



PENSAMENTO QUÍMICO E AS HABILIDADES COGNITIVAS DE ESTUDANTES EM UMA AULA EXPERIMENTAL

Chemical Thinking and Cognitive Skills of Students in an Experimental Classroom

Fernanda Garcia de Almeida [fergarciaalmeida@gmail.com]

Fabiele Cristiane Dias Broietti [fabieledias@uel.br]

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - PECEM
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Rodovia Celso Garcia Cid, PR-445, Km 380 - Campus Universitário, Londrina, Paraná, Brasil

Vicente Talanquer [vicente@arizona.edu]

Department of Chemistry and Biochemistry
University of Arizona

1306 East University Boulevard, Tucson, Arizona, EUA

Resumo

A inclusão da experimentação nas aulas de Química representa uma ferramenta pedagógica para aprimorar a compreensão dos conceitos, capacitando os estudantes a estabelecer conexões entre conteúdos e práticas científicas. Por meio da experimentação, é possível enriquecer a experiência de aprendizado ao estimular o desenvolvimento do pensamento químico e das habilidades cognitivas dos estudantes. Neste estudo, analisamos os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao responderem questões disponibilizadas durante uma atividade experimental. Também investigamos se esses níveis estão relacionados às variáveis de progresso do pensamento químico. Os dados foram coletados em uma disciplina ministrada para o último ano de um curso de graduação em Química-Licenciatura de uma universidade da região Sul do Brasil. A análise dos dados foi conduzida segundo os princípios da análise de conteúdo. A coleta de dados incluiu diversos documentos, como as questões pré e pós-experimento presentes no roteiro da aula, além das respostas escritas dos licenciandos a essas questões. As questões e as respostas dos estudantes foram categorizadas em diferentes níveis de habilidades cognitivas. Além disso, as respostas dos estudantes foram categorizadas segundo as variáveis de progresso do pensamento químico. Verificamos que a atividade permitiu que os estudantes transitassem por diferentes variáveis e manifestassem níveis de habilidades cognitivas de alta ordem. Identificamos conexões entre os níveis de habilidades cognitivas nas respostas dos estudantes e os níveis das questões. Por fim, propomos um modelo que integra diferentes níveis do conhecimento químico, distintas habilidades cognitivas e as variáveis de progresso do pensamento químico, permitindo que o ensino e a aprendizagem em Química transcendam a mera assimilação de informações, abrangendo uma compreensão aprofundada da natureza da química.

Palavras-Chave: Experimentação; Aprendizado científico; Variáveis de progresso.

Abstract

The inclusion of experimentation in Chemistry classes represents a pedagogical tool to improve the understanding of concepts, enabling students to establish connections between content and scientific practices. Through experimentation, it is possible to enrich the learning experience by stimulating the development of students' chemical thinking and cognitive skills. In this study, we analyzed the different levels of cognitive skills demonstrated by students in a Chemistry course when answering questions provided during an experimental activity. We also investigated whether these levels are related to the variables of progress in chemical thinking. Data were collected in a course taught for the final year of an undergraduate Chemistry course at a university in the southern region of Brazil. Data analysis was conducted according to the principles

of content analysis. Data collection included several documents, such as the pre- and post-experiment questions present in the class outline, as well as the written answers of the undergraduates to these questions. The questions and the students' answers were categorized into different levels of cognitive skills. In addition, the students' answers were categorized according to the variables of progress in chemical thinking. We found that the activity allowed students to move through different variables and demonstrate levels of higher-order cognitive skills. We identified connections between the levels of cognitive skills in the students' responses and the levels of the questions. Finally, we propose a model that integrates different levels of chemical knowledge, distinct cognitive skills, and the variables of progress in chemical thinking, allowing teaching and learning in Chemistry to transcend the mere assimilation of information, encompassing an in-depth understanding of the nature of chemistry.

Keywords: Experimentation; Scientific learning; Progress variables.

INTRODUÇÃO

As atividades experimentais desempenham um papel fundamental nas aulas de Ciências, ao criarem um ambiente propício para explorar as diversas facetas do conhecimento científico. De acordo com Oliveira, Soares e Herbert (2010), essas atividades podem envolver não apenas a dimensão teórica, mas também a representacional e, especialmente, a fenomenológica. Araújo e Abib (2003) agrupam as atividades experimentais em três modalidades distintas, sendo elas as demonstrativas, de confirmação e investigativas. Nas situações de demonstração, o docente conduz integralmente a atividade, enquanto os alunos desempenham um papel de observadores. Nas atividades de confirmação, o objetivo é validar uma teoria ou princípio, sendo executadas com o intuito de verificar a veracidade de uma proposição. Nas atividades investigativas, os estudantes se envolvem de maneira mais ativa no processo, ao interpretar os problemas apresentados e propor soluções potenciais para resolvê-los.

Dentre as modalidades apresentadas, destacamos as potencialidades da experimentação investigativa, estruturada de maneira a engajar os alunos em cada etapa, geralmente iniciando a partir de situações-problema relacionadas ao contexto dos estudantes. Por meio da problemática abordada, é possível desenvolver habilidades como discutir, refletir, formular hipóteses, propor soluções e interpretar fenômenos que fazem parte do mundo à nossa volta (Suart & Marcondes, 2009).

No contexto do ensino de Química, a experimentação investigativa emerge como uma estratégia que proporciona um espaço no qual os estudantes podem se tornar participantes ativos e intelectualmente engajados. Ao se envolverem em atividades investigativas, os alunos são instigados a observar, analisar e interpretar os fenômenos (Leal, Schetinger, & Pedroso, 2019). Esse ciclo de investigação desenvolve habilidades cognitivas e de resolução de problemas, preparando os alunos não apenas para compreender o mundo ao seu redor, mas também para enfrentar desafios complexos por meio de um engajamento crítico e analítico. Ou seja, os estudantes são incentivados a elaborar o seu próprio entendimento por meio da exploração da prática e da reflexão contextualizada (Gonçalves & Goi, 2018).

O estudo em questão foi conduzido em uma disciplina ministrada para o quarto ano do curso de licenciatura em Química de uma universidade localizada na região Sul do Brasil. Essa disciplina abordava questões relacionadas à experimentação no ensino de Química e foi ministrada no primeiro semestre de 2021, contando com a participação de oito estudantes. Devido à suspensão das aulas presenciais durante a pandemia de Covid-19, as atividades ocorreram remotamente.

Considerando o contexto de suspensão das aulas presenciais, outras possibilidades tiveram que ser exploradas para trabalhar com experimentos. Alguns autores, como Santos, Freitas e Lopes (2020), sinalizam o uso de laboratórios virtuais, que permitem simulações em diferentes áreas, como Física, Química e Matemática. Gomes, Bilessimo e Silva (2020) integraram laboratórios online a uma sequência didática investigativa, destacando as potencialidades dessa abordagem para a compreensão de determinados conceitos científicos pelos estudantes. Sousa e Valério (2021) também realizaram um trabalho sobre a química experimental no ensino remoto durante a pandemia, utilizando vídeos de experimentos gravados e mencionaram que os estudantes compreenderam o conteúdo com maior facilidade por meio dos recursos aplicados.

Neste cenário, visamos elaborar aulas utilizando vídeos de experimentos científicos associados a uma situação-problema e questões pré e pós-experimento. Neste sentido, consideramos tratar de uma atividade experimental demonstrativa de caráter investigativo. Demonstrativa porque os estudantes não realizaram atividades manuais, mas observaram o experimento realizado e fizeram anotações, e de caráter investigativo porque iniciou com uma situação-problema e permitiu que os estudantes relacionassem seus

conhecimentos prévios com o que foi observado no experimento para elaborar hipóteses referentes ao problema proposto (Oliveira *et al.*, 2010). De acordo com Azevedo (2004), as atividades demonstrativas-investigativas são aquelas que iniciam com a apresentação de um problema ou fenômeno a ser investigado, conduzindo os alunos a uma exploração mais profunda sobre o assunto. Na prática, isso se traduz em experimentos cuidadosamente planejados que visam não apenas demonstrar um conceito, mas também estimular a curiosidade e a investigação dos alunos.

Dessa forma, este estudo se propõe a analisar os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao responderem questões disponibilizadas durante uma atividade experimental. Também busca investigar se esses níveis cognitivos estão relacionados com as variáveis de progresso do pensamento químico, discutidos nos trabalhos de Talanquer e Pollard (2010); Talanquer (2013); Sevian e Talanquer (2014) e Talanquer (2019).

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO QUÍMICO E OS NÍVEIS DE HABILIDADES COGNITIVAS

É fundamental notar a presença abundante de objetos em nosso dia a dia que têm suas raízes em substâncias cuidadosamente elaboradas por profissionais especializados na área da Química. O campo da Química desempenha um papel de importância em nossa sociedade, apresentando contribuições essenciais que abrangem setores variados, como saúde, alimentação, agricultura e avanços em materiais (Santos, 2011).

A abrangência da área Química inclui tanto facetas científicas quanto tecnológicas, o que significa que essa área não apenas amplia nosso entendimento científico, mas também desempenha um papel significativo na condução do progresso tecnológico, moldado pelas necessidades e contextos humanos (Chamizo, 2013; Sjöström & Talanquer, 2018). Os especialistas em química não estão restritos à previsão e compreensão das propriedades das substâncias, eles também se engajam ativamente na inovação e descoberta de novos compostos com potenciais aplicações na sociedade (Sevian & Talanquer, 2014).

No entanto, ao se discutir os processos de ensino e de aprendizagem que envolvem conceitos químicos, é importante ressaltar que muitos estudantes enfrentam resistência, considerando a disciplina difícil. Essa percepção é muitas vezes justificada pela natureza abstrata dos conceitos, pela complexidade do desenvolvimento e compreensão dos modelos científicos¹, bem como pelo surgimento de concepções alternativas (Santos, Silva, Andrade, & Lima, 2013).

Barbosa e Aires (2017) abordam que durante o século XX foi dominante a ideia de que todo o conhecimento químico poderia ser reduzido a leis e princípios de Física. Essa ideia levou à sobrevalorização de modelos e algoritmos quantitativos para resolver problemas e construir explicações, negligenciando formas qualitativas de pensar desta ciência. Assim, o ensino de Química, com frequência, é moldado por abordagens que desmembram o conteúdo em tópicos isolados, resultando em uma compreensão fragmentada. Esse enfoque pode levar os estudantes a verem a química como um conjunto de informações desconexas, criando barreiras entre os diferentes conceitos e temas, dificultando a apreensão de relações e aplicações práticas.

Talanquer e Pollard (2010) apresentam como alternativa a essa abordagem fragmentada a adoção de um modelo curricular mais integrado, no qual os conceitos químicos são apresentados de forma interconectada, enfatizando o desenvolvimento do pensamento químico e as estratégias de raciocínio característicos dos químicos. Isso permite aos alunos visualizarem a disciplina em sua totalidade, em que cada tópico está intrinsecamente ligado a outros, formando uma rede de conhecimento interdependente. Essa abordagem encoraja uma compreensão mais profunda e duradoura, possibilitando que o aluno empregue o conhecimento químico para resolver problemas relevantes em várias esferas da vida.

Dessa forma, não importa se os estudantes escolhem seguir carreiras nas Ciências da Natureza ou em outras áreas, todos eles enfrentarão situações que requerem a utilização de princípios químicos ou abordagens fundamentais dessa área do saber, seja em questões de saúde, como a compreensão do uso de medicamentos, ou em decisões sobre o meio ambiente, como o descarte adequado de produtos químicos. A partir dessa perspectiva, surge a demanda por uma abordagem educacional em química que transcenda a

¹ A explicação e a compreensão de conceitos químicos envolvem uma elaboração conceitual, nível subatômico, exigindo habilidades de abstração para a aprendizagem. Muitos estudiosos da área sugerem que a principal missão da Educação em Ciências é desenvolver nos estudantes a habilidade de elaborar modelos mentais que se aproximem dos modelos mentais dos cientistas, pois uma maior capacidade de modelagem está diretamente relacionada a um melhor aprendizado (Francisco Junior, Ferreira, & Hartwig, 2009).

mera assimilação de informações, abrangendo uma compreensão aprofundada da natureza da química e de como ela impacta fundamentalmente a estrutura da sociedade.

Talanquer (2013) afirma que o objetivo central da aprendizagem em Química é compreender esta ciência como uma forma específica de interagir com a natureza. Nesse viés, o ensino de Química poderia ser direcionado para a reflexão sobre as maneiras pelas quais a Química permite que os humanos interajam com o ambiente e suas possíveis implicações. Conforme o autor, o currículo e as práticas educacionais devem considerar os modos de pensar e fazer Química, para que os estudantes desenvolvam habilidades de avaliar e reconhecer os impactos políticos, econômicos, ambientais e sociais decorrentes da produção e do consumo dos produtos tecnológicos da Química.

Nesse contexto, o pensamento químico refere-se a um modo de pensar determinadas situações que envolvem o conhecimento, o raciocínio e as práticas químicas, com a intenção principal de analisar, sintetizar e transformar a matéria para fins específicos (Talanquer, 2019). Isso implica proporcionar um espaço no qual os estudantes possam não apenas aprender, mas também avaliar e reconhecer as ramificações políticas, econômicas, ambientais e sociais que derivam da indústria química (Talanquer, 2013).

O relatório do National Research Council (NRC) *Beyond the Molecular Frontier* (2003) aborda que o pensamento e as práticas químicas podem nos ajudar a resolver muitos dos problemas que enfrentaremos nos próximos anos. Talanquer e Pollard (2010) mencionam que, segundo o NRC (2003), o currículo da Química deve oferecer oportunidades para os estudantes de ciências e engenharia:

*“a) reconhecer as questões essenciais que nossos conhecimentos e práticas Químicas modernas nos permitem responder;
b) explorar e compreender as ferramentas teóricas e práticas que foram desenvolvidas para encontrar essas respostas;
c) aplicar essas ideias e técnicas na investigação de problemas relevantes (Talanquer & Pollard, 2010, p. 76).”*

Ao priorizar o desenvolvimento das habilidades de pensamento crítico², análise e resolução de problemas, essa abordagem visa capacitar os alunos não apenas conceitualmente, mas também com as ferramentas intelectuais necessárias para abordar e resolver desafios complexos da vida em sociedade (Chemical Thinking, 2020).

Neste sentido, a estrutura do Pensamento Químico se fundamenta em seis conceitos disciplinares transversais (CDT) e questões essenciais, reconhecidos como elementos fundamentais para a compreensão de conteúdos químicos e para a execução de atividades práticas no domínio químico (Chemical Thinking, 2020; Sevia & Talanquer, 2014). A premissa subjacente a essa abordagem é que a compreensão da química vai além do isolamento dos conceitos em uma disciplina específica. Em vez disso, ela é enriquecida pela identificação e exploração de conexões entre a química e uma gama diversificada de áreas (Chemical Thinking, 2020). Os seis CDT funcionam como lentes pelas quais se pode examinar e compreender fenômenos interdisciplinares, abrangendo desde a medicina à ecologia, da tecnologia à biologia, da economia ao meio ambiente. Desses CDT derivam questões mais específicas, que os autores denominam por variáveis de progresso (VP)³. As VP impulsionam o pensamento químico, guiando o estudante a obter uma progressão de aprendizagem⁴ em direção a níveis mais elevados de competência, desenvolvendo dessa forma o pensamento químico (Talanquer, 2013). A Figura 1 apresenta as 11VP, bem como o CDT relacionados a cada VP.

A análise da Figura 1 revela uma dinâmica na qual um único conceito disciplinar transversal (representado em azul) pode se conectar a diversas VP (identificadas em verde). De forma análoga, as VP também podem estar interligadas a mais de um conceito disciplinar transversal. As inter-relações entre esses elementos são indicadas pelas setas presentes na figura. A título de exemplo, considere o conceito disciplinar transversal “identidade química”, que mantém conexões com a VP1 (tipos de matéria existentes), VP2 (informações para diferenciar os tipos de matéria) e VP11 (repercussões da utilização e produção de distintos

² O pensamento crítico é um pensar ético e eficaz que se aplica a vários contextos e domínios, permitindo a resolução de problemas e tomada de decisões sobre o que acreditar ou como agir responsável e sustentável (Tenreiro-Vieira & Vieira, 2019).

³ As variáveis de progresso são perguntas mais específicas que impulsionam o pensamento químico; ao abordá-las, espera-se que a aprendizagem dos estudantes avance (Banks *et al.*, 2015).

⁴ As progressões de aprendizagem referem-se a níveis de sofisticação e complexidade no conhecimento e raciocínio dos alunos em um determinado domínio, descrevendo maneiras progressivamente mais sofisticadas de pensar sobre um tópico (Sevia & Talanquer, 2014).

tipos de matéria). Notavelmente, VP2 também se relaciona com o conceito disciplinar transversal “estrutura-propriedades”, enquanto VP11 se relaciona a “benefícios-custos-riscos”.

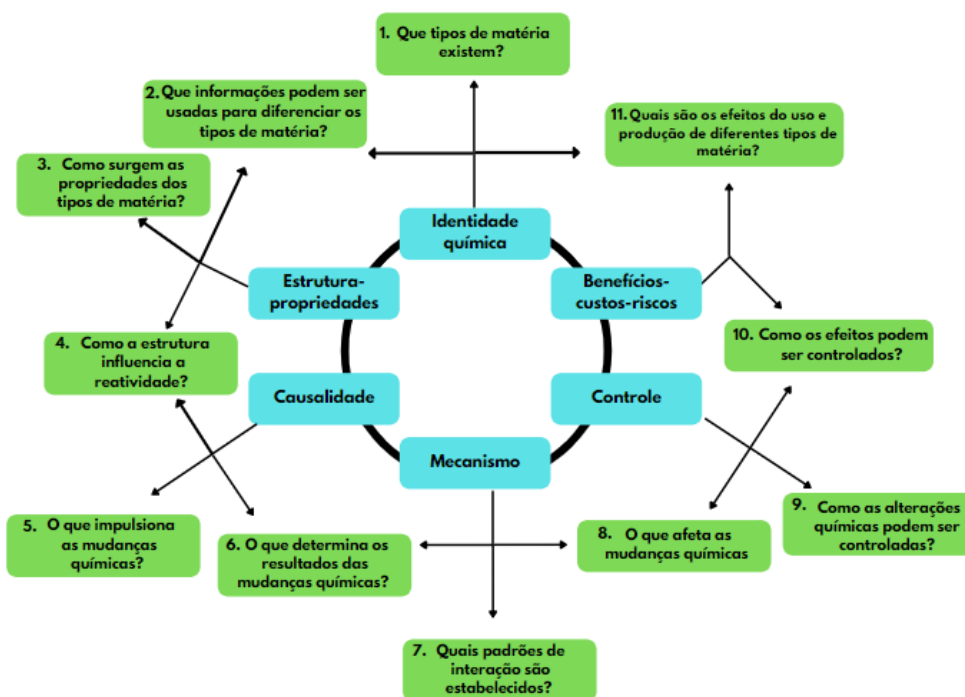


Figura 1 - Variáveis de progresso do pensamento químico (verde) e os conceitos disciplinares transversais (azul) (extraído de Almeida & Broietti, 2023a).

A VP1 refere-se à identificação e à classificação dos diferentes tipos de matéria que existem. A VP2 relaciona-se à distinção de diferentes materiais por meio de suas propriedades. A VP3 está relacionada à origem das propriedades dos materiais, analisando tanto o nível macroscópico quanto o nível subatômico das estruturas. A VP4 estabelece a conexão entre a estrutura química e o comportamento, refletindo sobre como a composição atômica/molecular e estrutural interfere nas interações entre substâncias, levando à formação de outras espécies químicas. A VP5 diz respeito à exploração das razões por trás dos processos químicos e sua gênese, envolvendo uma análise profunda dos aspectos que influenciam as reações químicas.

A VP6 aborda os diversos mecanismos pelos quais uma reação pode ocorrer e explora como essas vias distintas podem impactar os resultados. A VP7 diz respeito às interações que se estabelecem no sistema. A VP8 refere-se à identificação de fatores internos e externos que podem afetar os processos químicos. A VP9 explora, detalhadamente, os elementos que impactam o sistema químico e sua influência sobre ele, permitindo uma compreensão das estratégias de gestão das mudanças químicas nos diversos sistemas reativos. A VP10 trata da habilidade de tomar decisões relacionadas a aspectos tanto internos quanto externos que são passíveis de alteração e controle, visando otimizar ganhos e minimizar potenciais custos e riscos. Por fim, a VP11 envolve a conexão entre as características químicas das substâncias e suas implicações nos contextos social, econômico e ambiental.

É fundamental ressaltar que as indagações das VP assumem diferentes configurações, conforme o contexto em que são aplicadas. Podemos ilustrar esse ponto observando a VP1, que se entrelaça com o CDT “identidade química”. Inicialmente, partimos da indagação “do que é composto esse material?”. Na área médica, essa questão pode tomar a forma de “qual substância tóxica foi ingerida?”. Na ambiental, podemos reformulá-la como “que poluente está se acumulando no solo?”. Na indústria têxtil, a interrogação evolui para “de que maneira variam as composições dos tecidos?”. Analisando esses cenários, é possível constatar que, embora as respostas sejam diferentes para cada área, todas compartilham uma relação com a identidade química.

No contexto internacional, identificamos pesquisas que utilizam aspectos do Pensamento Químico para investigar o raciocínio de alunos acerca de causalidade e mecanismo de reações químicas (Weinrich & Talanquer, 2015; Yan & Talanquer, 2015); examinar o raciocínio de indivíduos em diferentes níveis de formação em Química em tarefas que exigem a avaliação dos benefícios, custos e riscos do uso de diferentes

substâncias químicas (Cullipher, Sevian, & Talanquer, 2015); investigar a capacidade dos alunos de tomar decisões sobre as consequências do uso e produção de produtos químicos, como a escolha do melhor combustível para um veículo pequeno (Banks *et al.*, 2015); e explorar a percepção dos professores sobre o pensamento químico dos alunos ao planejarem e desenvolverem projetos (Stammees, Henze, Barendsen, & Vries, 2021).

Nacionalmente a expressão ainda é pouco explorada, sendo muitas vezes utilizada sem uma definição clara ou estruturação. Dos poucos artigos⁵ que usam a expressão, muitos a empregam como sinônimo de pensar sobre Química, ou referem-se aos níveis descritos no triângulo de Johnstone (Johnstone, 1982). Isso justifica a relevância de pesquisas que investiguem esta temática no contexto nacional.

As habilidades cognitivas são processos mentais que os indivíduos usam para organizar informações, compreender conceitos e resolver problemas. Zoller e Pushkin (2007) classificam as habilidades cognitivas em três amplas categorias, abrangendo cinco níveis distintos. Essas categorias são denominadas como Algorítmicas (ALG); Habilidades Cognitivas de baixa ordem (Lower Order Cognitive Skills – LOCS); e Habilidades Cognitivas de alta ordem (Higher Order Cognitive Skills – HOCS). Para resolver um mesmo problema, os estudantes podem adotar distintas estratégias, manifestando uma variedade de habilidades cognitivas. Enquanto alguns optam por empregar fórmulas para estabelecer conexões, outros baseiam-se em raciocínio lógico para alcançar soluções. No campo da educação, compreender como os alunos empregam o conhecimento em situações específicas é fundamental para desenvolver abordagens de ensino eficazes.

As ALG são comumente identificadas nos estágios iniciais das discussões sobre as atividades propostas, sendo percebidas como menos complexas em comparação às Habilidades Cognitivas de baixa ordem. Neste nível, o aluno ainda não reconhece completamente a situação-problema vinculada ao contexto da atividade, limitando-se a apresentar dados geralmente recordados e a aplicar fórmulas ou conceitos previamente adquiridos para resolver o problema investigado. A interação com os colegas é mínima ou inexistente, resultando, muitas vezes, em respostas diretas e rápidas, como “sim” ou “não”. As questões ALG podem ser consideradas uma categoria independente ou como uma subdivisão das LOCS (Zoller & Pushkin, 2007).

A LOCS engloba habilidades como conhecer, recordar/relembrar a informação ou aplicar conhecimento, ou algoritmos memorizados na resolução de exercícios. Alunos nesse nível podem identificar termos-chave, reter fatos e entender as ideias apresentadas, mas sua compreensão tende a ser superficial. Em contraste, a HOCS inclui habilidades orientadas para investigação, como resolução de problemas, tomada de decisões, desenvolvimento do pensamento crítico e avaliativo. Os alunos que alcançam esse nível conseguem aplicar conceitos a situações reais, desmembrar informações complexas, criar novas ideias a partir de várias fontes e tomar decisões informadas com base em uma análise crítica (Suart & Marcondes, 2009).

Dessa forma, estruturar atividades com questões de alta ordem pode promover um entendimento mais profundo dos tópicos científicos, tornando os estudantes mais aptos a enfrentarem desafios complexos no mundo contemporâneo. Em um estudo realizado por Zoller, Dori e Lubezky (2002), os pesquisadores analisaram o desempenho de estudantes universitários ao responderem questões que abrangiam três diferentes níveis de habilidades cognitivas: LOCS, HOCS e ALG. Para essa investigação, os autores elaboraram um conjunto de seis perguntas distribuídas entre 97 estudantes de duas instituições de ensino superior em Israel. Desses participantes, 14 foram selecionados para entrevista, visando compreender as estratégias utilizadas na resolução das questões. Os resultados indicaram que os estudantes obtiveram desempenho mais satisfatório nas questões de natureza algorítmica. Os autores justificam essa situação ao argumentar que as questões que exigiam habilidades cognitivas de alta ordem foram vistas como obstáculos pelos estudantes, pois requeriam aplicação criativa e a síntese de conhecimentos prévios, em oposição às questões ALG, que demandavam principalmente a reprodução de conhecimentos.

Zoller *et al.* (2002) argumentam que as estratégias educacionais e os métodos de avaliação adotados nas instituições de ensino necessitam fomentar o desenvolvimento das habilidades cognitivas de nível elevado entre os estudantes. Em decorrência dessa análise, os autores recomendam enfaticamente a promoção de investigações aprofundadas, com o intuito de informar e direcionar práticas pedagógicas que cultivem habilidades cognitivas mais complexas, como a capacidade de tomar decisões criteriosas, solucionar problemas complexos e potencializar o pensamento crítico.

⁵ Ao conduzir uma pesquisa nos bancos de dados de Periódico da CAPES, em meados de janeiro de 2024, identificamos apenas cinco artigos, sendo estes: Almeida e Broietti (2023a); Almeida e Broietti (2023b); Rezende e Silva (2021); Lambach e Marques (2014); Silva (2010).

Os níveis de habilidades cognitivas proposto por Zoller *et al.* (2002) também são relevantes no contexto de aulas experimentais. Como exemplo de estudos que investigaram as habilidades cognitivas em atividades experimentais, podemos citar o trabalho de Galvão e Assis (2019). Os autores desenvolveram uma atividade investigativa com o objetivo de verificar quais habilidades cognitivas foram desenvolvidas pelos alunos em aulas de Física, ao serem desafiados a calcular a velocidade média de um carrinho de brinquedo no decorrer de uma sequência didática. A análise indicou que a atividade favoreceu o desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem.

No estudo de Suart e Marcondes (2009), as autoras empregaram categorias para avaliar o nível cognitivo das questões formuladas pelo professor, bem como o nível cognitivo das respostas dos alunos. Os resultados mostraram que os alunos se envolveram significativamente na atividade proposta e demonstraram habilidades cognitivas de alta ordem; entretanto, a maioria das respostas foi classificada como habilidades cognitivas de baixa ordem. As autoras explicam que isso pode ser atribuído ao fato de a atividade ser pouco familiar para os alunos, o que exigiu um maior esforço cognitivo em algumas etapas.

MODELOS DE ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO

Na ciência, estamos constantemente envolvidos na construção de conceitos, modelos e teorias, que são fundamentais para a compreensão da atividade científica. Os modelos científicos não são meras representações simplificadas de fenômenos ou sistemas, são ferramentas que auxiliam os cientistas a organizar, interpretar e comunicar suas descobertas. Os modelos funcionam como lentes que proporcionam perspectivas específicas, permitindo que os pesquisadores enfoquem e explorem detalhes relevantes em suas investigações. São guias valiosos que permitem a exploração e a compreensão mais profunda do mundo natural, contribuindo para o desenvolvimento de teorias mais robustas e a formulação de hipóteses testáveis. Assim, a construção de modelos é uma prática essencial que permeia todo o processo científico, contribuindo significativamente para o avanço do conhecimento (Moreira, 2014).

Existe uma ampla variedade de modelos para organizar informações, conceitos e relações em um campo de estudo. Na área de Ensino de Química, um modelo amplamente utilizado é o proposto por Alex Johnstone em 1982, conhecido como triângulo de Johnstone. Esse modelo enfatiza que o conhecimento químico pode ser representado em três diferentes níveis: macroscópico, submicroscópico e simbólico. O nível macroscópico está relacionado com o tangível, nível no qual os fenômenos são experimentados, observados e descritos (Johnstone, 1982). Este nível abrange aspectos que podem ser medidos ou observados, como massa, temperatura, volume, liberação de um gás em uma reação e mudança de coloração em fenômenos químicos.

O nível simbólico, ou representacional, refere-se ao uso de signos para representar e comunicar conceitos e ideias. Isso inclui fórmulas químicas, símbolos, equações e aspectos matemáticos da química. O nível submicroscópico está ligado às condições moleculares e atômicas. É o nível no qual os fenômenos são explicados, abrangendo as teorias sobre átomos, íons, moléculas, polímeros e ligações químicas (Johnstone, 1993). Na Figura 2 segue representado o modelo de Johnstone.

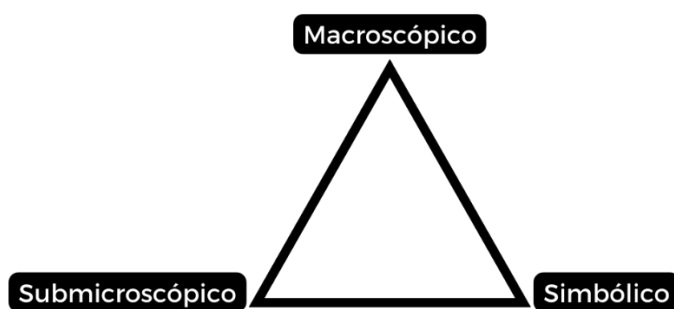


Figura 2- O triângulo da química de Johnstone (adaptado de Johnstone, 1993).

Johnstone (1982, 1993) sustenta que, ao longo dos processos de ensino e aprendizagem em Química, os estudantes devem percorrer os três ângulos do triângulo conceitual. Nessa abordagem, uma transformação química pode ser interpretada e explicada a partir de cada um dos três componentes. No entanto, tanto Johnstone (1982, 1993) quanto outros estudiosos, como Gabel (1993), argumentam que muitas das dificuldades enfrentadas na aprendizagem de Química decorrem do enfoque praticamente exclusivo em apenas um dos vértices do triângulo (o macroscópico e o simbólico), em detrimento de aspectos mais

intrínsecos (o submicroscópico). Em geral, os alunos tendem a abordar a explicação de fenômenos químicos do ponto de vista macroscópico, pois frequentemente carecem das competências necessárias para compreender esses fenômenos em um nível que exige maior capacidade de abstração, como ocorre no nível submicroscópico (Johnstone, 1982).

Embora esse modelo ainda seja utilizado e propagado por pesquisadores da área (Melo & Silva, 2019; Oliveira, Candito, & Braibante, 2021), além de servir como ideia central em vários projetos curriculares, ele tem sido alvo de diferentes críticas e há proposições alternativas na literatura.

Por exemplo, Talanquer (2011) destaca que, apesar do apelo significativo do modelo de Johnstone para os professores de química, é crucial fomentar uma discussão mais aprofundada sobre a representação e a abrangência dos três componentes principais. O autor observa que, ao analisar os próprios trabalhos publicados por Johnstone, é evidente que ele se refere aos componentes do triângulo de diferentes maneiras: como níveis de pensamento (Johnstone, 1991), componentes ou modos (Johnstone, 1993) e formas da matéria (Johnstone, 2000). Do mesmo modo, Gabel e seus colegas recorrem a terminologias como níveis de descrição (Gabel, Samuel, & Hunn, 1987), níveis de instrução (Gabel, 1993) e níveis de representação (Gabel, 1999).

Dadas essas diversas possibilidades de terminologia e considerando que a expressão “níveis de representação” emergiu como a mais prevalente na literatura, Talanquer (2011) começa a suscitar suas primeiras ponderações a respeito do modelo:

“[...] se os componentes do triângulo são níveis de representação, visão que se tornou dominante nos últimos anos [...], de que maneira o nível macro, das coisas que são visíveis e tangíveis, pode ser chamado de “representação”? Ou, por que deveríamos destacar o nível representacional como um dos principais componentes do trio se os outros dois elementos principais também são “níveis de representação?” (Talanquer, 2011, p.181, tradução nossa)

A partir de tais inquietações, Talanquer examina artigos da literatura em busca de uma maior compreensão dos vértices do triângulo. No que concerne ao âmbito submicroscópico, é amplamente aceito que é importante diferenciar entre os níveis de modelagem de partícula única e múltipla. Isso se deve ao fato de que, embora seja possível explicar propriedades químicas no nível das partículas individuais, muitas propriedades físicas de substâncias macroscópicas, como densidade ou estado da matéria, só podem ser adequadamente justificadas ao considerar mols de átomos ou moléculas.

Em relação ao nível macroscópico, também chamado de descritivo, Talanquer (2011) aborda que:

“Observar e descrever que um balão incha quando aquecido não é o mesmo que caracterizar esse fenômeno como resultado de um aumento de temperatura que provocou o aumento da pressão interna do balão.” (Talanquer, 2011, p.183, tradução nossa).

Nesse contexto, o autor examina que o nível macro ganharia uma caracterização mais precisa ao ser identificado como um nível “explicativo” em vez de “descritivo”. Além disso, ele observa a importância de adotar uma abordagem cautelosa ao afirmar que o nível macro é intrinsecamente mais concreto. Isso se justifica pelo fato de muitos dos conceitos empregados na química para definir propriedades macroscópicas da matéria, como energia e entropia, serem tão abstratos quanto o conceito de átomo e elétron. Em particular, às vezes se refere aos modelos teóricos reais usados para “representar” a realidade, enquanto em outras ocasiões é usado para descrever os símbolos ou ícones criados para “representar” elementos relevantes de tais modelos teóricos de maneira visual.

Considerando tais discussões, Talanquer (2011) propõe seu próprio modelo, o qual denominou como “espaço do conhecimento químico”, representado na Figura 3. No modelo proposto, Talanquer (2011) aborda que o conhecimento químico pode ser caracterizado como sendo de três níveis, sendo esses alocados nos vértices do triângulo. O primeiro, denominado de “nível das experiências”, inclui nosso conhecimento descritivo e refere-se ao nosso conhecimento empírico. O segundo, “nível dos modelos”, compreende os modelos teóricos explicativos e preditivos que os químicos desenvolveram para dar sentido ao mundo da experiência real, referindo-se às entidades teóricas. Para melhor diferenciar esses dois níveis, o autor utiliza o seguinte exemplo:

“Experiência: O gás natural queima na presença de ar e pode ser usado para aquecer coisas. Modelo: O gás natural é composto principalmente por metano, um composto químico que sofre uma reação de combustão com um elemento químico do ar, o oxigênio, produzindo duas novas substâncias, dióxido de carbono e água, e liberando energia na forma de calor e luz.” (Talanquer, 2011, p 188, tradução nossa).

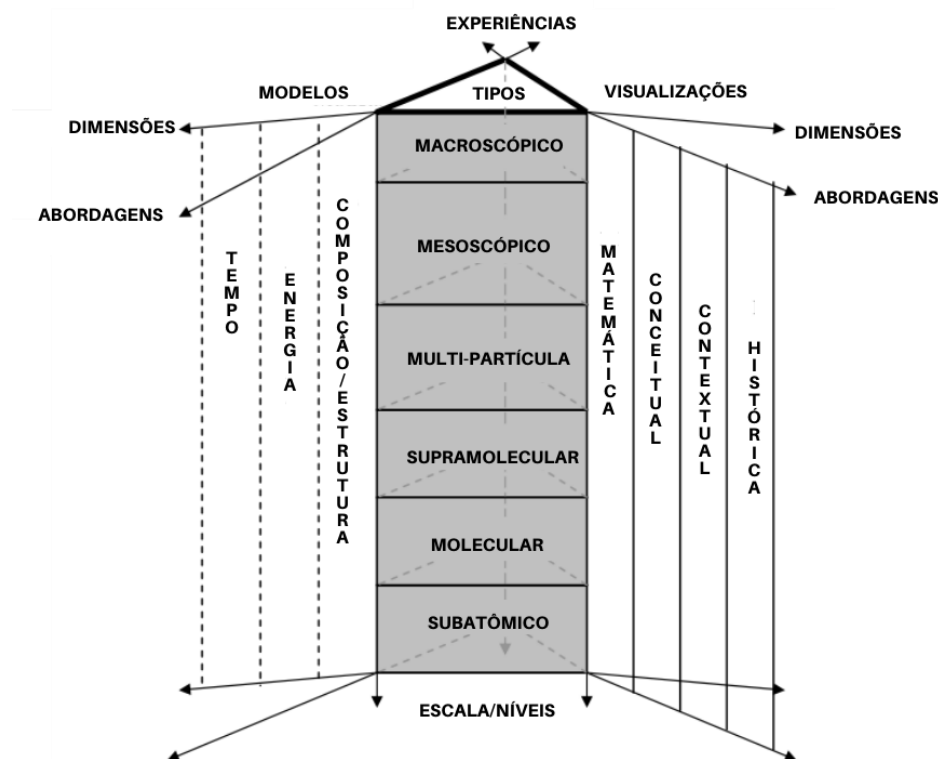


Figura 3- Modelo “espaço do conhecimento químico” (extraído e traduzido de Talanquer, 2011).

Evidenciamos que, no nível de experiências, encontram-se situações que abordam como percebemos o mundo e os fenômenos. O nível dos modelos, por sua vez, traz consigo situações que transcendem a experiência, apresentando um caráter mais científico e explicativo sobre os fenômenos. Esse nível atribui aos fenômenos algum tipo de estrutura interna, composição e/ou mecanismo, que servem para explicar ou prever as várias propriedades desses sistemas (Talanquer, 2011). O terceiro nível, denominado nível das visualizações, engloba os símbolos e fórmulas químicas, desenhos, equações matemáticas, gráficos, modelos físicos, entre outros, usados para representar visualmente os principais componentes do modelo teórico. O uso do termo “visualizações” elimina possíveis dúvidas em relação ao termo “representações”.

Quanto às escalas ou níveis relevantes na análise das propriedades de um sistema, Talanquer (2011) argumenta que elas dependem da natureza química do sistema. Percebemos que o modelo proposto pelo autor sugere seis diferentes níveis. Entretanto, ele ressalta que essas escalas não pretendem ser exaustivas, mas destacar a importância de reconhecer as diferentes escalas de descrição e explicação que podem ser necessárias na análise de um determinado sistema. Outra variável presente no modelo presente na Figura 3, são as “dimensões”. Para o autor, podemos analisar um fenômeno por meio de três dimensões, sendo essas: composição/estrutura, energia e tempo.

“Ao estudar a combustão do metano podemos estar interessados em analisar as mudanças na composição do sistema, a quantidade de energia liberada ou o tempo que leva para o processo terminar.” (Talanquer, 2011, p.191, tradução nossa).

Além das diferentes dimensões, Talanquer (2011) aborda a possibilidade de adotarmos distintas “abordagens” no ensino da química. Dessa forma, podemos enfatizar a compreensão conceitual de ideias centrais em uma determinada área ou podemos favorecer uma abordagem mais matemática. Também é possível utilizar questões pessoais e sociais relevantes para contextualizar a discussão de ideias. O modelo proposto por Talanquer (2011) amplia a forma como o conhecimento químico é construído, avançando em relação ao modelo proposto por Johnstone (1982), que enfatiza principalmente a escala em que os fenômenos são observados, negligenciando outras perspectivas e abordagens.

Ao considerarmos o referencial teórico do pensamento químico e as habilidades cognitivas discutidas anteriormente, adaptamos o modelo proposto por Talanquer (2011) considerando que um mesmo fenômeno pode ser discutido por diferentes níveis: experiências, modelos e visualizações. Ao estudá-lo os alunos podem transitar por diferentes VP do pensamento químico e manifestar habilidades cognitivas de diferentes ordens. Isso significa que a abordagem proposta pode ou não capturar totalmente a complexidade do fenômeno químico, uma vez que diferentes níveis de compreensão podem levar a diferentes interpretações e insights sobre um mesmo acontecimento.

ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

No contexto investigativo deste trabalho, foram elaboradas e desenvolvidas atividades experimentais investigativas para estudantes⁶ em uma disciplina, ministrada de forma remota, de um curso de Licenciatura em Química. Ao longo do semestre, foram discutidos textos e desenvolvidas sete atividades experimentais que abordavam diferentes conceitos químicos, sendo eles: acidez e basicidade das substâncias, densidade dos materiais, conservação de massa em processos químicos, chuva ácida, solubilidade, cinética química e equilíbrio químico. Contudo, para este trabalho, limitamo-nos a analisar dados referentes a uma das atividades, que abordou o conceito de densidade dos materiais, a partir da separação e identificação de plásticos em diferentes solventes. Para cada tema/conteúdo trabalhado, foram necessários 3 momentos síncronos e 2 assíncronos, como descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Organização da atividade experimental.

Momentos	Atividade realizada	Plataforma
Síncrono	Apresentação de uma situação-problema e das questões pré-experimento	Google Meet
Assíncrono	Os estudantes responderam à situação-problema e às questões pré-experimento	Google Classroom
Síncrono	Discussão das questões pré-experimento e apresentação das questões pós-experimento	Google Meet
Assíncrono	Os estudantes assistiram a um vídeo do experimento e responderam às questões pós-experimento	Google Classroom
Síncrono	Discussão das questões pós-experimento e retomada da situação-problema.	Google Meet

Fonte: Autores

Inicialmente, em um momento síncrono, a professora responsável pela disciplina apresentava a situação-problema que envolvia uma temática de interesse. Neste caso, a situação-problema relatava problemas de uma empresa de refrigerantes que estava recebendo reclamações sobre a diminuição da qualidade das embalagens plásticas, que estavam mais finas e moles. Frente a este problema, o diretor da empresa solicitou ao químico do controle de qualidade que realizasse testes para avaliar a qualidade das embalagens e compará-las com as anteriores, que não foram alvo de queixas.

Após a discussão da situação-problema na aula síncrona, o professor também lia as questões pré-experimento (apresentadas no Quadro 4) que eram em seguida disponibilizadas aos estudantes, para serem

⁶ Na ocasião, os oito estudantes matriculados na disciplina tinham acesso à internet e participaram ativamente de todas as fases da pesquisa. Trata-se de uma turma do quarto ano do curso, com um número reduzido de estudantes, o que pode justificar o engajamento deles nas atividades propostas. Entretanto, é importante destacar os impasses e os desafios enfrentados no ensino remoto. Apesar dos esforços para dar continuidade às atividades de ensino, não podemos desconsiderar as dificuldades vividas por muitos professores e estudantes em relação ao domínio e ao acesso aos recursos tecnológicos (Almeida, Arrigo, & Broietti, 2020).

respondidas, por meio da plataforma Google Classroom®. Essas questões tinham por objetivo identificar os entendimentos iniciais dos estudantes, além de promover a elaboração de hipóteses. Em seguida, em uma aula síncrona, o professor mediava uma discussão, proporcionando espaço para os alunos apresentarem suas respostas e debaterem coletivamente suas hipóteses iniciais.

Como não foi possível realizar o experimento presencialmente no laboratório devido ao isolamento social, foram selecionados vídeos de experimentos científicos⁷ disponíveis gratuitamente na internet. Esses vídeos foram editados e disponibilizados para os estudantes. Os estudantes recebiam o vídeo e as questões pós-experimento também pela Plataforma do Classroom. As questões pós-experimento (apresentadas no Quadro 4) buscavam sistematizar os conceitos e tecer considerações que relacionavam o vídeo do experimento à problematização inicial. Por fim, uma nova discussão coletiva foi mediada pelo professor em uma aula síncrona, discutindo aspectos do vídeo do experimento e das questões pós.

Os dados utilizados nesta pesquisa consistiram das questões elaboradas pelo professor, presentes no roteiro da atividade, bem como as respostas escritas fornecidas pelos estudantes. A análise dos dados foi conduzida com base nos princípios da Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2011). O primeiro passo consistiu em selecionar os documentos a serem analisados, alinhando-os com os objetivos do estudo. Durante a exploração do material, realizamos a codificação e categorização das informações. Para preservar o anonimato dos estudantes, estes foram codificados de A1 até A8⁸. As unidades de análise foram agrupadas na etapa de categorização, o que possibilitou a realização de inferências. Inicialmente, foram analisadas as questões presentes no roteiro da atividade, utilizando categorias *a priori* adaptadas de Suart e Marcondes (2009), apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2- Nível de cognição das questões propostas pelo professor (Adaptado de Suart & Marcondes (2009)).

Nível	Descrição
P1	Requer que o estudante identifique informações relevantes partindo do problema inicial fornecido ou do vídeo, sem necessidade de articular conceitos químicos.
P2	Requer que o estudante desenvolva habilidades como elaborar hipóteses, comparar, contrastar, aplicar leis e conceitos para a resolução do problema, sem necessidade de uso de dados obtidos por meio do experimento.
P3	Requer que o estudante utilize os dados obtidos por meio do experimento para propor hipóteses, fazer inferências, avaliar condições e relacionar ao problema inicial.

Fonte: Autores

Para analisar as respostas escritas fornecidas pelos estudantes⁹, foram utilizados os níveis de habilidades cognitivas apresentados por Suart e Marcondes (2009), com adaptações, expressas no Quadro 3.

No Quadro 2, estão representados diferentes níveis de habilidades cognitivas: o nível N1 corresponde a uma habilidade cognitiva de baixa ordem, enquanto o nível N5 exige uma habilidade cognitiva mais avançada. Além disso, o nível N4 se divide em quatro subníveis (N4.1 a N4.4), que referem às diferentes habilidades cognitivas de alta ordem que podem ser manifestadas no desenvolvimento da atividade.

Para identificar as VP nas respostas escritas dos estudantes, baseamo-nos na Figura 1. A validação dos dados em uma pesquisa é um processo essencial para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos. Neste estudo, seguimos os pressupostos da triangulação de dados, uma técnica que visa aumentar a credibilidade e a validade dos resultados ao combinar múltiplas fontes de dados, métodos, teorias ou pesquisadores para abordar uma única questão (Azevedo, Oliveira, Gonzalez, & Abdalla, 2013; Zappellini & Feuerschutte, 2015). No contexto da pesquisa, a validação envolveu a categorização dos documentos por dois pesquisadores. Para verificar a confiabilidade entre os avaliadores, cada pesquisador categorizou documentos previamente, e os resultados foram comparados. Assim, cada documento foi categorizado pelo menos duas vezes, garantindo a fidedignidade da validação dos dados. Para lidar com possíveis desacordos, os pesquisadores adotaram uma abordagem colaborativa. Quaisquer divergências nas categorizações foram

⁷ O vídeo original está disponível no link: https://www.youtube.com/watch?v=_yt18HwthGE&t=233s. O trecho enviado aos alunos abrange o período de 43 segundos a 3 minutos e 23 segundos.

⁸ Vale ressaltar que este estudo faz parte de um projeto maior, aprovado pelo comitê de ética da universidade na qual a pesquisa está vinculada.

⁹ Como as respostas orais (ocorridas no momento síncrono) às questões pré e pós-experimento eram muito semelhantes às respostas dadas e postadas no Classroom, optamos por analisar apenas as respostas escritas. Contudo, as aulas foram gravadas e assistidas pelas pesquisadoras, o que permitiu aprofundar nosso entendimento das respostas fornecidas pelos estudantes.

resolvidas por meio de discussões entre os pesquisadores. Esse processo permitiu que identificassem e compreendessem as razões por trás das discordâncias, chegando a um consenso sobre a categorização adequada de cada documento. Além disso, os dados foram apresentados e discutidos no grupo de pesquisa, etapa crucial para validar os resultados e garantir uma interpretação apropriada. Ao submeter os dados ao exame de outros membros do grupo, os pesquisadores puderam identificar possíveis falhas ou vieses e realizar ajustes necessários. A discussão em grupo também permitiu uma análise mais aprofundada dos dados e interpretações adicionais que contribuíram para a validação dos resultados da pesquisa.

Quadro 3- Níveis de habilidades cognitivas (Adaptado de Suart & Marcondes (2009)).

Nível	Habilidade
Categoria de resposta ALG	
N1	Não identifica a situação-problema ou não compreende a questão
Categoria de resposta LOCS	
N2	Identifica a situação-problema utilizando informações e termos da situação problema e do texto
N3	Identifica a situação-problema utilizando conceitos já conhecidos
Categoria de resposta HOCS	
N4	N4.1 Capacidade de elaborar hipóteses
	N4.2 Sugere as possíveis soluções do problema.
	N4.3 Estabelece relações causais entre os elementos do problema.
	N4.4 Identifica informações relevantes.
N5	Aborda ou generaliza o problema em outros contextos ou condições iniciais.

Fonte: Autores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 4, apresentamos uma síntese dos resultados. Na primeira coluna estão as questões pré e pós experimento propostas aos estudantes. Na segunda coluna, os níveis de cognição das questões. Na terceira e quarta colunas, as VP e os níveis de habilidades cognitivas evidenciados nas respostas escritas dos estudantes, respectivamente. Na quinta coluna, o número de respostas nas quais foram identificadas determinada VP.

Com base nas informações apresentadas no Quadro 4, observa-se que as questões iniciais se apresentam classificadas em níveis cognitivos mais baixos, quando comparadas às questões do momento pós. Adicionalmente, apenas a primeira pergunta não requer que os alunos integrem conhecimentos químicos para formular hipóteses com o intuito de resolver o problema. Entretanto, é crucial enfatizar a relevância dessa questão, pois ela avalia a capacidade do aluno em compreender o tema central apresentado na atividade. Ao analisar as questões propostas após a discussão do experimento, o nível de cognição da questão (P3) é demandado em duas das quatro questões propostas, pois os alunos têm a oportunidade de utilizar os dados experimentais para articular suas hipóteses e resolver o problema inicial. Apenas a primeira pergunta foi classificada como P1, uma vez que a questão avaliava se o aluno era capaz de selecionar informações pertinentes sobre o experimento para ajudá-lo a solucionar o problema.

Na sequência, discutimos de forma integrada a VP identificada nas respostas dos estudantes, assim como o nível de habilidade cognitiva manifestado por eles ao responder às questões propostas. A Questão 1 do momento pré visava investigar a capacidade dos estudantes em identificar o tema abordado a partir da leitura da situação-problema, que nesta atividade versava sobre uma empresa de refrigerantes que estava enfrentando problemas de qualidade em suas embalagens. Os clientes reclamaram que as embalagens plásticas estavam mais "finas" e "moles" quando comparadas a lotes anteriores. Em resposta às reclamações, o diretor da empresa solicitou que o químico do controle de qualidade conduzisse testes para avaliar a qualidade das embalagens e investigar se houve alguma mudança. Identificamos nas respostas dos oito estudantes indícios da VP6 – trechos em que os estudantes apontam causas que provocam as alterações nas embalagens –, entretanto, identificamos respostas que apresentam diferentes níveis de habilidades cognitivas. Em seis respostas identificamos habilidades cognitivas que configuram o nível N2, como exemplificado a seguir:

"[A2] A questão principal do texto é a baixa qualidade das embalagens de refrigerantes, que foram compradas pela empresa de bebidas de uma fábrica de plásticos."

Quadro 4- Distribuição das respostas dos estudantes nas variáveis de progresso e nos diferentes níveis de habilidades cognitivas.

Pré-experimento				
Questão	Nível de cognição da questão	VP	Nível	Ocorrências
1 - Qual é a questão principal do texto?	P1	VP6	N2	6
			N3	2
2 – Por que você acha que as embalagens apresentam aspectos físicos diferentes das embalagens utilizadas pela empresa em momentos anteriores?	P2	VP1	N4.1	2
		VP6	N4.1	3
		VP1 e VP6	N4.1	1
		VP8	N4.1	1
		VP11	N1	1
3 - Você, sendo o químico encarregado de verificar a qualidade dessas embalagens, quais testes rápidos faria com as embalagens para verificar suas hipóteses levantadas na questão anterior?	P2	VP2	N4.4	8
Pós-experimento				
Questão	Nível de cognição da questão	VP	Nível	Ocorrências
1 - O que você observou?	P1	VP1	N2	3
		VP3	N3	5
2- Foi possível observar no experimento que os materiais se dividiram em dois grupos, um grupo formado pelos materiais que afundaram na água e o outro grupo dos que não afundaram. Quais características os materiais de cada grupo apresentam em comum que possibilitaram essa separação?	P3	VP2	N4.4	2
		VP2 e VP3	N4.3	1
		VP2 e VP7	N4.3	5
3 - O que aconteceria se outro líquido fosse utilizado no lugar da água na realização do experimento?	P3	VP6	N5	1
		VP4 e VP6	N5	4
		VP6 e VP7	N5	1
		VP4, VP6 e VP7	N5	1
		-	N1	1
4 - Retornando ao texto inicial e após realizar o experimento, por que você acha que as embalagens apresentam aspectos diferentes, mais “finos” e “moles”?	P3	VP1	N4.2	2
		VP2	N4.2	1
		VP1 e VP2	N4.2	3
		VP1 e VP11	N4.2	2

Fonte: Autores

Podemos evidenciar que o estudante A2 responde à questão buscando por uma causa, o que configura a VP6, entretanto, por mais que o estudante identifique a questão principal do texto, ele faz isso utilizando informações que se encontram disponíveis no texto disponibilizado no roteiro, caracterizando habilidades cognitivas requeridas no nível N2.

Em outras duas respostas, identificamos habilidades cognitivas requeridas no nível N3, como no exemplo a seguir:

“[A5] Os plásticos apresentam diferentes densidades, essa diferença é atribuída às matérias-primas utilizadas na fabricação deles.”

Evidenciamos que o estudante aborda o conceito de densidade, ainda não estudado, caracterizando o nível N3. Dessa forma, para a primeira questão, evidenciamos que para a mesma VP, nesse caso a VP6 encontramos diferentes níveis de habilidades cognitivas nas respostas dos estudantes.

A questão 2 examinava possíveis causas em relação às diferenças entre as embalagens nos dois lotes, e para essa questão, identificamos nas respostas dos estudantes indícios da VP1 – trechos em que os estudantes questionam quais são os tipos de matéria que existem, relacionando com a identidade química –, trechos característicos da VP6 – no qual os estudantes apontam causas que provocam as alterações nas embalagens –, e indícios da VP8 – trechos em que os estudantes relacionam mecanismo e controle, uma vez que questionam o que pode afetar as mudanças químicas.

Na resposta de dois estudantes encontramos a VP1 e o nível de habilidade N4.1, como exemplificado a seguir:

“[A3] Apresentam aspectos físicos diferentes devido às variedades de plásticos usados na confecção das embalagens.”

O estudante observa que as diferentes características físicas das embalagens podem ser atribuídas aos diversos tipos de plásticos utilizados na fabricação, demonstrando assim seu conhecimento da variedade de materiais empregados na produção das embalagens, o que caracteriza a VP1. Além disso, o aluno ao responder à questão, demonstra a habilidade de elaborar uma hipótese, sendo essa uma habilidade cognitiva requerida no nível N4.1.

Em três respostas, encontramos indícios da VP6, bem como o nível de habilidade cognitiva N4.1, como exemplificado a seguir:

“[A1] Talvez essa nova embalagem utilize menos material e ele acabe ficando com um aspecto mais fino, não necessariamente perdendo a qualidade.”

Identificamos a VP6 uma vez que, em sua resposta, o estudante aponta para uma causa que pode ter levado ao aspecto apresentado [embalagens mais finas e mais moles]. Além disso, o aluno demonstra a habilidade de elaborar uma hipótese, sendo essa uma habilidade cognitiva requerida no nível N4.1.

Na resposta do estudante A5, identificamos a presença das variáveis VP1 e VP6, bem como habilidades requeridas no nível N4.1, como pode ser observado na resposta do estudante.

“[A5] Podem ter ocorrido mudanças nas matérias-primas utilizadas no processo de fabricação ou alterações nos processos industriais.”

Identificamos a presença da VP1 no momento em que o estudante atribui que as alterações nas embalagens podem estar relacionadas à alteração das matérias-primas utilizadas. Além disso, o estudante apresenta outras possíveis causas, como alterações nos processos de fabricação e industriais, caracterizando dessa forma a VP6. Evidenciamos o nível N4.1 uma vez que o estudante elabora hipóteses, sendo essa uma habilidade requerida nesse nível.

Evidenciamos na resposta de um dos estudantes a presença da VP8 – trechos em que os estudantes relacionam mecanismo e controle, uma vez que questionam o que pode afetar as mudanças químicas –, bem como o nível de habilidade cognitiva N4.1.

“[A2] Os problemas podem estar relacionados à exposição à luz ultravioleta, diferentes tratamentos durante a reciclagem, modificação do processo de síntese polimérica, adição de outras substâncias no refrigerante que podem degradar o material.”

O estudante aborda diferentes fatores que podem interferir no processo de fabricação da embalagem, como exposição à luz e reações com o refrigerante, configurando a VP8. Além disso o estudante apresenta a habilidade de elaborar hipóteses, caracterizando o nível N4.1.

Em uma das respostas, identificamos indícios da VP11 – trechos em que os estudantes relacionam benefícios-custos-riscos com a identidade química dos materiais questionando os efeitos do uso e produção dos diferentes tipos de matéria, e a caracterizamos como N1, como pode ser visto a seguir:

“[A8] Um plástico mole ou mais fino pode apresentar uma durabilidade menor. Assim, qualquer tipo de impacto ou pressão pode deformar o frasco e ocorrer algum tipo de contaminação no produto.”

Identificamos na resposta do estudante indícios da VP11, uma vez que ele estabelece relações de benefícios-custos-riscos e a identidade química do material. Entretanto, percebemos que a resposta fornecida pelo estudante não responde à questão do roteiro, dessa forma, o estudante demonstra não ter compreendido a questão, sendo enquadrada como habilidade cognitiva do nível N1.

Nas oito respostas para a terceira questão, identificamos evidências da VP2 – trechos em que os estudantes relacionam as propriedades da matéria e elencam as informações que podem ser utilizadas para identificar o que pode ter ocorrido com as embalagens –, e habilidades requeridas no nível N4.4 como exemplificado a seguir:

“[A4] Faria testes de tração, para verificar se a embalagem suporta bem o conteúdo contido dentro dela; testes de impacto, para verificar se a embalagem aguenta impactos que ocasionalmente venham a ter, sem obstruir a embalagem e o conteúdo de dentro dela; testes de resistência a temperatura, para averiguar até qual temperatura essa embalagem suporta de forma segura para que não haja riscos ao consumidor final.”

Na resposta do estudante A4, há uma ampla variedade de testes descritos que podem ser utilizados para avaliar as características físico-químicas do material, incluindo testes de resistência à temperatura e de tração, o que nos permite classificar essa resposta na VP2. Observamos, dessa forma, que uma vez que o estudante elenca testes que podem oferecer informações importantes para compreender o que pode ter ocasionado alterações nas embalagens, ele apresenta a habilidade de identificar informações relevantes (N4.4). Neste primeiro momento da aula, o maior número de respostas (15) foi classificado no nível N4, seis respostas no nível N2 e uma se encontra no nível N1.

No que diz respeito ao momento pós-experimento, na primeira questão, os estudantes deveriam relatar observações relevantes do experimento. Para essa questão, em três respostas encontramos indícios da VP1 e o nível de habilidade cognitiva N2, como exemplificado a seguir:

“[A1] Observei que quando adicionou-se 5 tipos diferentes de plástico em um béquer com água, 2 boiaram e 3 afundaram.”

O estudante relata os diferentes comportamentos dos plásticos utilizados no experimento, demonstrando aspectos da VP1, sobre a identidade química dos materiais. Além disso, identificamos habilidades requeridas no subnível N2, sendo essa a habilidade de selecionar informações relevantes em relação ao experimento.

Em cinco repostas, identificamos a VP3 – trechos em que os estudantes exploram a origem das propriedades da matéria –, e o nível de habilidade cognitiva N3, como pode ser evidenciado no exemplo que segue:

“[A5] Os plásticos apresentam diferentes densidades, essa diferença é atribuída às matérias-primas utilizadas na fabricação deles.”

Evidenciamos que, para elaborar a resposta, o estudante A5 relaciona a estrutura e as propriedades dos materiais, uma vez que aborda que a diferença de densidade dos materiais deve-se às diferentes matérias-primas utilizadas em sua fabricação, o que denota indícios da VP3. Além disso, evidenciamos habilidades requeridas no nível N3, uma vez que consegue estabelecer relações causais do fenômeno observado, afirmando que diferentes plásticos apresentam densidades diferentes.

A segunda questão abordava quais características os materiais apresentavam. Em duas repostas, identificamos indícios da VP2 e a habilidade de selecionar informações relevantes (N4.4), como pode ser identificado no exemplo a seguir:

“[A3] As características que os grupos têm semelhante é a densidade.”

O estudante consegue identificar que a propriedade química que permite a separação dos plásticos, neste caso em dois grupos, é a diferença de densidade entre os grupos, caracterizando a VP2.

Em uma das respostas, evidenciamos indícios da VP2 e VP3, bem como a habilidade cognitiva requerida no nível N4.3, como pode ser visto a seguir:

“[A2] A densidade foi uma característica que permitiu com que os dois plásticos afundaram e outros dois plásticos não afundaram. Estruturalmente, os dois plásticos que submergiram, possivelmente apresentam redes poliméricas compactas, quando comparados aos que emergiram, não tendo muitos espaços estruturais. Por outro lado, as que flutuaram, possivelmente apresentam uma rede polimérica espaçada, com vazios estruturais.”

O estudante além de identificar que a densidade é a propriedade que permite a diferenciação dos materiais (VP2), também abordou explicações compreendendo modelos teóricos, ao mencionar sobre a rede polimérica, o que caracteriza a VP3. Em relação a habilidade cognitiva desempenhada, identificamos que o estudante busca estabelecer relações causais entre uma das propriedades específicas dos materiais, a densidade e o fenômeno observado, justificando o fato de alguns plásticos afundarem e outros flutuarem quando inseridos em um recipiente com água. (N4.3).

Ainda para a segunda questão, em cinco respostas, identificamos indícios da VP2 – trechos em que os estudantes relacionam propriedades da matéria com o problema em questão – e VP7 – trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema –, bem como a habilidade cognitiva requerida no nível N4.3, como pode ser visto no exemplo a seguir:

“[A4] Os plásticos possuem densidades diferentes, os que afundam possuem densidade maior que 1,0 g/mL, já os que flutuam possuem densidade menor que isto.”

O estudante identifica a densidade como a propriedade que difere os materiais (VP2), mas além disso, estabelece relações entre os valores de densidade com o fato de o material flutuar ou afundar em água, estabelecendo padrões de interação no sistema, caracterizando a VP7 e a habilidade cognitiva do nível N4.3.

Na terceira questão, os estudantes deveriam se posicionar caso fosse utilizado um outro líquido no lugar da água. Para essa questão, em uma das respostas, evidenciamos a VP6 e a habilidade cognitiva requerido no nível N5, como visto a seguir:

“[A3] Ao ser utilizado um outro líquido que não a água, isso poderia fazer com que todos os plásticos afundassem ou flutuassem.”

O aluno A3 para elaborar sua resposta consegue extrapolar o observado no experimento e os seus conhecimentos para uma situação em outro contexto, caracterizando a habilidade requerida no nível N5. Uma vez que o estudante identifica que a alteração do líquido irá interferir no comportamento dos plásticos, identificamos indícios da VP6.

Quatro respostas apresentaram indícios da VP4 e VP6, além de habilidades requeridas no nível N5.

“[A1] Os resultados seriam diferentes, pois cada líquido possui uma densidade diferente, e os plásticos podem ter maior ou menor densidade que ele.”

Nesta resposta, o estudante consegue extrapolar o observado para outro contexto (N5); entretanto, além de identificar que a alteração do líquido influenciará no resultado final observado (VP6), o aluno ainda identifica que a natureza/composição desse novo líquido também influenciará no resultado final, caracterizando a VP4.

Em uma das respostas, encontramos indícios da VP6 e VP7, e a habilidades cognitivas no nível N5, como pode ser evidenciado a seguir.

“[A1] Poderia não ocorrer a separação como apresentado no vídeo, se o líquido possuir densidade menor, comparado aos plásticos, todos os materiais iriam boiar.”

O estudante identifica que a alteração do líquido utilizado pode resultar em outra situação, diferente do que foi observado no vídeo da atividade experimental, caracterizando a VP6. Além disso, o A5 estabelece relações entre os valores de densidade com o fato de o material flutuar ou afundar em água, indicando padrões de interação que se estabelecem no sistema, caracterizando a VP7. Uma vez que o estudante também consegue extrapolar a condição apresentada no experimento, evidenciamos a habilidade cognitiva do nível N5.

Em uma outra resposta, encontramos indícios da VP4, VP6 e VP7, além do nível de habilidade cognitiva N5, como exemplificado a seguir:

“[A2] Caso a densidade dos plásticos que flutuaram fosse superior ao do novo líquido, possivelmente tais polímeros iriam afundar. Contudo, se a densidade do líquido fosse superior ao dos plásticos que afundaram, os materiais poliméricos iriam flutuar. Portanto, dependeria da densidade do líquido e de cada plástico, para que ocorresse a submersão ou imersão.”

O estudante consegue extrapolar o observado no experimento e utiliza de seus conhecimentos para explicar o fenômeno em outros contextos, caracterizando a habilidade requerida no nível N5. Vemos ainda a presença da VP4 uma vez que o estudante demonstra o raciocínio de que materiais diferentes possuem diferentes densidades; a VP6 quando identifica que a alteração do líquido irá alterar o resultado final observado; e a VP7 quando indica possíveis interações em relação aos líquidos e os materiais plásticos.

Observamos nas respostas dadas para a questão 3, que apesar de diferentes VP terem sido identificadas nas respostas dos sete estudantes, eles manifestaram habilidades cognitivas requeridas no nível N5, ou seja, generalizam o problema em outros contextos ou condições iniciais.

Por fim, em apenas uma das respostas identificamos o nível N1:

“[A8] Para utilização de outro líquido [...] o técnico deveria montar uma faixa de densidade para identificar e separar cada tipo de plástico.”

Podemos perceber que o estudante A8 demonstra não compreender a questão; assim, identificamos em sua resposta o nível N1.

Na questão 4 do momento pós-experimento, a problemática inicial foi retomada examinando o(s) motivo(s) das embalagens apresentarem aspectos diferentes, quando se compara os dois lotes. Para essa questão, em duas respostas encontramos indícios da VP1, bem como habilidades requeridas no nível N4.2, como pode ser visto no exemplo a seguir:

“[A7] As embalagens podem ter sido produzidas com tipos de polímeros diferentes, feitas de tipos de plásticos diferentes, tendo densidades e espessuras distintas.”

O estudante apresenta a habilidade de criar hipóteses sobre o problema em questão, desenvolvendo a habilidade N4.2. Para elaborar sua hipótese, evidenciamos que o A7 considera a existência de diversos tipos de matérias (VP1), mencionando a questão da identidade química dos materiais.

Em uma das respostas encontramos indícios da VP2 e habilidades requeridas no nível N4.2, como visto a seguir:

“[A3] Esses aspectos são definidos devido à densidade que aquela embalagem tem, no caso, quanto maior a densidade da embalagem, mais robusta ela será e vice-versa também.”

Identificamos na resposta de A3 a habilidade de elaborar hipótese (N4.2) e indícios da VP2, uma vez que o estudante identifica a densidade como uma propriedade específica que permite diferenciar os materiais.

Em três respostas identificamos habilidades requeridas no nível N4.2 e indícios das variáveis VP1 e VP2, como exemplificado a seguir:

“[A5] As embalagens provavelmente foram feitas com plásticos diferentes, pelo experimento é possível perceber que cada plástico possui uma faixa de densidade e isso pode interferir em suas propriedades físicas (ser mais finos ou moles).”

Identificamos na resposta de A5 a habilidade de elaborar hipóteses (N4.2) e indícios da VP1 uma vez que o estudante aborda sobre as embalagens terem sido produzidas com diferentes plásticos e a VP2 pois ele identifica que a densidade permite a diferenciação desses materiais.

Em duas respostas identificamos as variáveis VP1 e VP11, bem como habilidades requeridas no nível N4.2, como visto a seguir:

“[A4] Ou por diminuição do material utilizado, ou por uma troca de material. No entanto, embalagens mais finas e moles não necessariamente significam embalagens ruins; por exemplo, o caso da diminuição de material, pode ter um fator econômico e ambiental envolvido. Econômico, pois, diminui o capital aplicado, e ambiental pois, embalagens mais finas são mais facilmente degradadas. Mas é bom lembrar que há também processos de reciclagem para polímeros que seria o mais adequado para esse tipo de embalagem.”

O estudante A4 elabora hipóteses para explicar as diferenças nas embalagens plásticas (N4.2), mencionando terem sido produzidas com diferentes materiais (VP1). Além disso, o estudante aborda em sua resposta aspectos econômicos e ambientais sobre a utilização de diferentes materiais na produção das embalagens, o que evidencia indícios da VP11.

No Quadro 5, apresentamos o quantitativo de respostas atribuídas em cada nível de habilidade cognitiva e as respectivas porcentagens.

Quadro 5- Quantidade e porcentagem de respostas em cada nível de habilidade cognitiva

Nível	Quantidade de respostas		Porcentagem correspondente		
	pré-experimento	pós-experimento	pré-experimento	pós-experimento	
N1	1	1	4%	3%	
N2	6	3	25%	9%	
N3	2	5	8%	16%	
N4	N4.1	2	29%		
	N4.2	-	-	25%	
	N4.3	-	6	-	19%
	N4.4	8	2	32%	6%
N5	-	7	-	22%	

Fonte: Autores

É possível observar que, na etapa pré-experimento, cerca de 37% das respostas fornecidas pelos estudantes demonstraram habilidades associadas aos níveis cognitivos N1 a N3, os quais se relacionam com habilidades cognitivas de baixa ordem. No entanto, no momento pós-experimento, percebemos uma diminuição desse percentual, o qual passou a ser 28%, enquanto 72% das respostas se enquadraram nos níveis N4 e N5, que correspondem a habilidades cognitivas de alta ordem.

Essa alteração nas porcentagens pode ser justificada pelas discussões promovidas ao longo da aula, decorrentes das reflexões possibilitadas tanto pelo experimento quanto pelas questões propostas no roteiro da atividade, o que resultou na identificação de habilidades cognitivas de alta ordem, tais como elaboração de hipóteses, sugestão de soluções para o problema, estabelecimento de relações causais para o fenômeno investigado e a abordagem do problema em outros contextos.

Corroborando nossos resultados, destacamos o estudo realizado por Bernardo, Suart e Souza (2023) ao investigar o desenvolvimento das habilidades argumentativas entre os alunos do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública, durante a implementação de uma sequência de sete aulas fundamentada na abordagem investigativa. Eles destacaram que ao longo das atividades realizadas, habilidades de alta ordem foram notavelmente desenvolvidas, incluindo habilidades argumentativas, capacidades para elaborar hipóteses e conclusões, reflexão sobre as evidências apresentadas, bem como formulação de explicações e justificativas.

Em relação às VP, utilizadas neste estudo para evidenciar o desenvolvimento do Pensamento Químico, foram identificadas as variáveis VP1, VP2, VP3, VP4, VP6, VP7, VP8 e VP11, uma vez que os estudantes mencionam em suas respostas diferentes matérias-primas utilizadas na fabricação das embalagens (VP1), relacionam o problema com a propriedade dos materiais, neste caso a densidade dos plásticos (VP2), quando relacionam a estrutura e as propriedades, neste caso a densidade com os aspectos físicos das embalagens (VP3), quando apontam causas que explicam o fenômeno observado (VP6), quando mencionam padrões de interações que se estabelecem no sistema, por exemplo o fato do plástico flutuar ou afundar dependendo do líquido ao qual ele está em contato (VP7), quando relacionam fatores que afetam as mudanças químicas, nesse caso quando mencionam possíveis alterações no processo de fabricação (VP8) ou ainda quando relacionam benefícios-custos-riscos com a identidade química dos materiais questionando os efeitos do uso de diferentes plásticos nas características das embalagens, neste caso quando apontam possíveis problemas ocasionados ao produto final pelo uso das matérias primas utilizadas (VP11).

Vale ressaltar que, nas aulas de Ciências, é nítida a dificuldade dos estudantes na compreensão do conceito de densidade. De acordo com Broietti, Ferracin e Arrigo (2018), muitas vezes, há a memorização da fórmula ($d = m/v$), o que não condiz com a utilização correta do conceito em situações cotidianas. Nesse sentido, escolhemos essa atividade como foco de investigação a fim de analisarmos como os licenciandos, futuros professores, lidam com esse conceito.

Rossi *et al.* (2008) realizaram um estudo sobre o que se ensina e o que se aprende sobre densidade na escolarização. Corroborando ao que já foi mencionado, os pesquisadores apontaram que a densidade vem sendo excessivamente utilizada com a valorização de equações matemáticas. Em suas análises, identificaram que os estudantes apresentam dificuldades em entender densidade como uma propriedade intensiva da matéria. Os estudantes consideram que a densidade define a separação de fases numa mistura, sem reconhecer a necessidade de alteração desse modelo explicativo. Os autores sugerem propostas que tendem a melhorar o ensino desse conceito, dentre elas, apontam que fazer uso de situações cotidianas é sempre uma ferramenta fundamental à aprendizagem (Rossi *et al.*, 2008).

Destacamos que as VP já foram utilizadas como lentes para avaliar o pensamento químico em estudos anteriores, como descrito por Almeida e Broietti (2023a) e Almeida e Broietti (2023b) ao investigarem evidências do pensamento químico de licenciandos em uma atividade experimental sobre o conceito de conservação de massas, em que foram encontradas as VP4, VP5, VP6, VP7, VP8 e VP9. No contexto internacional, Banks *et al.* (2015) empregaram VP para examinar o pensamento químico dos estudantes quando solicitados a explicar seu raciocínio sobre qual combustível seria mais adequado para alimentar um veículo de pequeno porte.

Stammes *et al.* (2021) também fizeram uso das VP como lentes para identificar como professores percebem o pensamento químico enquanto os alunos planejam e desenham projetos. Os autores tinham as seguintes questões de pesquisa: que pensamento químico os professores percebem durante conversas com alunos envolvidos no planejamento e desenho de projetos? Que fontes de evidências os professores usam para perceber o pensamento químico dos alunos durante conversas com alunos envolvidos no planejamento e desenho de projetos? Ambos os professores notaram o pensamento químico por meio das VP enquanto conversavam com os estudantes. O professor 1 identificou a presença da VP1, VP2, VP6, VP7, VP8, VP9, VP10 e VP11. Já o professor 2 identificou a VP11 (Stammes *et al.*, 2021).

No que se refere aos três níveis do conhecimento, podemos apontar que, no decorrer da atividade, ao apresentar suas respostas para as questões propostas, bem como a situação-problema das embalagens plásticas, os alunos foram capazes de confrontar as observações experimentais, descrevendo-as, o que inclui um conhecimento descritivo de substâncias químicas e processos adquiridos de maneiras diretas ou indiretas (nível das experiências). Alguns estudantes também incluíram em suas respostas modelos teóricos que explicam o fenômeno em estudo, referindo-se a entidades teóricas, como a composição, estrutura interna, que ajuda a explicar ou prever as propriedades desse sistema a partir de conceitos científicos (nível dos modelos). Contudo, não identificamos, para esta atividade proposta, respostas que evidenciem o nível das visualizações, sinais visuais e/ou dinâmicos desenvolvidos para facilitar o pensamento qualitativo e quantitativo (Talanquer, 2011).

No Quadro 5, apresentamos os níveis de habilidades cognitivas encontradas para a mesma variável de progresso. Conforme evidenciado no Quadro 5, observamos que, para resolver uma questão que explore uma mesma variável de progresso, os estudantes podem apresentar diferentes níveis de habilidades cognitivas. Por exemplo, na VP1, que se refere à identidade do material, foram encontradas respostas em diferentes níveis de habilidades. Essa constatação fica ainda mais evidente ao analisarmos as respostas para a primeira a questão do momento pré-experimento; neste caso, todos os oito estudantes apresentaram

respostas nas quais evidenciamos indícios da VP6. Contudo, seis dos estudantes elaboram suas respostas utilizando habilidades requeridas no nível N2, o que significa que esses alunos apresentam a habilidade de identificar a situação-problema, utilizando informações e termos presentes no próprio texto. Por outro lado, dois demonstraram habilidades requeridas no nível N3; esses alunos apresentaram a habilidade de identificar a situação-problema, entretanto utilizando conceitos já conhecidos.

Quadro 5- Níveis de habilidades cognitivas e as variáveis de progresso do Pensamento Químico.

Níveis e subníveis	VP1	VP2	VP3	VP4	VP6	VP7	VP8	VP11
N1								
N2								
N3								
N4.1								
N4.2								
N4.3								
N4.4								
N5								

Fonte: Autores

Além disso, evidenciamos que os níveis de habilidades cognitivas das respostas dos licenciados se relacionam com os níveis cognitivos das questões propostas na atividade, como já observado por Suart e Marcondes (2009). Por exemplo, em nosso estudo, ao examinarmos a primeira questão durante o momento pré-experimento, observamos que ela foi classificada na categoria P1, que envolve menor demanda por habilidades cognitivas dos alunos. Ao analisarmos as respostas dos estudantes para esta questão, 75% das respostas foram categorizada no nível N2, uma categoria de baixa ordem cognitiva. Para a Questão 2, ainda no momento pré-experimento, observamos que ela foi categorizada como P2, uma vez que exige que o aluno elabore hipóteses. Analisando as respostas dos estudantes, observamos que se encontram no nível N4.4.

Isto sugere que, quando a questão requer uma capacidade cognitiva menor, as respostas dos alunos estão alinhadas com essa exigência, normalmente correspondendo aos níveis de habilidades N1 ou N2, como observado. Esse resultado realça a importância de propor atividades com diferentes níveis de complexidade, a fim de possibilitar que os estudantes ampliem suas habilidades cognitivas. Zompero, Garbim, Souza e Barrichelo (2018) também conduziram uma investigação na área da Biologia, sobre as habilidades cognitivas apresentadas por alunos do Ensino Médio encontrando conclusões similares, reforçando que as situações de ensino precisam buscar oportunizar aos estudantes atividades que possam avançar para manifestações de habilidades de alta ordem cognitiva.

Com base na estrutura delineada por Talanquer (2011) e nas análises realizadas nesta investigação e em outras similares (Almeida & Broietti, 2023a, 2023b), elaborou-se um modelo que busca representar os referenciais aqui discutidos, a saber: as VP do pensamento químico e os níveis de habilidades cognitivas no contexto do conhecimento químico. Esse modelo (Figura 4) incorpora nossas interpretações, assim como o arcabouço teórico que foi discutido.

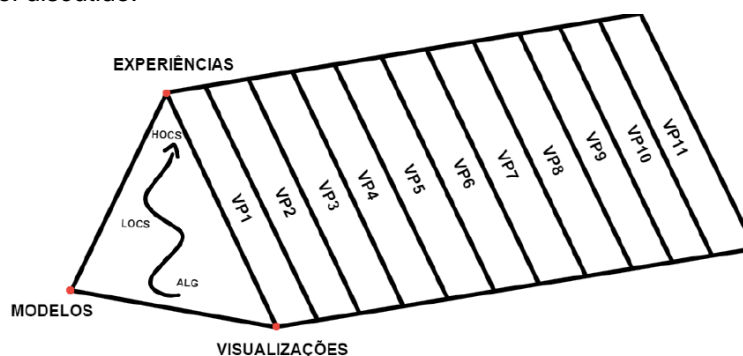


Figura 4- Modelo proposto para a representação do pensamento químico em situações de ensino

Na Figura 4, observamos que, nos vértices do triângulo, mantivemos os termos “modelos”, “experiências” e “visualizações”, conforme apresentado por Talanquer (2011), uma vez que concordamos com o autor que esses são três aspectos importantes para se discutir diferentes conhecimentos químicos. Entendemos que a experimentação é uma estratégia promissora para discutir os conceitos transitando pelos três vértices (experiências, modelos e visualizações), visto que permite aos estudantes observar e testar

fenômenos, obter dados empíricos que fundamentam teorias e hipóteses, que ajudam a descrever e compreender o comportamento dos fenômenos em estudo. Esses três vértices combinados formam a base do conhecimento químico, capacitando os cientistas a explicar e compreender os fenômenos químicos observados na natureza.

Talanquer (2011) apresentava em seu modelo o termo “dimensões” (Figura 3). Segundo o autor, podemos olhar para determinado fenômeno a partir de três dimensões, sendo essas: composição/estrutura, energia e tempo. Entendemos essas dimensões como lentes a partir das quais os fenômenos podem ser observados. Dessa forma, no modelo sugerido, adotamos as 11 VP do Pensamento Químico como lentes para analisar e interpretar os fenômenos, sendo essas: VP1: que tipos de matéria existem; VP2: que informações podem ser utilizadas para diferenciar os tipos de matéria?; VP3- Como surgem as propriedades dos tipos de matéria?; VP4- como a estrutura influencia a reatividade?; VP5- o que impulsiona as mudanças químicas?; VP6- o que determina os resultados das mudanças químicas?; VP7- quais padrões de interação são estabelecidos?; VP8- o que afeta as mudanças químicas?; VP9- como as alterações podem ser controladas?; VP10- como os efeitos podem ser controlados?; VP11- quais são os efeitos do uso e produção dos diferentes tipos de matéria?.

Por fim, acrescentamos como profundidade de nosso triângulo os níveis de habilidades cognitivas por meio dos quais os estudantes podem resolver um mesmo problema. No modelo proposto, a base do prisma representa o conhecimento químico, que pode ser estudado utilizando diferentes níveis de habilidades cognitivas, perpassando por diferentes VP do Pensamento Químico. Tomemos como exemplo a situação-problema apresentada no roteiro experimental. Pode-se realizar uma interpretação para o problema partindo da VP1 e habilidades cognitivas de alta ordem, da seguinte maneira: os aspectos mais finos e moles das embalagens podem ser explicados devido ao material utilizado no processo de fabricação das embalagens. Materiais diferentes resultam em embalagens com propriedades físicas diferentes. Nessa resposta, podemos perceber indícios da VP1, uma vez que se aponta o uso de diferentes tipos de plásticos (existência de diferentes tipos de matéria). Em relação aos níveis de habilidades cognitivas, identificamos a capacidade de formular hipóteses, habilidade de alta ordem cognitiva. Ou interpretação poderia ser: os aspectos mais finos e moles das embalagens podem ser explicados pela densidade do material utilizado no processo de fabricação das embalagens. Plásticos de menor densidade são frequentemente compostos por cadeias poliméricas longas e ramificadas, resultando em uma estrutura molecular menos compactada. Isso permite que as cadeias se acomodem com mais espaço entre si, resultando em uma estrutura mais flexível e menos densa. Assim, ao se utilizar plásticos de menor densidade, as embalagens produzidas terão os aspectos descritos no problema. Nessa resposta, podemos perceber indícios da VP2, uma vez que a densidade é a responsável pelas características físicas apresentadas pelas embalagens. Em relação aos níveis de habilidades cognitivas, novamente identificamos a capacidade de formular hipóteses, habilidade de alta ordem cognitiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, ao explorarmos a construção do conhecimento químico pelos estudantes, objetivamos analisar os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao responderem questões disponibilizadas durante uma atividade experimental. Também investigamos se esses níveis estão relacionados às variáveis de progresso do pensamento químico, discutidos nos trabalhos de Talanquer e Pollard (2010); Talanquer (2013); Sevian e Talanquer (2014) e Talanquer (2019).

As questões presentes na atividade foram agrupadas em três categorias distintas, determinadas pelos níveis de cognição necessários para sua resolução. As respostas elaboradas pelos estudantes foram classificadas em três categorias amplas: ALG, LOCS e as HOCS. Cada uma dessas categorias foi ainda subdividida em níveis específicos de habilidades cognitivas, variando de N1 a N5. Além disso, as respostas também foram categorizadas conforme as VP do pensamento químico.

A partir dos dados analisados, podemos inferir que a atividade permitiu a participação ativa dos licenciandos em todas as etapas da pesquisa (questões pré e pós-experimento), uma vez que as reflexões proporcionadas pelo vídeo experimental e pelas questões propostas no momento pós-experimento levaram a um aumento de respostas alocadas em habilidades de alta ordem cognitiva (N4 e N5), de 61% para 72%.

Inferimos ainda que a atividade foi eficaz para o desenvolvimento do pensamento químico dos estudantes, uma vez que identificamos VP em todas as questões, tanto no momento pré-experimento quanto no momento pós-experimento. Isso indica que os estudantes utilizaram o pensamento químico ao longo da aula. Além disso, as questões formuladas possibilitaram aos licenciandos a oportunidade de refletir sobre o

fenômeno e explorar seu pensamento químico. Isso resultou em uma ampliação do entendimento que eles possuíam sobre o acontecimento, permitindo-lhes compreender a densidade como uma propriedade intrínseca capaz de induzir mudanças físicas em produtos finais.

Nessa pesquisa, não identificamos uma relação causal entre as VP e os níveis de habilidades cognitivas, uma vez que uma mesma variável de progresso pode ser explorada em diferentes níveis de habilidades cognitivas. Por outro lado, constatamos uma conexão entre os níveis de habilidades cognitivas presentes nas respostas elaboradas pelos licenciados e os níveis cognitivos das questões apresentadas na atividade. Essa observação enfatiza a relevância de propor atividades com diversos graus de complexidade, a fim de viabilizar uma expansão eficaz das habilidades cognitivas dos estudantes.

Por fim, partindo do referencial teórico adotado e dos dados analisados, elaboramos um modelo que representa o desenvolvimento do Pensamento Químico em situações de ensino. Tal modelo pode ser uma ferramenta eficaz para auxiliar os professores no processo de elaboração de atividades que levem ao desenvolvimento do pensamento químico, articulado à promoção de diferentes níveis de habilidades cognitivas.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. G., Arrigo, V., & Broietti, F. C. D. (2020). Relatos de pós-graduandos em Ensino de Ciências e Educação Matemática a respeito de aspectos da formação em tempos de pandemia. *Revista Docência do Ensino Superior*, 10, 1–21. <https://doi.org/10.35699/2237-5864.2020.24732>
- Almeida, F. G., & Broietti, F. C. D. (2023a). Explorando o pensamento químico de licenciandos em aulas experimentais remotas. *Química nova na escola*, 16(2), 285-312. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160296>
- Almeida, F. G., & Broietti, F. C. D. (2023b). Evidências do pensamento químico manifestadas por licenciandos em uma atividade experimental. Alexandria: *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 45(1), 69-84. Recuperado de <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2023.e91762>
- Araújo, M. S. T., & Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(2), 176-194. Recuperado de <https://www.scielo.br/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?format=pdf&lang=pt>
- Azevedo, M. C. P. S. (2004). Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: Carvalho, A. M. P. (Org.). *O Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.
- Azevedo, C. E. F., Oliveira, L. G. L., Gonzalez, R. K., & Abdalla, M. M. (2013). A estratégia de triangulação: objetivos, possibilidades, limitações e proximidades com o pragmatismo. VI Encontro de Ensino e Pesquisa em Administração e Contabilidade, Brasília-DF. Recuperado de <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/EnEPQ5.pdf>
- Banks, G., Clinchot, M., Cullipher, S., Huie, R.; Lambert, J., Lewis, R., Ngai, C., Sevian, H., Sztainberg, G., Talanquer, V., & Weinrich, M. (2015). Uncovering Chemical Thinking in Students' Decision Making: A Fuel-Choice Scenario. *Journal of Chemical Education*, 92(10), 1610–1618. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.5b00119>
- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70.
- Barbosa, F. T., & Aires, J. A. (2017). A abordagem HFC por meio de estudos de casos históricos: propostas didáticas para o Ensino de Química. *Educação Química em Punto de Vista*, 1(2), p. 97-120. Recuperado de <https://doi.org/10.30705/eqpv.v1i2.906>
- Bernardo, R. A., Suart, R. C., & Souza, J. A. (2023). Contribuição de uma sequência de aulas investigativas para a promoção da argumentação em química. *Revista Debates em Ensino de Química*, 9(1), 294-315. Recuperado de <https://doi.org/10.53003/redequim.v9i1.5797>

- Broiatti, F. C. D., Ferracin T. P., & Arrigo, V. (2018). Explorando o conceito “densidade” com estudantes do ensino fundamental. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 13(2), p. 201-217. Recuperado de <https://doi.org/10.14483/23464712.11572>
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: one of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15(2), p.157-170. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s10698-013-9179-z>
- Chemical thinking. (2020). *Chemical Education Xchange*. Recuperado de <https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking>
- Cullipher, S., Sevian, H., & Talanquer, V. (2015). Reasoning about benefits, costs, and risks of chemical substances: mapping different levels of sophistication. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 377–392. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/rp/c5rp00025d>
- Francisco Junior, W. E., Ferreira, L. H., & Hartwig, D. R. (2009). Um Modelo para o Estudo do Fenômeno de Deposição Metálica e Conceitos Afins. *Química nova na escola*, 31(2), 82-87. Recuperado de http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc31_2/04-EA-4208.pdf
- Gabel, D., Samuel, K., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 64(8), 695–697. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed064p695>
- Gabel, D. (1993). Use of the particulate nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193-194, Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed070p193>
- Gabel, D. (1999). Improving Teaching and Learning through Chemistry Education Research: A Look to the Future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554, Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed076p548>
- Galvão, I. C. M., & Assis, A. (2019). Atividade experimental investigativa no ensino de física e o desenvolvimento de habilidades. *Ensino de Ciências e Matemática*, 10(1),14-26. Recuperado de <https://revistapos.cruzeirosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1570>
- Gonçalves, R. P. N., & Goi, M. E. J. (2018). A experimentação investigativa no ensino de ciências na educação básica. *Revista Debates Em Ensino De Química*, 4(2), 207–221. Recuperado de <https://www.journals.ufpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1840>
- Gomes, A. L., Bilessimo, S. M., & Silva, J. B. (2020). Aplicação de sequência didática investigativa com uso de laboratórios online no ensino de química em turmas do ensino médio em escola pública: uma pesquisa-ação. *Experiências em Ensino de Ciências*. 15(1), 499-519. Recuperado de: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/575>
- Johnstone, A. H. (1982). Macro and Microchemistry. *The School Science Review*, 64(227), 377-379.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Johnstone, A.H. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *The Forum*, 70(9), 701-705. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed070p701>
- Johnstone, A. (2000). Teaching of chemistry-logical or psychological. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 1(1), 9-15. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2000/rp/a9rp90001b>
- Lambach, M., & Marques, C. A. (2014). Lavoisier e a influência nos estilos de Pensamento Químico: contribuições ao ensino de química contextualizado sócio-historicamente. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Química*, 14(1), 9-30. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4280>
- Leal, R. R., Schetinger, M. R. C., & Pedroso, G. B. (2019). Experimentação investigativa em Eletroquímica e argumentação no Ensino Médio em uma Escola Federal em Santa Maria/RS. *Revista De Ensino De*

Ciências E Matemática, 10(6), 142–162. Recuperado de <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/rencima/article/view/2009>

Moreira, M. A. (2014). Modelos científicos, modelos mentais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. *Revista Brasileira de Ensino de C&T*, 7(2), 1-20. Recuperado de <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/2037/1267>

National Research Council [NRC]. (2003). *Beyond the molecular frontier: challenges for chemistry and chemical engineering*. Washington: National Academy Press.

Melo, M. S., & Silva, R. R. (2019). Os três níveis do conhecimento químico: dificuldades dos alunos na transição entre o macro, o submicro e o representacional. *Revista Exitus*, 9(5), 301 – 330. Recuperado de http://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2237-94602019000500301

Oliveira, N., Soares, M., & Herbert, F. B. (2010). As atividades de experimentação investigativa em ciência na sala de aula de escolas de ensino médio e suas interações com o lúdico. In *Atas do XV Encontro Nacional de Ensino de Química – DF. Brasília, DF*.

Oliveira, F. V., Candito, V., & Braibante, M. E. F. (2021). ABP no contexto aromas: uma proposta de material paradidático para o ensino de funções orgânicas. *Ciência E Natura*, 43, e61. Recuperado de <https://doi.org/10.5902/2179460X64635>

Rezende, B. de P., & Silva, A. C. A. (2021). Análise dos roteiros de atividades experimentais nos livros didáticos de Química: um estudo das representações e dos níveis do pensamento químico. *Educação em Ciências e Matemática*, 17(39), 46-60. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8240627>

Rossi, A. V., Massarotto, A. M., Garcia, F. B. T., Anselmo, G. R. T., Marco, I. L. G., Currello, I. C. B., Terra, J., & Zanini, S. M. C. (2008). Reflexões sobre o que se ensina e o que se aprende sobre densidade a partir da escolarização. *Química nova na escola*, 30, 55-50. Recuperado de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3072454/mod_resource/content/1/artigo%20densidade.pdf

Santos, W. L. P. (2011). A química na formação para a cidadania. *Educación Química*, 22(4), p. 300-305. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-893X2011000400004

Santos, A. O., Silva, R. P., Andrade, D., & Lima, J. P. M. (2013). Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). *Scientia Plena*, 9(7(b)). Recuperado de <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/1517>

Santos, C., Freitas, P. S., & Lopes, M. M. (2020). Ensino remoto e a utilização de laboratórios virtuais na área de ciências naturais. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 12(1), p. 20. Recuperado de: https://ei.unipampa.edu.br/uploads/evt/arg_trabalhos/22601/etp2_resumo_expandido_22601.pdf.

Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking (2014). *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 10-23. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/rp/c3rp00111c>

Silva, R. M. G. (2010). Conhecimentos Químicos no ensino de ciências das séries iniciais do ensino fundamental: uma forma de desenvolver o pensamento químico. *Ensino em Re-Vista*, 16(1), 91-103. Recuperado de <https://seer.ufu.br/index.php/emrevista/article/view/7953/5060>

Sjöström, J., & Talanquer, V. (2018). Eco-reflexive chemical thinking and action. *Green and sustainable chemistry*, 16(13), 16-20. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223618300099>

Sousa, L. G., & Valério, R. B. R. (2021). Química experimental no ensino remoto em tempos de Covid-19. *Ensino Em Perspectivas*, 2(4), 1-10. Recuperado de: <https://revistas.uece.br/index.php/ensinoemperspectivas/article/view/6652>

- Stammees, H., Henze, I., Barendsen, E., & Vries M. J. (2021). Teachers Noticing Chemical Thinking While Students Plan and Draw Designs. In *Design-Based Concept Learning in Science and Technology Education*, 311-343.
- Suart, R. de C., & Marcondes, M. E. R. (2009). As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Educação em Ciências*, 8(2), 1-22. Recuperado de <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4022>
- Talanquer, V. (2011). Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry —triplell. *International Journal of Science Education*, 33(2), 179-195, 2011. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690903386435>
- Talanquer, V. (2013). School chemistry: the need for transgression. *Science & Education*, 22(7), 1757–1773. Recuperado de <https://doi.org/10.56117/resbenq.2021.v2.e022104>
- Talanquer, V. (2019). Some insights into assessing chemical systems thinking *Journal of Chemical Education*, 96(12), 2918-2925. Recuperado de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.9b00218>
- Talanquer, V., & Pollard, J. (2010). Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, 11(2), 74–83. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/rp/c005349j>
- Tenreiro-Vieira, C., & Vieira, R. M. (2019). Promover o pensamento crítico em ciências na escolaridade básica: Propostas e desafios. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 15(15), 36-49. Recuperado de <https://doi.org/10.17151/rlee.2019.15.1.3>
- Yan, F., & Talanquer, V. (2015). Students' Ideas about How and Why Chemical Reactions Happen: Mapping the conceptual landscape. *International Journal of Science Education*, 37(8), 3066-3092. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2015.1121414>
- Zappellini, M. B., & Feuerschutte, S. G. (2015). O uso da triangulação na pesquisa científica brasileira em administração. *Administração: ensino e pesquisa*. 16(2), 241–273. Recuperado de <https://doi.org/10.13058/raep.2015.v16n2.238>
- Zoller, U., & Pushkin, D. (2007). Matching Higher-Order Cognitive Skills promotion goals —with problem-based laboratory practice in a freshman organic chemistry course. *Chemistry Education Research and Practice*, 8(2), 153-171. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2007/rp/b6rp90028c>
- Zoller, U., Dori, Y., & Lubezky, A. (2002). Algorithmic and LOCS and. HOCS (Chemistry) Exam Questions: Performance and Attitudes of College Students. *International Journal Science Education*, 24(2), 185-203. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690110049060>
- Zompero, A. F., Garbim, T. H. S., Souza, C. H. B., & Barrichelo, D. (2018). Habilidades cognitivas apresentadas por alunos participantes de um projeto de iniciação científica no ensino médio. *Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 13(2), 325-337. Recuperado de <http://doi.org/10.14483/23464712.12838>
- Weinrich, M. L., & Talanquer, V. (2015). Mapping students' conceptual modes when thinking about chemical reactions used to make a desired product. *Chemistry Education Research and Practice journal*, 2015, 16(3), 561-577. Recuperado de <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/rp/c5rp00024f>

Recebido em: 28.04.2024

Aceito em: 07.10.2024