para a análise dos turnos é fundamental para a categorização deles, portanto apresenta-se abaixo um breve contexto dos exemplos apresentados.

Em relação aos turnos de fala 21 ao 23, as estudantes, Cecília e Ariadne, discutiram sobre a elaboração da equação química, na qual elas determinam que há a presença de água na reação. Em turnos anteriores, Cecília assume que a água fosse “solução aquosa de água”, mas no momento de elaborar a equação, demonstrou um conflito cognitivo sobre a afirmação feita por ela.

No que se refere ao turno 295, após o grupo ter acessado a equação química cientificamente correta apresentada pela professora, eles repensam sobre a representação ao ter dificuldade em fazer a transposição da equação para o modelo submicro, retomando ao pensamento original, de que a reação seria de “simples troca”.

Quadro 2. Exemplos da classificação dos turnos de fala

Turno de fala	Incidente metavisual	Justificativa
21 “(…) isso (água)... seria... aquosa né?” (Cecília)	Monitoramento (Mn)	A aluna monitora o seu pensamento, questionando os colegas se H ₂ O seria aquosa.
22 “Líquida! H ₂ O líquida!” (Cecília)	Mudança Efetiva (ME)	Nesse momento, a aluna conclui que o que tinha pensado anteriormente, “solução aquosa de água”, estava equivocado, modificando sua conclusão para um acerto conceitual.
23 “Isso, H ₂ O líquida!” (Ariadne)	Confirmação (Cn)	A segunda estudante ratifica o pensamento da colega.

295 “uhun! porque aí (a reação faz simples) troca ” (Ariadne)	Mudança em construção (MeC)	A estudante repensa sobre a equação química correta, modificando sua conclusão para um erro conceitual.

Para a triangulação dos dados, foram analisados juntamente com os turnos de fala e os incidentes metavisuais, as produções simbólicas e pictóricas dos alunos e as anotações das pesquisadoras feitas a partir de anotações no diário de campo.

Reitera-se ainda que faremos neste trabalho um recorte da pesquisa, portanto o foco será nas produções e discussões feitas na etapa 2, isto é, na elaboração e comparação de representações, a partir da evocação dos incidentes metavisuais com enfoque nos conceitos



de química geral que emergiram durante a atividade, uma vez que foram identificados mais incidentes relacionados a conceitos gerais do que referentes a influência da temperatura na rapidez da reação.

Resultados e discussão

Organizou-se a apresentação e discussão dos resultados em três partes: a manifestação dos incidentes metavisuais, aprendizagem dos conceitos de química a partir dos incidentes metavisuais e limitações e implicações para o ensino.

Manifestação dos incidentes metavisuais

Na etapa 2, isto é, o momento da atividade que envolveu a elaboração e comparação de representações (Figura 2), foram registrados um total de 733 turnos de fala, dos quais 192 apresentaram manifestação de incidente metavisorial. Dentre os incidentes, o monitoramento teve maior número de manifestações com aproximadamente 51%, seguido de confirmação (41%), mudança efetiva (7%) e mudança em construção (1%), respectivamente.

A proporção de incidentes encontrada nesse estudo também foi verificada em outras pesquisas (Locatelli & Arroio, 2014; Locatelli & Davidowitz, 2021; Shimada et al., 2022), onde o monitoramento e confirmação aparecem com maior frequência, tanto para estudantes do ensino médio (equivalente ao *high school* em alguns países) como para a graduação. Ambos incidentes se enquadram como os procedimentos básicos da metacognição (Shimada et al., 2022), e por isso, são evocados com maior prevalência.

Por outro lado, houve menor porcentagem de evocação de ME e MeC. Para Locatelli e Davidowitz (2021), essas ações dão oportunidade para os alunos aperfeiçoarem e revisarem os modelos mentais. Em outras palavras, a ideia não é substituir o conceito não-científico, mas sim oportunizar a reconstrução de novas ideias com a assimilação aos conhecimentos prévios. Diante disso, entende-se que o processo de (re)construção do conhecimento é gradual e exige tempo, o que justificaria a menor regularidade de MeC e ME.

Tendo em vista as características dos incidentes metavisuais e a evocação deles em determinados momentos da atividade, somou-se o número de incidentes de cada evento em intervalos de 50 turnos de fala, obtendo assim o Gráfico 1:

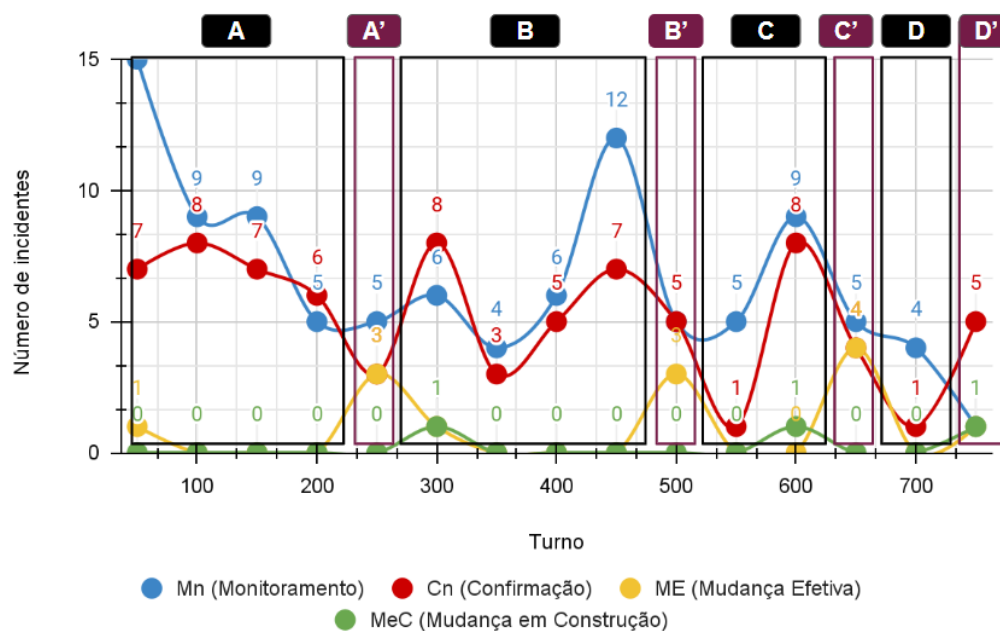


Gráfico 1. Evocação dos incidentes metavisuais de acordo com os turnos de fala

No Gráfico 1, observa-se a identificação de conjuntos de turnos, denominados “Ciclos”, que correspondem a diferentes estágios da atividade seguindo o esquema da Figura 2. Os Ciclos com letras representam os momentos de elaboração das representações, e os Ciclos com letras e apóstrofo referem-se às comparações, isto é, etapas metavisuais. Por exemplo, no Ciclo A, os alunos elaboraram a equação química e no Ciclo A', eles compararam a representação feita com a equação apresentada pela professora.

De modo geral, a evocação de Mn tem maior incidência no início da atividade no Ciclo A e próximo à conclusão do Ciclo B. Esses momentos coincidiram com períodos em que os estudantes apresentaram mais dúvidas e dificuldades para progredir na tarefa, expressas por meio do monitoramento, ou seja, questionamentos sobre o conteúdo.

Ambas tarefas dos Ciclos A e B eram inéditas aos estudantes, o que poderia justificar o maior número de turnos contemplados para conclusão da atividade. Por outro lado, os Ciclos C e D têm menor número de turnos em detrimento dos anteriormente citados, o que era esperado uma vez que as tarefas destes Ciclos se assemelhavam a do Ciclo B. Exemplificando, a etapa metavisional do Ciclo B' permitiu ao grupo repensar e aplicar as novas ideias adquiridas no modelo posterior, sendo neste caso, a tarefa do Ciclo C. A mesma dinâmica ocorreu do Ciclo C' para o D, pois nota-se que no Ciclo D, o número de turnos foi ainda menor e houve baixa incidência de Mn, o que sugere que as dificuldades relacionadas a elaboração dos modelos foram diminuindo ao longo da tarefa.

Em todos os Ciclos cuja dinâmica era a etapa metavisional (Ciclo A', B', C' e D') houve maior número de indícios de ME. Esse dado pode indicar que a estratégia oportuniza que os alunos

façam a revisão e reconstrução do pensamento por meio da comparação de representações e discussão com os pares sem a intervenção do professor. No entanto, nem sempre apenas as representações visuais têm significados claros aos estudantes, tendo em vista que houve MeC em uma etapa metavisual. Para Locatelli e Arroio (2014), há a necessidade da supervisão posterior de um professor nas atividades de visualização para que ele redirecione as MeC em um processo de revisão e reconstrução de conceitos. E além disso, para Davidowitz e Chittleborough (2009), o papel do especialista (o docente, neste caso) é orientar os novatos (alunos), pois a articulação desses conceitos requer estrutura cuidadosa para o desenvolvimento de competências que permitem interpretar as múltiplas formas de representação da química.

O comportamento do Gráfico 1 demonstra que ao longo da atividade, os estudantes se apropriaram dos principais conceitos, dado que há maior número de indícios de ME se comparado a MeC. Além disso, o último Ciclo (D') teve maior incidência de Cn, onde o grupo ratificou as ideias e concluiu a atividade em concordância do que foi feito.

Na sessão seguinte mostra-se alguns exemplos mais detalhados das dinâmicas discutidas.

Aprendizagem dos conceitos de química a partir dos incidentes metavisuais

No início do Ciclo A, foi observado um aumento significativo de incidentes relacionados ao monitoramento. Esse aumento pode ser atribuído às dificuldades enfrentadas pelos alunos ao tentarem estabelecer quais seriam os produtos da reação. As dúvidas e questionamentos surgiram principalmente no início da discussão, momento este em que os estudantes estavam se familiarizando com o tema e tentando compreender os conceitos envolvidos na reação química estudada. Ao longo da atividade, houve um decréscimo de Mn, enquanto os incidentes de Cn permaneceram presentes. Este padrão sugere que o grupo estava chegando a um consenso de ideias por meio de questionamentos e ratificação de pensamentos entre os participantes de modo a chegar na conclusão da etapa do ciclo A, onde há uma prevalência do incidente de confirmação (Quadro 3).

Quadro 3. Turnos de fala 160 a 168 - Ciclo A

	Turno de fala	Código
160	"(...) isso aqui.. ele (íon sulfato) fica juntinho né?" (<i>Ariadne</i>)	Mn
161	"Então não tem porque existir isso" (quebra de ligação entre o oxigênio e o enxofre do íon sulfato) (<i>Cecília</i>)	-
162	"Isso (...), se ele (H_2SO_4) separar aqui vai formar H_2 e um ' SO_4 '" (<i>Ariadne</i>)	Cn
163	"O que não dá para fazer, é tirar esse oxigênio aqui (do íon sulfato), entendeu? separar ele do enxofre" (<i>Ariadne</i>)	-
164	"Então... isso aqui não acontece (ideia do turno 163)" (<i>Cecília</i>)	Cn
165	"Eu acho que não" (<i>Ariadne</i>)	Cn
166	"Mas isso aqui poderia acontecer (ideia do turno 162)" (<i>Cecília</i>)	-
167	"Eu acho que sim" (<i>Ariadne</i>)	Cn
168	"Mas do mesmo jeito falta oxigênio" (<i>Ariadne</i>)	-



A observação da Ariadne no turno 168 mostra uma dificuldade que os alunos tiveram ao longo do Ciclo A. Durante o experimento, por terem observado formação de bolhas com maior intensidade na região em que o prego estava se oxidando, o grupo assumiu que o gás formado seria o oxigênio desprendido da região. Essa ideia se manteve mesmo com a Ariadne tendo afirmado, a partir dos seus conhecimentos prévios, no turno 162 que a ionização de ácido sulfúrico pode ter a formação de H_2 . Podemos presumir que, possivelmente, os alunos não estabeleceram ou não se atentaram ao fato de que a molécula representada por H_2 representa a substância hidrogênio, que se apresenta no estado gasoso. Portanto, elaboraram a seguinte equação da Figura 3.

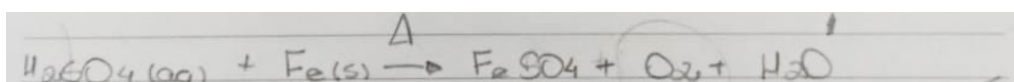


Figura 3. Equação química elaborada pelos alunos

Posto isto, no Ciclo A', ao compararem as representações, os estudantes questionam uns aos outros os motivos pelos quais eles pensaram no oxigênio como produto. Ainda, os alunos perceberam que o íon Fe^{2+} estava representado de forma diferente, ou seja associado ao íon sulfato e não na forma iônica como mostrado a eles, entretanto parece não terem percebido que ambas as formas poderiam ser utilizadas. Ideias destas reflexões (sobre a figura 3) estão expressas no Quadro 4.

Quadro 4. Turnos de fala 211 a 218 - Ciclo A'

Turno de fala		Código
211	"(...) aqui temos Fe^{2+} , só do jeito errado" (Ariadne)	ME
212	"Por que a gente se apegou no oxigênio? porque a gente estava no oxigênio desde o começo e isso explica porque o raciocínio estava errado" (Cecília)	Mn
213	"sim!" (Ariadne)	Cn
214	"É que a gente..." (Yohan)	-
215	"Quando perguntei: 'o que eram as bolinhas?' pensamos oxigênio" (Ariadne)	-
216	"mas a gente..." (Yohan)	-
217	"a gente esqueceu que gás não é só oxigênio!" (Cecília)	ME
218	"Desde o começo a gente estava pensando na oxidação!" (Yohan)	ME

Conforme o Gráfico 1, o Ciclo A' teve incidência de três ME, sendo as registradas nos Quadro 4. É interessante notar que nos turnos 212 e 213, as alunas se auxiliaram por meio do monitoramento e confirmação, de modo a promover uma situação em que o grupo reavaliasse o motivo do pensamento de que o oxigênio seria um dos produtos da reação, assim, obtendo duas explicações e ME nos turnos 217 e 218.

O monitoramento é uma ação importante, pois atuou como um gatilho que instigou a memória dos alunos (Locatelli & Davidowitz, 2021), e ainda, aliado a confirmação de pares, ambos os incidentes auxiliaram ao grupo o aperfeiçoamento do raciocínio (Shimada et al., 2022) que,



por meio da discussão, eles puderam refletir, evidenciando indícios de revisão e reconstrução do pensamento direcionados ao acerto conceitual. Essa habilidade de monitoramento e ajuste é essencial para o aprendizado e o desenvolvimento cognitivo.

Dentre as justificativas, Cecília levou em consideração o senso comum de que só existiria o gás oxigênio, o que pode ter acontecido, uma vez que Ariadne chegou a citar a formação de H_2 em turnos anteriores. Além disso, Yohan também citou outra ideia que o grupo teve ao pensarem que o oxigênio seria oriundo da ferrugem, assumindo que é composta de óxido de ferro. De acordo com Barke (2012) essa é uma concepção alternativa muito comum, pois é provinda de uma definição de Lavoisier em 1784, em que a oxidação estava aliada a uma reação com o oxigênio.

Com relação ao Ciclo B, durante a elaboração do modelo explicativo antes da reação acontecer, há indícios de evocação de um incidente classificado como MeC. Nessa situação, o grupo apresentou dificuldades em como representar o modelo no nível submicro antes da reação ocorrer com base na equação apresentada pela professora. Diante disso, reavaliaram a equação química a entendendo como uma reação de “simples-troca”, como mostra o Quadro 5 e a Figura 4.

Quadro 5. Turnos de fala 291 a 215 - Ciclo B

	Turno de fala	Código
291	“(…) Ou a gente apresenta assim (equação apresentada pela professora) que eu acho mais difícil desenhar” (<i>Ariadne</i>)	-
292	“é, eu acho mais fácil desse jeito aqui (equação de ‘simples troca’)” (<i>Cecília</i>)	Cn
293	“assim né?” (<i>Ariadne</i>)	Mn
294	“é, vai dar um pouco mais de trabalho (…) esse raciocínio aqui a gente tá conseguindo explicar” (<i>Cecília</i>)	Cn
295	“uhun! porque aí troca ” (<i>Ariadne</i>)	MeC

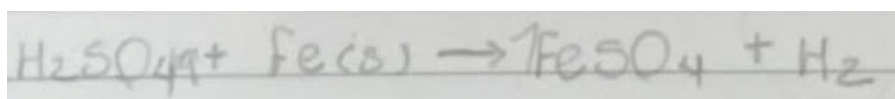


Figura 4. Equação química de “simples-troca” considerada pelos alunos

Em diálogos posteriores, as estudantes revelam que sabem que o conceito de reação de “simples troca” está equivocado, mas elas verbalizam que desta forma conseguem explicar e desenhar os modelos. Vale salientar que a partir da teoria de Arrhenius publicada em 1883, não faz mais sentido falar em reação de “simples ou dupla troca”, uma vez que “todas as espécies em solução estariam dissociadas e não haveria trocas ou deslocamentos, mas combinações entre íons para formar, por exemplo, sais pouco solúveis” (Mortimer et al., 2000, p.275) ou troca de elétrons entre espécies químicas, havendo a formação de íons na solução. Essa “algoritmização” do ensino de química está intrínseca nos reducionismos usados para explicar diversos conceitos, que até são suficientes para responder questões mecânicas, no entanto não são suficientes para que os estudantes compreendam a química de modo aprofundado. Em outras palavras, os alunos podem até aprender a manipular este método de resolução e a, procedimentalmente, replicar em outras questões semelhantes, mas

não desenvolvem a habilidade de resolver problemas reais e qualquer pequena mudança torna a atividade muito difícil aos alunos (Gil Pérez, 1999) e tampouco compreendem química.

De forma semelhante aos eventos antecedentes da ME no Ciclo A', a MeC também foi seguida de Cn e Mn, o que reitera que o monitoramento e a confirmação são necessários para uma reconstrução no pensamento, inclusive se direcionado a um erro conceitual. Compreende-se que o erro é natural e necessário aos alunos enquanto estão aprendendo, pois segundo Carrijo e Mendes (2017), a aprendizagem é um processo dinâmico e de grande complexidade, desvalorizar o erro faz com que ele se torne um obstáculo e gera superficialidade no método avaliativo. Ainda, para Carvalho (2013), o professor deve ter consciência do papel do erro na construção de novos conhecimentos, permitindo que o próprio aluno reflita sobre o erro. Assim, entendemos que o erro é importante e faz parte do percurso, sendo que todo conhecimento está em (re)construção e, portanto, os incidentes MeC e ME são ambos valorosos neste processo dinâmico.

Uma vez assumida a equação de “simples-troca”, os alunos consideram que o ácido sulfúrico não estava na forma ionizada em solução, tendo dúvidas sobre a representação da forma geométrica do ácido sulfúrico, como demonstra no Quadro 6 e na Figura 5.

Quadro 6. Turnos de fala 401 a 407 - Ciclo B

	Turno de fala	Código
401	“(…) esse é o SO_4 ” (Ariadne)	-
402	“E os H aqui?” (Cecília)	Mn
403	“Mas e os oxigênios não precisavam de dupla?” (Yohan)	Mn
404	“Enxofre é só tem... dois elétrons na última camada?” (Cecília)	Mn
405	“Porque teria o H aqui... talvez não ‘retinho’... não sei” (Cecília)	-
406	“Eu não sei, porque essa geometria não existe (modelo 1), entendeu? tem tetraédrico que é máximo que dá para você enfiar ali, eu acho.” (Ariadne)	Mn
407	“Não faz sentido que o hidrogênio seja ligado no oxigênio para formar alguma ligação? (modelo 2)” (Yohan)	Mn

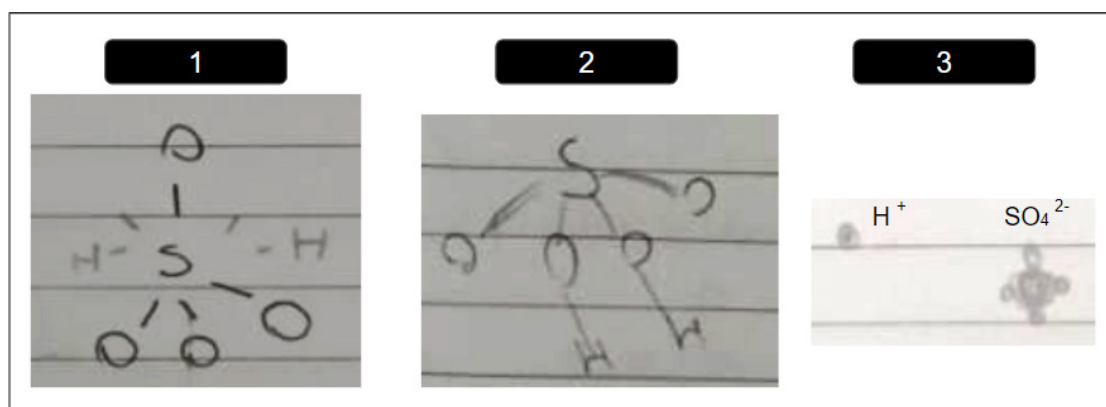


Figura 5. Modelos adotados pelos alunos durante o debate em grupo

Como o grupo não conseguiu chegar em concordância sobre a geometria da molécula de ácido sulfúrico, a opção deles foi apresentar na forma ionizada por meio do modelo submicro, conforme o modelo 3 da figura 5. Embora a representação final esteja correta, os alunos não compreendiam por completo os motivos por terem atribuído esta forma à representação. As ideias foram apoiadas em atividades anteriores que as alunas Ariadne e Cecília fizeram na graduação, como demonstra o Quadro 7:

Quadro 7. Turnos de fala 413 a 414 - Ciclo B

Turno de fala		Código
413	“(…) E se a gente não fizer igual o professor? (...) não consigo lembrar qual era a reação, mas era uma reação ‘grandona’ também que a gente fez ‘separadinha’, a gente não fez tudo junto...” (Cecília)	Mn
414	“É então, ‘tava’ pensando em fazer $H^+ \dots SO_4^{2-}$ (...)” (Ariadne)	Cn

Este dado condiz com os resultados de Fernandez et al. (2008), cuja afirmação dos autores é que o uso da reação de “simples ou dupla troca” pode significar que os alunos de graduação replicam esse conceito sem reconhecer a presença de íons em solução bem como a dinâmica das reações em soluções aquosas.

Por outro lado, não se pode deixar de destacar, que mesmo que as alunas não compreendessem o fenômeno por completo, elas já tinham uma ideia prévia sobre a formação de íons devido a atividades anteriores que envolveram a elaboração de modelos no submicro, mostrando que é importante abordagens desta natureza para a construção gradual do conhecimento químico.

Outra evidência de que a reação química estabelecida como “simples-troca” gera má compreensão, é a dúvida oriunda da função do íon sulfato na reação, tendo novamente uma incidência alta de Mn no Ciclo C, conforme o Quadro 8:

Quadro 8. Turnos de fala 583 a 589 - Ciclo C

Turno de fala		Código
583	“Quem interage com os ferros são o oxigênio e o ácido? É isso?” (Yohan)	Mn
584	“Como assim?” (Ariadne)	Mn
585	“Por exemplo, quem tá interagindo é o oxigênio e o ácido?” (Yohan)	Mn
586	“É o oxigênio e o enxofre, né?” (Ariadne)	Mn
587	“é... ‘tá’” (Yohan)	Cn
588	“Só segue a reação. Cadê a reação? É só isso daqui, né?” (Ariadne)	Mn
589	“Ah sim, entendi” (Yohan)	Cn

Nestes turnos, ao ser questionada pelo Yohan, a aluna atribui que quem reagiu com o ferro metálico foi o íon sulfato, evidenciando que não havia compreendido a função dele como íon espectador da reação. Desta forma, podemos atribuir que o formato mecânico da reação de “simples troca”, além de não explicitar a formação de íons, também não deixa claro o protagonismo das espécies químicas que reagem em solução.

Durante o Ciclo C', Ariadne reflete e dá indício de ME a partir da possibilidade de modelo explicativo apresentado pela professora, concluindo que o íon sulfeto não reage, como demonstra o Quadro 9.

Quadro 9. Turno de fala 616 - Ciclo C'

Turno de fala		Código
616	"(...) porque nós pensamos na reação com o ácido sulfúrico mesmo, considerando o sulfeto... e então a gente pensou no sulfeto interagindo com o ferro não o hidrogênio... " (Ariadne)	ME

O processo de reconstrução do pensamento a partir da comparação de modelos permite ao aluno, de forma autônoma, repensar sobre a própria compreensão e autorregular seus processos e suas construções. "O erro, quando trabalhado e superado pelo próprio aluno, ensina mais do que muitas aulas expositivas quando o aluno segue o raciocínio do professor e não o seu próprio" (Carvalho, 2013, p.3). Além disso, para Davidowitz e Chittleborough (2009) oferecer experiências desta natureza são oportunidades que ajudam os alunos a identificar e reconciliar os equívocos por meio dos próprios *feedbacks*.

Ao final da atividade, na transição entre o Ciclo D e D', nota-se que houve maior incidência de Cn e o decaimento do Mn. Essa dinâmica sugere que o grupo se auxiliava na consolidação de ideias de modo a chegar a uma conclusão, cujo pensamento é que as reações, seja em temperatura ambiente ou alta, teriam o mesmo rendimento, levando em consideração que o prego fosse consumido por completo, como demonstra o Quadro 10:

Quadro 10. Turnos de fala 714 a 716 - Ciclo D'

Turno de fala		Código
714	"As duas rendem igual né?" (Yohan)	Mn
715	"É, a gente acha que vai dar no mesmo (...)" (Ariadne)	Cn

Limitações e implicações para o ensino

A eficácia da estratégia adotada na atividade pode depender do nível de autonomia e da familiaridade que os alunos têm com a química, os modelos e os procedimentos experimentais com materiais e reagentes. É importante levar em consideração os conhecimentos prévios dos alunos antes da implementação dessa abordagem.

Além disso, as aplicações de atividades dessa natureza demandam mais tempo para serem realizadas, já que envolvem discussões, elaboração de representações e análise comparativa entre diferentes representações químicas, tarefas de longa duração, o que pode ser um limitador para o seu uso em sala de aula em alguns casos. Outra limitação refere-se a uma possível dificuldade que os professores possam ter, com relação ao acesso a modelos explicativos detalhados e cientificamente mais precisos dos fenômenos que estão sendo investigados em nível macro.



Os resultados encontrados são limitados ao contexto desta pesquisa, o que reduz a sua capacidade de generalização. No entanto, considera-se que os achados fornecem evidências de que a estratégia metavisual pode auxiliar os alunos no processo de construção e (re)construção dos conceitos químicos a partir na representação no nível submicro (Locatelli & Davidowitz, 2021) sob a óptica de um pensamento crítico, como foi observado na situação em que os discentes perceberam fragilidades nos conceitos reduzidos a uma equação de "simples-troca", por exemplo, que não é adequado.

Por fim, é importante reconhecer que a metacognição pode ser observada, promovida e exploradas de diversas maneiras, além da abordagem visual adotada nessa pesquisa, como por meio de: questionários (Corrêa et al., 2022), mapas conceituais (Tavares et al., 2018; Shimada et al., 2022), infográficos (Brabo & Contente, 2022) e etc. Embora as estratégias possam diferir em termos de metodologia e recursos utilizados, todas elas compartilham o objetivo de estimular o pensamento metacognitivo dos alunos de modo que eles, intencionalmente, monitorem, regularem e avaliem seu próprio processo de aprendizagem.

Conclusões

Retomando a pergunta norteadora da investigação: *De que maneira os incidentes metavisuais impactam na aprendizagem de estudantes de graduação a partir de uma atividade sobre a influência da temperatura na rapidez da reação?*

Os resultados encontrados nesta pesquisa indicam a evocação dos quatro incidentes metavisuais que envolvem: monitoramento (Mn), confirmação (Cn), mudança efetiva (ME) e mudança em construção (MeC). Estas manifestações do pensamento metavisual são mobilizadas de forma integrada nas discussões do grupo, principalmente o Mn e a Cn, que a partir das discussões entre os pares, direcionam os alunos ao processo de (re)construção do conhecimento, seja ele ME ou MeC.

A análise dos Ciclos revelou que a evocação de Mn tem maior incidência nas primeiras tarefas que envolvem a elaboração de representações, sendo o Ciclo A e B. Ademais, tanto o número de turnos quanto a evocação do Mn, de modo geral, foram diminuindo gradativamente ao longo da atividade, uma vez que, tendo a primeira comparação realizado na etapa metavisual B', os alunos tiveram mais facilidade em desenvolver os demais modelos, verificada na queda do Mn (dúvidas) e um aumento nos incidentes de ratificação de ideias (Cn).

A estratégia permitiu que os estudantes revisassem e reconstruíssem o pensamento a partir da incidência de MEs. No entanto, destaca-se que nem sempre apenas as representações visuais da química apresentadas aos alunos têm significados explícitos para eles, por isso faz-se necessário a supervisão do professor. Isso reforça a importância dos incidentes metavisuais para o processo de aprendizagem e destaca a necessidade da orientação cuidadosa do professor nesse processo.

Com relação aos conceitos de química emergidos durante a prática, foram identificadas dificuldades em determinar o produto da reação, tendo o entendimento que o oxigênio seria o gás formado a partir da ferrugem. Além disso, houve a atribuição dos alunos de que a reação química investigada seria a denominada "simples troca". Este pensamento impacta na má compreensão de

como funciona a reação que envolve íons em solução e a presença do íon espectador. Por isso recomendamos o não uso destas formas algorítmicas, como reação de “simples ou dupla-troca”, pois dificultam, e às vezes podem até inviabilizar o aprendizado do conceito químico.

Essas dificuldades ressaltam a importância de uma abordagem mais integrada e aprofundada dos conceitos e que não priorize a memorização de fórmulas e equações. Ao invés disso, recomenda-se que o foco seja na compreensão dos princípios fundamentais que regem as reações químicas, tendo um pensamento mais reflexivo e crítico que pode ocorrer por meio da metavisualização.

A implementação de atividades semelhantes às utilizadas nesta pesquisa pode ser desafiadora em função do tempo que ela demanda e a falta de modelos explicativos mais detalhados, no entanto, os achados desta pesquisa dão evidências de uma aprendizagem mais autônoma e reflexiva sobre os conceitos químicos que pode ser levada em consideração. Além disso, esta pesquisa demonstra uma das diversas estratégias que podem ser usadas para promover um pensamento metacognitivo, o que pode ser considerado no momento da sua implementação.

Contribuições dos autores

Conceptualização: Marcella Shimada e Solange Locatelli; Validação: Solange Locatelli; Análise formal: Marcella Shimada; Investigação: Marcella Shimada; Escrita - Esboço original: Marcella Shimada; Escrita - Revisão & Edição: Marcella Shimada e Solange Locatelli; Supervisão: Solange Locatelli.

Agradecimentos

As autoras agradecem à Universidade Federal do ABC (UFABC) pelo financiamento da nossa pesquisa por meio da bolsa de estudos, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo 2022/16395-3, pelo financiamento do projeto de pesquisa; aos participantes que se voluntariaram à pesquisa e ao Giovanni Scataglia pela validação dos dados.

Referências

- Barke, H. D. (2012). Two ideas of the redox reaction: Misconceptions and their challenge in chemistry education. *American Journal of Chemical Education*, 2(2), 32-50. <https://www.ajol.info/index.php/ajce/article/view/82445>
- Brabo, J. C., & Contente, I. C. R. P. (2022). Habilidades metacognitivas em tarefas de composição de infográficos em cursos de formação inicial de professores [Metacognitive skills in infographics composition tasks in initial teacher training courses]. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, 22, 1–26. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u12951320>
- Brown, A. L. (1978). Knowing when, where, and how to remember: A problem of metacognition. In R. Glaser (Ed.), *Advances in Instructional Psychology* (Vol. 1, pp. 77-165). Lawrence Erlbaum Associates.

- Carrijo, A. R. D., & Mendes, A. N. F. (2017). Avaliação da aprendizagem e o erro construtivo no ensino de Química [Learning assessment and constructive error in the teaching of chemistry]. *Experiências em Ensino de Ciências*, 12(6), 121-137. <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/665>
- Carvalho, A. M. P. (2013). *Ensino de ciências por investigação: Condições de implementação em sala de aula* (pp.1-19) [Teaching science by exploration: Conditions for implementation in the classroom]. Cengage Learning.
- Corrêa, N. N. G., Passos, M. M., de Mello Arruda, S., & da Rosa Corrêa, H. E. (2022). A mobilização do sistema metacognitivo por meio de questionários: Resultados de um estudo longitudinal [The mobilization of the metacognitive system through questionnaires: Results of a longitudinal study]. *Research, Society and Development*, 11(10), 1-12. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.32852>
- Davidowitz, B., & Chittleborough, G. (2009). Linking the macroscopic and sub-microscopic levels: Diagrams. In J. K. Gilbert & D. F. Treagust (Eds.), *Multiple Representations in Chemical Education* (pp. 169–191). Springer.
- Fernandes, B. G., & Locatelli, S. W. (2021). Acesso e transição nos níveis representacionais durante a construção de modelos explicativos acerca de interações intermoleculares [Access and transition in representational levels during the construction of explanatory models about intermolecular interactions]. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 21, 1-29. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2021u225253>
- Fernandez, C., Baldinato, J. O., Tiedemann, P. W., & Bertotti, M. (2008). Conceitos de química dos ingressantes nos cursos de graduação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo [Concepts of chemistry among entrants to undergraduate programs at the Institute of Chemistry, University of São Paulo]. *Química Nova*, 31, 1582-1590. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600051>
- Flavell J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The Nature of Intelligence* (pp. 231–235). NJ Lawrence Erlbaum.
- Gil Pérez, D., Furió Más, C. J., Valdés, P., Salinas, J., Martínez Torregrosa, J., Guisalola, J., & González, E. M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? [Does it make sense to continue to distinguish between learning concepts, solving pencil-and-paper problems and performing laboratory practicals?]. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 17(2), p.311-320. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21581>.
- Gilbert J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (Vol. 1, pp. 9-27). Springer. https://doi.org/10.1007/1-4020-3613-2_2
- Gilbert, J. K., Justi, R., & Queiroz, A. S. (2009). *The use of modelling to develop visualization during the learning of ionic bonding*. [Conference presentation]. Eighth Conference of the European Science Education Research Association, Turkey.
- Gobert, J. (2005). Leveraging technology and cognitive theory on visualization to promote students' science learning and literacy. In J. K. Gilbert (Ed.), *Visualization in Science Education* (Vol. 1, pp. 73-90). Springer.
- Kelly R. M. (2017). Learning from contrasting molecular animations with a metacognitive monitor activity, *Educación Química*, 28(3), 181–194. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.02.003>
- Locatelli S. W., & Arroio A. (2014). The monitoring of an introductory class on geometrical isomerism by metavisual incidents, *Journal of Science Education*, 15(2), 62–67. https://www.researchgate.net/publication/317026224_The_monitoring_of_an_introduutory_class_on_geometrical_isomerism_by_metavisual_incidents

- Locatelli, S. W., & Davidowitz, B. (2021). Using metavisualization to revise an explanatory model regarding a chemical reaction between ions. *Chemistry Education Research and Practice*, 22(2), 382-395. <https://doi.org/10.1039/D0RP00339E>
- Locatelli S. W., Ferreira C., & Arroio A. (2010). Metavisualization: An important skill in the learning chemistry, *Problems of Education in the 21st Century*, 24, 75–83. http://www.scientiasocialis.lt/pec/files/pdf/vol24/75-83.Locatelli_Vol.24.pdf.
- Mortimer, E. F., Machado, A. H., & Romanelli, L. I. (2000). A proposta curricular de química do Estado de Minas Gerais: Fundamentos e pressupostos [The curriculum proposal for chemistry of the State of Minas Gerais: Foundations and assumptions]. *Química Nova*, 23, 273-283. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000200022>
- Paz G. S.B. & Locatelli S. W. (2019). *Metacognitive incidents manifested by students of youth and adult education in an investigative activity* [Oral presentation] Third International Baltic Symposium on Science and Technology Education, Lithuania. https://scientiasocialis.lt/files/BalticSTE2019_Proceedings.pdf.
- Shimada, M. S., Santana, G. H., & Locatelli, S. W. (2022). Possível relação entre a metacognição e a elaboração de mapas conceituais por licenciandos em química [Possible relationship between metacognition and the elaboration of concept maps by chemistry undergraduates]. *Caminhos da Educação Matemática em Revista (Online)*, 12(4), 121-138. https://aplicacoes.ifs.edu.br/periodicos/caminhos_da_educacao_matematica/article/view/1403
- Silva, F. C., Silva, E. P. C., Duarte, D. M., & Dias, F. D. S. (2021). Relação entre as dificuldades e a percepção que os estudantes do ensino médio possuem sobre a função das representações visuais no ensino de Química [Relationship between the difficulties and the perception that high school students have about the role of visual representations in the teaching of chemistry]. *Ciência & Educação (Bauru)*, 27. <https://doi.org/10.1590/1516-731320210061>
- Souza Neto, L. G., & Lima, K. E. C. (2022). Sequência de ensino investigativa experimental com a utilização de dispositivos móveis: Um olhar metacognitivo na aprendizagem de ciências [Investigative experimental teaching sequence using mobile devices: A metacognitive look at learning science]. *Revista Dynamis*, 28(2), 115-132. <http://dx.doi.org/10.7867/1982-4866.2022v28n2p115-132>
- Stake, R. E. (2011). *Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam*. Penso Editora.
- Tavares, L. C., Müller, R. C. S., & Fernandes, A. C. (2018). O uso de mapas conceituais como ferramenta metacognitiva no ensino de química [The use of concept maps as a metacognitive tool in teaching chemistry]. *Amazônia-Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 14(29), 63-78. <https://doi.org/10.37885/210303880>
- Villani, C. E. P., & do Nascimento, S. S. (2016). A argumentação e o ensino de ciências: Uma atividade experimental no laboratório didático de física do ensino médio [The argumentation and the teaching of sciences: An experimental activity in the didactic laboratory of physics of medical teaching]. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 8(3), 187–209. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/539>
- Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education*, 88(3), 465-492. <https://doi.org/10.1002/sce.10126>