



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

FERNANDA GARCIA DE ALMEIDA

**ASPECTOS DO PENSAMENTO QUÍMICO MANIFESTADOS
POR LICENCIANDOS EM AULAS EXPERIMENTAIS**

Londrina
2024

FERNANDA GARCIA DE ALMEIDA

**ASPECTOS DO PENSAMENTO QUÍMICO MANIFESTADOS
POR LICENCIANDOS EM AULAS EXPERIMENTAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PECEM) da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Orientadora: Profa. Dra. Fabiele Dias Broietti

Londrina
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

F363a de Almeida, Fernanda Garcia.

ASPECTOS DO PENSAMENTO QUÍMICO MANIFESTADOS POR LICENCIANDOS EM AULAS EXPERIMENTAIS / Fernanda Garcia de Almeida. - Londrina, 2024.
193 f. : il.

Orientador: Fabiele Cristiane Dias Broietti.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2024.
Inclui bibliografia.

1. Ensino de Química - Tese. 2. Pensamento Químico - Tese. 3. Experimentação - Tese. 4. Habilidades Cognitivas - Tese. I. Cristiane Dias Broietti, Fabiele . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 37

FERNANDA GARCIA DE ALMEIDA

**ASPECTOS DO PENSAMENTO QUÍMICO MANIFESTADOS POR
LICENCIANDOS EM AULAS EXPERIMENTAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PECEM) da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Fabiele Cristiane Dias Broietti
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Profa. Dra. Natany Dayani de Souza Assai
Universidade Federal Fluminense – UFF
Campus Volta Redonda

Profa. Dra. Viviane Arrigo
Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS
Campus Realeza

Profa. Dra. Bruna A. Fary
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

Profa. Dra. Josiane Letícia Hernandez
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 24 de julho de 2024.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela inspiração e pela força para vencer os obstáculos dessa minha caminhada. Agradeço também à intercessão da mãezinha Maria em mais essa etapa em minha vida.

Agradeço à minha família pelo incentivo e pela preocupação comigo, mamãe, papai e Dani, com quem eu sempre posso compartilhar minhas angústias, inseguranças, recuos e avanços. Obrigada por sempre me acompanharem e acreditarem que eu chegaria nesta etapa até o fim. Amo vocês.

Agradeço a Ari, minha namorada, por toda a ajuda e o companheirismo ao longo desses 4 anos de estudos.

À minha orientadora, Profa. Dra. Fabiele Cristiane Dias Broietti, por ter me inspirado a seguir nesse caminho. Obrigada pelos ensinamentos, pela paciência e pela dedicação ao longo desses 4 anos de minha formação.

Às professoras doutoras Viviane Arrigo e Natany Dayani de Souza Assai, profissionais fundamentais na minha formação.

Aos membros da banca de defesa (professora Dra. Viviane Arrigo, professora Dra. Natany Dayani de Souza Assai, professora Dra. Bruna Fary e professora Dra. Josiane Letícia Hernandes) agradeço por avaliarem meu trabalho e pelas contribuições em minha pesquisa.

Aos meus alunos, que fazem com que me apaixone mais pela minha profissão a cada aula.

Ao grupo de pesquisa EDUCIM, que, durante meu trajeto no doutorado, contribuiu com discussões para a minha investigação.

À Capes pelo apoio financeiro sob a forma de bolsa de estudos.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para que minha pesquisa pudesse ser concretizada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

ORGULHO DE SER PROFESSOR(A)

Sinto orgulho de ser professor(a)

Trago isso dentro do coração

Uma vontade louca de ensinar

Motivado pela emoção.

Saber que o aluno um dia

Terá também uma formação

Traçando o seu objetivo

Com uma grande motivação.

(Nivaldo Vanderlei Balla)

Professor

ALMEIDA, Fernanda Garcia. **Aspectos do Pensamento Químico manifestados por licenciandos em aulas experimentais**. 2024. 194p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Centro de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2024.

RESUMO

A inclusão da experimentação nas aulas de Química representa uma estratégia promissora para aprimorar a compreensão dos conceitos, possibilitando que os estudantes estabeleçam conexões entre conteúdos e práticas científicas. Por meio de atividades experimentais, pode-se enriquecer a experiência do aprendizado científico, além de estimular o desenvolvimento de habilidades cognitivas e do Pensamento Químico dos estudantes. No entanto, desenvolver aulas experimentais com tais características ainda é um desafio no campo da educação em Ciências. Nesse sentido, o presente trabalho teve como principal objetivo ampliar as discussões a respeito do Pensamento Químico na literatura brasileira e buscar evidências do Pensamento Químico manifestadas por estudantes em aulas experimentais. Este estudo foi realizado em uma disciplina ministrada para o último ano de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região Sul do Brasil, ocorrendo parcialmente de forma remota e parcialmente de modo presencial em virtude da crise sanitária oriunda da pandemia do Coronavírus. A coleta de dados incluiu diversos documentos, como as respostas dos licenciandos às perguntas pré e pós-experimento, os roteiros experimentais elaborados pelos próprios licenciandos e as respostas deles às questões da autoscopia. A análise dos dados foi conduzida segundo os princípios da análise de conteúdo proposta por Bardin (2011). A tese foi moldada no formato *multipaper*, sendo composta por quatro artigos. Mediante as investigações realizadas, compreendemos o Pensamento Químico como um processo no qual os estudantes utilizam seus conhecimentos em Química para analisar, discutir, refletir e propor explicações para diversos problemas. Percebemos que as Variáveis de Progresso podem ser consideradas indicadores do Pensamento Químico, uma vez que abordam questões essenciais que auxiliam os estudantes a mobilizarem o conhecimento químico na compreensão de fenômenos em diferentes áreas. As atividades desenvolvidas durante a disciplina foram alternativas eficazes para a realização de experimentos tanto no ensino remoto quanto no presencial. A análise de nossos dados revela o notável potencial das atividades experimentais para promover o desenvolvimento do Pensamento Químico, uma vez que os estudantes transitaram por diferentes Variáveis de Progresso. Evidenciamos ainda que as atividades foram eficazes na promoção do desenvolvimento de habilidades cognitivas de alta ordem. Identificamos uma correlação entre os níveis de habilidades cognitivas observados nas respostas dos licenciandos e os níveis cognitivos das perguntas apresentadas na atividade. Isso destaca a relevância de promover atividades com diversos graus de complexidade e o propósito de enriquecer as competências cognitivas dos alunos de maneira efetiva. Por fim, fundamentadas em nosso aporte teórico e nos dados obtidos, desenvolvemos um modelo que representa o Pensamento Químico. Este modelo pode servir como uma ferramenta para orientar os professores na elaboração de atividades que estimulem o desenvolvimento do Pensamento Químico.

Palavras-chave: habilidades cognitivas; experimentação; ensino de Química; Variáveis de Progresso.

ALMEIDA, Fernanda Garcia. **Aspects of chemical thinking manifested by pre-service teachers in experimental classes.** 2024. 182p. Doctoral thesis (Ph.D. in Science Education and Mathematics Education) – Center for Exact Sciences, State University of Londrina, Londrina, 2024.

ABSTRACT

The inclusion of experimentation in Chemistry classes represents a promising strategy for enhancing the understanding of concepts, enabling students to establish connections between content and scientific practices. Through experimental activities, it is possible to enrich the experience of scientific learning and stimulate the development of students' cognitive skills and Chemical Thinking. However, developing experimental lessons with such characteristics remains a challenge in the field of Science education. In this context, the main objective of this work was to expand discussions about Chemical Thinking in Brazilian literature and seek evidence of Chemical Thinking manifested by students in experimental classes. This study was conducted in a course taught to the final year of a Bachelor's degree in Chemistry at a university in the southern region of Brazil. I took place partly remotely and partially in person, due to the health crisis arising from the Coronavirus pandemic. Data collection included various documents, such as the pre- and post-experiment responses of the students, the experimental scripts prepared by the students themselves, and their responses to autoscopies. Data analysis was conducted according to the principles of content analysis proposed by Bardin (2011). The thesis was structured in a multipaper format, comprising four articles. Through our investigations, we understand Chemical Thinking as a process in which students use their knowledge in Chemistry to analyze, discuss, reflect, and suggest explanations for various problems. We observed that Progress Variables can be considered indicators of Chemical Thinking, as they address essential questions that help students mobilize their chemical knowledge in understanding phenomena in different areas. The activities developed during the course were effective alternatives for conducting experiments, both in remote and in-person teaching. Our data analysis reveals the remarkable potential of experimental activities to promote the development of Chemical Thinking, as students navigated through different Progress Variables. We also found that the activities were effective in promoting the development of higher-order cognitive skills. We identified a correlation between the levels of cognitive skills observed in the students' responses and the cognitive levels of the questions presented in the activity. This highlights the relevance of promoting activities with a varied range of complexity to effectively enrich students' cognitive competencies. Finally, based on our theoretical framework and the data obtained, we developed a model representing Chemical Thinking. This model can serve as a valuable tool to guide teachers in designing activities that stimulate the development of Chemical Thinking.

Key-words: cognitive skills; experimentation; Chemistry teaching; Progress Variables.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Conceitos disciplinares e suas questões centrais	23
Quadro 2 -	Organização da atividade experimental	45
Quadro 3 -	Organização da atividade experimental	47
Quadro 4 -	Temas, conteúdos químicos e datas do microensino de cada licenciando	48
Quadro 5 -	Possibilidades de estruturação/construção de dissertações e teses segundo os programas de pós-graduação <i>stricto sensu</i> das áreas de Educação e Ensino.	52
Quadro 6 -	Teses e dissertações defendidas no PECEM elaboradas no formato <i>multipaper</i> .	54
Quadro 7 -	Informações relativas aos artigos que compõem a tese	55
Quadro 8 -	Variáveis de Progresso identificadas em três roteiros analisados	181
Quadro 9 -	Variáveis de Progresso e suas descrições gerais.	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Relação entre conceitos transversais e Variáveis de Progresso	24
Figura 2 -	O triângulo da Química de Johnstone	34
Figura 3 -	O modelo de Mahaffy	35
Figura 4 -	Modelo “espaço do conhecimento químico”	37

LISTA DE QUADROS – ARTIGOS

ARTIGO 1

Quadro 1 -	Comparação entre o formato de relatórios tradicionais e relatórios na abordagem Heurística da Escrita Científica	65
Quadro 2 -	Questões presentes nos momentos pré e pós-atividade experimental	68
Quadro 3 -	Variáveis de Progresso esperadas e obtidas nos momentos pré e pós.	81

ARTIGO 2

Quadro 1 -	Conceitos disciplinares e suas questões centrais	93
Quadro 2 -	Descrição das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico	94
Quadro 3 -	Características do modelo de registro de ideias pautado na Abordagem Heurística da Escrita Científica e no modelo tradicional.	97
Quadro 4 -	Organização da atividade experimental.	97
Quadro 5 -	Situação-problema proposta e questões pré-experimento.	98
Quadro 6 -	Questões pós-experimento	99
Quadro 7 -	VP identificada nas respostas para a Questão 1 pré-experimento.	100
Quadro 8 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 2 pré-experimento.	101
Quadro 9 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 3 pré-experimento.	103
Quadro 10 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 4 pré-experimento.	104
Quadro 11 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 1 pós-experimento.	106
Quadro 12 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 2 pós-experimento.	106
Quadro 13 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 3 pós-experimento.	107
Quadro 14 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 4 pós-experimento.	108
Quadro 15 -	VPs identificadas nas respostas para a Questão 5 pós-experimento.	109
Quadro 16 -	Ocorrência das VPs identificadas ao longo da atividade.	111

ARTIGO 3

Quadro 1 -	Descrição das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico e os conceitos disciplinares transversais relacionados.	123
Quadro 2 -	Datas, temas e conteúdos dos microensinos de cada licenciando.	126
Quadro 3 -	Indicadores utilizados na análise dos dados.	127
Quadro 4 -	Parte do roteiro experimental elaborado pelo licenciando L5.	128
Quadro 5 -	Parte do roteiro experimental elaborado pelo licenciando L12.	129
Quadro 6 -	Variáveis de Progresso do Pensamento Químico encontradas nos roteiros dos licenciandos.	131

ARTIGO 4

Quadro 1 -	Nível de cognição das questões propostas pelo professor	155
Quadro 2 -	Níveis de habilidades cognitivas	156
Quadro 3 -	Distribuição das respostas dos estudantes nas Variáveis de Progresso e nos diferentes níveis de habilidades cognitivas.	157
Quadro 4 -	Quantidade e porcentagem de respostas em cada nível de habilidade cognitiva	166
Quadro 5 -	Níveis de habilidades cognitivas e as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico.	169

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Análise de Conteúdo
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
EDUCIM	Educação em Ciências e Matemática
MEC	Ministério da Educação
NRC	National Research Council
PECEM	Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática
VP	Variável de Progresso
UEL	Universidade Estadual de Londrina

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	14
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO	20
1.1 NATUREZA DA QUÍMICA	20
1.2 PENSAMENTO QUÍMICO.....	22
1.3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA.....	26
1.4 NÍVEIS DE HABILIDADES COGNITIVAS	30
1.5 MODELOS DE ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO.....	33
CAPÍTULO 2: REFERENCIAL METODOLÓGICO	39
2.1 CENÁRIO DA PESQUISA: O ENSINO REMOTO	39
2.2 PESQUISA QUALITATIVA E ANÁLISE DE CONTEÚDO.....	40
2.3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E A COLETA DE DADOS	45
2.4 A ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO: O FORMATO <i>MULTIPAPER</i>	50
CAPÍTULO 3 – ARTIGO 1: EXPLORANDO O PENSAMENTO QUÍMICO DE LICENCIANDOS EM AULAS EXPERIMENTAIS REMOTAS	57
INTRODUÇÃO	57
3.1 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E O ENSINO REMOTO	58
3.2 PENSAMENTO QUÍMICO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	60
3.3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO	66
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
3.5 MOMENTO PRÉ-EXPERIMENTO	69
3.6 MOMENTO PÓS-EXPERIMENTO	73
3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

**CAPÍTULO 4 – ARTIGO 2: EVIDÊNCIAS DO PENSAMENTO QUÍMICO
MANIFESTADAS POR LICENCIANDOS EM UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL**

.....	89
INTRODUÇÃO	90
4.1 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO QUÍMICO.....	91
4.2 EXPERIMENTAÇÃO E O PENSAMENTO QUÍMICO.....	95
4.3 CONTEXTO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	97
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
REFERÊNCIAS.....	116

**CAPÍTULO 5 – ARTIGO 3: EXPERIMENTAÇÃO NA FORMAÇÃO INICIAL:
ASPECTOS INVESTIGATIVOS E EVIDÊNCIAS DO PENSAMENTO QUÍMICO .119**

INTRODUÇÃO	120
5.1 A NATUREZA E O PENSAMENTO QUÍMICO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES	121
5.2 ATIVIDADE EXPERIMENTAL E A FORMAÇÃO INICIAL	124
5.3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO.....	126
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	128
CONSIDERAÇÕES FINAIS	135
REFERÊNCIAS.....	136

**CAPÍTULO 6 – ARTIGO 4: PENSAMENTO QUÍMICO E AS HABILIDADES
COGNITIVAS DE ESTUDANTES EM AULAS EXPERIMENTAIS139**

INTRODUÇÃO	140
6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO QUÍMICO E OS NÍVEIS DE HABILIDADES COGNITIVAS.....	141
6.2 MODELOS DE ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO.....	149
6.3 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS	154
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	156
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	172

REFERÊNCIAS.....	173
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	178
REFERÊNCIAS	186

APRESENTAÇÃO

Nesta seção, escrevo em primeira pessoa e recorro a uma linguagem mais coloquial com o intuito de apresentar um breve relato da minha trajetória pessoal e acadêmica.

Minha jornada acadêmica começou há 10 anos, quando, com apenas 17 anos, ingressei no curso integral de Química Bacharelado na UEL (Universidade Estadual de Londrina). Ainda jovem e sem muita ideia de tudo que viria pela frente, não sabia ao certo o que queria da vida.

Se eu dissesse que cursar Química Bacharelado sempre foi meu sonho, estaria mentindo. Optei pelo curso pois via uma ampla possibilidade profissional. Inicialmente, meu desejo era seguir na área industrial para trabalhar em laboratórios de análises químicas e da minha boca sempre saía a seguinte frase: eu jamais pisarei em uma sala de aula como professora.

Minha relação com a Química foi de amor e ódio. Estudei muito durante os 4 anos do curso, me dediquei, sempre tive notas excelentes, mas não sentia que havia encontrado minha verdadeira paixão profissional. Inúmeras vezes pensei em desistir do curso, mas minha família sempre me incentivava a continuar.

Durante a graduação, especificamente no segundo ano do curso, iniciei também a habilitação em licenciatura. Sendo bem sincera, algumas das disciplinas inicialmente cursadas não me motivaram a mudar de ideia, pois não era a área que queria seguir.

Em fevereiro de 2017, me formei como Bacharel em Química e ingressei no curso de mestrado em Química também na UEL. Meu mestrado teve foco na área de Química Analítica, e meu projeto se baseava no desenvolvimento de um polímero para ser empregado em um método de pré-concentração de metais e detecção pela absorção atômica.

O mestrado foi um período muito conturbado. Eu não tinha paixão pela minha pesquisa e tinha certeza de que não era aquilo que queria fazer ao longo da minha vida profissional. Entretanto, mais uma vez tive o incentivo de minha família para finalizá-lo.

Durante o mestrado, continuei com as disciplinas da licenciatura a fim de concluir a habilitação. Ainda faltavam algumas disciplinas, como a de Experimentação para o Ensino de Química e os Estágios Supervisionados a serem realizados nas escolas da Educação Básica.

Quando cursei essas disciplinas, meu olhar para o ensino, para a docência e para as pesquisas nesta área de conhecimento mudaram completamente. Foi nesse momento que, pela primeira vez, me senti realizada no curso que escolhi. Foi a primeira vez que consegui

enxergar como minha profissão e minhas futuras pesquisas poderiam impactar a vida de outros professores e alunos da Educação Básica. Foi apaixonante e gratificante.

Nesse período, tive professoras que marcaram minha formação e que me inspiraram profissionalmente. Elas me incentivaram a publicar minha sequência didática¹, realizada durante um dos estágios supervisionados em um congresso da área de Ensino no qual pude conhecer mais sobre pesquisas nessa área, algo que reforçou o meu desejo de seguir nesse caminho.

Em 2019, me inscrevi na seleção para o curso de doutorado no PECEM (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática) da Universidade Estadual de Londrina. Para minha alegria, fui aprovada na seleção e em 2020 iniciei o curso.

Durante o doutorado, tive o prazer de ser orientada pela professora Fabiele Broietti, uma pessoa essencial em todo esse meu processo de investigação que me ensinou muito durante toda a minha trajetória de pesquisadora na área de Ensino.

Apesar de ter “migrado” para a área de Ensino, sempre apreciei os conteúdos Químicos e não queria me afastar dos conceitos científicos durante a minha pesquisa. Dessa forma, a professora Fabiele sugeriu o tema dessa tese – estudar o Pensamento Químico no contexto de aulas experimentais. Ao longo do doutorado, me envolvi em vários projetos e recebi a proposta de realizar essa tese no formato *multipaper*, o que acredito ter contribuído muito para a minha aprendizagem docente e como pesquisadora.

Em 2023, comecei a ministrar aulas de Química como professora colaboradora para estudantes do Ensino Médio de escolas públicas de Londrina, outro marco na minha trajetória profissional, confirmando meu interesse pela docência. Paralelamente, desenvolvi um trabalho nas redes sociais que também se tornou importante para minha carreira, alcançando milhões de pessoas e mostrando meu amor pela Química e pela docência e inspirando outros professores a repensarem suas ações em sala de aula.

Finalizo minha apresentação ressaltando minha realização enquanto profissional da área de Ensino de Química. Nas próximas seções, descreverei a investigação realizada nos últimos quatro anos do doutorado.

¹ Segundo Zabala (1998), a Sequência Didática é um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos.

INTRODUÇÃO

Na literatura internacional, o conceito de Chemical Thinking está consideravelmente mais consolidado do que o termo Pensamento Químico na literatura brasileira. Isso fica evidente ao conduzirmos uma pesquisa nos bancos de dados do Periódico CAPES² e do Google Scholar³. Notamos que o termo Chemical Thinking é mencionado em 87 artigos na plataforma Periódicos Capes e em 2030 artigos no Google Scholar. Em contrapartida, a expressão Pensamento Químico aparece apenas em 8 artigos na primeira plataforma e em 887 artigos na segunda. Além disso, cabe salientar que na literatura nacional o termo Pensamento Químico apresenta diversos e rasos entendimentos sobre a expressão, como será evidenciado no decorrer do texto.

Ao analisarmos a literatura internacional, o autor Vicente Talanquer se destaca como um pesquisador que tem investigado sobre o tema, visto o registro de 118 artigos publicados nas plataformas mencionadas. Em colaboração com outros pesquisadores, Talanquer desenvolveu um currículo para um curso introdutório de Química na Universidade do Arizona fundamentado nos princípios do Chemical Thinking, um conceito minuciosamente definido e elaborado pelos próprios autores. Ao longo desta tese, apresentaremos a estruturação do Chemical Thinking com base nas contribuições dos pesquisadores mencionados.

No entanto, ao examinarmos os artigos na literatura nacional, torna-se evidente a ausência de uma definição e de uma estruturação clara para o termo Pensamento Químico, sendo muitas vezes empregado trivialmente como sinônimo de pensar sobre a Química. A seguir, descrevemos exemplos de artigos que empregam o termo Pensamento Químico disponíveis na plataforma Periódicos CAPES.

Em alguns desses estudos, notamos que a expressão Pensamento Químico é usada para se referir aos níveis descritos no triângulo de Johnstone (macroscópico, submicroscópico e simbólico), como ilustrado no trecho do trabalho de Rezende e Silva (2021) a seguir:

Desse modo, esta pesquisa buscou avaliar e compreender as representações contidas em cinco roteiros [experimentais] e a relação da representação ou do roteiro com os níveis do Pensamento Químico proposto por Johnstone (REZENDE; SILVA, 2021, p.46, inserção nossa).

Aqui, os autores exploram como os alunos estabelecem relações e conexões entre os fenômenos nos três níveis do Pensamento Químico proposto por Johnstone.

² <https://www.periodicos.capes.gov.br/>

³ <https://scholar.google.com.br/>

Pereira, Curado e Benide (2021) apresentam o termo Pensamento Químico apenas uma vez em um artigo, mencionando:

Nossos resultados também mostraram que as escolhas léxico-semânticas do TILS [Tradutores Intérpretes de Libras/Língua Portuguesa] no processo de intermediação podem tanto auxiliar, quanto atrapalhar o acesso e desenvolvimento de um Pensamento Químico por parte dos alunos surdos (CURADO; BENIDE, 2021, p.1, inserção nossa).

Como podemos observar, o termo Pensamento Químico é utilizado como sinônimo de pensar sobre a Química, entretanto sem uma estruturação definida ou ainda uma conceituação clara da expressão. Isso pode ser evidenciado também no artigo publicado por Dotti (2018):

Para este estudo foi escolhida uma analogia referente ao equilíbrio químico, onde professor e aluno trocam canetas a fim de demonstrar a definição de Equilíbrio Químico mostrando suas propriedades e suas deficiências e as suas eventuais possibilidades de colaboração que ela pode contribuir para a construção do Pensamento Químico do aluno (DOTTI, 2018, p.141).

No artigo de Wenzel (2018), o autor estabelece um critério para definir a formação do Pensamento Químico dos alunos, que consiste na capacidade destes de correlacionar palavras, símbolos e equações específicas da Química para explicar fenômenos particulares.

Dessa forma, um estudante que consegue relacionar corretamente as palavras/símbolos/equações específicas da química para explicar um determinado fenômeno apresenta indícios da formação do Pensamento Químico, pois, nessa situação, o seu uso não foi apenas de forma mecânica ou inconsciente, mas desencadeou a capacidade de realizar diferentes relações conceituais, o que, por sua vez, remete para a significação e para a formação do pensamento conceitual (WENZEL, 2018, p.235).

Com base nessa análise preliminar, torna-se evidente que a expressão Pensamento Químico ainda carece de um aprofundamento teórico-metodológico na literatura nacional. Há lacunas de referenciais que discutam a compreensão do termo de forma mais detalhada, bem como de instrumentos analíticos que nos permitam identificar evidências do Pensamento Químico dos estudantes/professores e de estratégias para desenvolvê-lo por meio de atividades educacionais.

Nesta pesquisa de doutorado, nosso objetivo principal foi ampliar as discussões a respeito do Pensamento Químico na literatura brasileira e buscar evidências dele manifestadas por estudantes de licenciatura em Química durante aulas experimentais.

Partimos de microquestões ou objetivos específicos abordados nos artigos que compõem esta tese. No primeiro artigo, a questão proposta foi: como propor aulas experimentais remotamente que priorizem o caráter investigativo e permitam aos licenciandos fazer uso do Pensamento Químico? No segundo artigo, buscamos: i) evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestados por estudantes em aulas experimentais; ii) definir características das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico para a atividade experimental em questão. No terceiro artigo, analisamos roteiros de aulas experimentais elaboradas por licenciandos em Química ao longo de uma disciplina a fim de buscar indícios que caracterizem uma atividade experimental de natureza investigativa e se esta possibilita o desenvolvimento do Pensamento Químico. No quarto artigo, analisamos os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao participarem de aulas experimentais. Investigamos também se os níveis estão relacionados às Variáveis de Progresso do Pensamento Químico.

Com base nos resultados obtidos, buscamos responder à questão central desta tese: como elaborar e avaliar aulas experimentais remotas com foco investigativo visando promover o desenvolvimento do Pensamento Químico em licenciandos e sua relação com as habilidades cognitivas?

Essa questão engloba os elementos essenciais dos quatro artigos, concentrando-se na proposição e na implementação de aulas remotas experimentais com ênfase investigativa e buscando analisar aspectos do Pensamento Químico e as habilidades cognitivas dos participantes nestas aulas.

Utilizamos a disciplina de experimentação para o ensino de Química como ambiente para coletar nossos dados. Na sequência, apresentamos a estrutura do texto da tese sucintamente, proporcionando uma visão geral do processo investigativo para o leitor poder compreender sua organização completa.

No Capítulo 1, apresentamos os referenciais teóricos que fundamentaram a construção dos conhecimentos sobre o tema: a Natureza da Química; o Pensamento Químico; a Atividade Experimental no Ensino de Química; os Níveis de Habilidades Cognitivas e os Modelos de Estruturação do Pensamento Químico.

No Capítulo 2, abordamos o referencial metodológico, no qual discutimos o contexto pandêmico em que a pesquisa foi desenvolvida. Além disso, esclarecemos o objetivo e as questões de pesquisa da tese, bem como as questões ou os objetivos específicos de cada um dos artigos que a compõem. Neste tópico, também dissertamos sobre as bases metodológicas que nos orientaram ao longo da pesquisa, abordando os seguintes pontos: a natureza da

pesquisa, a Análise de Conteúdo, a coleta de dados, o processo de categorização e os sujeitos envolvidos na investigação. Por fim, apresentamos os referenciais teóricos referentes à organização deste estudo no formato *multipaper*.

Os Capítulos 3, 4, 5 e 6 apresentam, sequencialmente, os quatro artigos propostos e elaborados até o momento para compor esta tese. O propósito comum desses artigos foi aprofundar a compreensão do conceito do Pensamento Químico e desenvolvê-lo no contexto de atividades experimentais.

Nas considerações finais, retomamos a questão central da tese e buscamos respondê-la com base em todo o processo investigativo. Além disso, apontamos algumas limitações e novos horizontes investigativos.

CAPÍTULO 1: REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, apresentamos os referenciais teóricos que fundamentaram esta pesquisa — abrangendo inclusive os aportes teóricos dos artigos que compuseram esta tese. Também forneceremos uma breve exposição dos referenciais teóricos que adotamos no desenvolvimento deste estudo e discorreremos acerca da Natureza da Química, do Pensamento Químico, da Experimentação no Ensino de Química, dos Níveis de Habilidades Cognitivas e dos Modelos de Estruturação do Conhecimento Químico.

1.1 NATUREZA DA QUÍMICA

A Química é uma disciplina científica que explora a essência da matéria e transformações desta, assim como a energia relacionada a esses processos. Tal estudo proporciona uma compreensão mais ampla do mundo e dos fenômenos que impactam a vida humana. Um exemplo notável desses avanços é a contribuição da Química no desenvolvimento de tratamentos médicos para doenças. Além disso, a Química desempenha um papel essencial em diversas áreas da pesquisa científica, abrangendo disciplinas como Biologia, Geologia, Física e Engenharias (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2008; SANTOS, 2011).

Dentre os benefícios das aplicações da Química em nossa rotina, destacamos o aumento da eficiência energética devido às pesquisas em desenvolvimento de combustíveis, o aumento da produtividade agrícola e a previsão de aumento de mais de 60% na expectativa de vida da população global entre 1950 e 2050. Ademais, houve progressos na Medicina com o desenvolvimento de técnicas de diagnóstico, cirurgia e medicamentos, como apontam Brown, Lemay e Bursten (2008) e Santos (2011).

A Química apresenta uma natureza tanto científica quanto tecnológica. Ou seja, essa Ciência tem focado a busca do conhecimento científico para alcançar os objetivos tecnológicos orientados pelas necessidades e pelas condições humanas (CHAMIZO, 2013; HIRAYAMA; PORTO, 2021; SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2018).

Os químicos não estão interessados apenas em prever e compreender as propriedades das diferentes substâncias: o trabalho destes profissionais vai muito além, dedicando-se a investigar, projetar e controlar as propriedades dos materiais e as transformações destes visando aos potenciais propósitos para a sociedade (IZQUIERDO-AYMERICH, 2013; TALANQUER, 2013).

Compreendemos, dessa forma, que o Ensino de Química, além do viés científico e tecnológico, apresenta dimensões sociais, políticas e econômicas, podendo levar a reflexões fundamentais a respeito das relações entre ciência e sociedade. Torna-se importante, portanto, compreender os pensamentos e as ações que estão envolvidos no trabalho desenvolvido pelos químicos, bem como as aplicações para a sociedade.

Contudo, a Química é considerada uma disciplina difícil pelos estudantes, os quais enfrentam dificuldades na abstração dos conceitos, bem como na elaboração e na compreensão de modelos científicos, resultando no surgimento de concepções alternativas. Barbosa e Aires (2017) abordam que, durante o século XX, prevaleceu a ideia de que todo o conhecimento químico poderia ser reduzido a leis e princípios de Física. Essa concepção levou à sobrevalorização de modelos e algoritmos quantitativos para resolver problemas e construir explicações, negligenciando formas qualitativas de pensar nesta disciplina.

Essa perspectiva ainda influencia o Ensino de Química atualmente, uma vez que pesquisas mostram que o ensino geralmente é estruturado com um currículo que apresenta a disciplina como um conjunto de tópicos isolados, promovendo atividades memorísticas e, não raro, usando fórmulas e conhecimentos que limitam a aprendizagem dos estudantes, além de deixar de lado aspectos tecnológicos, sociais, econômicos e ambientais (SILVA *et al.*, 2018; TALANQUER; POLLARD, 2010; TALANQUER, 2013).

Tais abordagens falham ao envolver os estudantes de maneira crítica em preocupações químicas relevantes. O estudo da Química deve transcender a simples resolução de problemas numéricos e a compreensão de modelos científicos: deve possibilitar que o estudante desenvolva uma visão crítica do mundo, conseguindo analisar, compreender e, principalmente, mobilizar o conhecimento químico para a resolução de problemas sociais atuais e relevantes para a sociedade (SANTOS *et al.*, 2013; ZUCCO, 2011).

Nesse sentido, concordamos com Talanquer (2013) ao afirmar que o objetivo central da aprendizagem em Química poderia ser compreender esta ciência como um modo específico de interagir com a natureza. Sob essa perspectiva, o Ensino de Química poderia ser mais direcionado para a reflexão sobre as maneiras pelas quais a Química permite aos humanos interagir com seu ambiente e suas possíveis implicações (BARBOSA; AIRES, 2017; TALANQUER, 2013).

Segundo Talanquer e Pollard (2010), uma alternativa a esse currículo organizado em tópicos seria a elaboração de um currículo focado em como os químicos “pensam” e em como as formas químicas de raciocínio podem ser usadas para resolver problemas significativos e realistas em diversas áreas.

Por mais que não se dediquem profissionalmente à Química, todos os indivíduos, em algum momento de suas vidas, precisarão tomar decisões que envolvam conceitos químicos ou formas de raciocínio químico. Por exemplo, para saber como descartar determinado resíduo ou saber como preservar um alimento por mais tempo. Nesse contexto, compreender as ideias e as práticas fundamentais do Pensamento Químico torna-se essencial. Defendemos, portanto, uma educação em Química que não se restrinja ao conhecimento do conteúdo químico, mas que também englobe o entendimento sobre a natureza da Química e o papel desta na sociedade.

1.2 PENSAMENTO QUÍMICO

Segundo Talanquer (2013), o currículo e as práticas educacionais devem considerar os modos característicos de pensar e fazer Química para que, assim, o estudante desenvolva as habilidades de avaliar e reconhecer os impactos políticos, econômicos, ambientais e sociais decorrentes da produção e do consumo dos produtos tecnológicos da Química.

O Pensamento Químico engloba uma série de habilidades, como analisar, discutir, refletir e propor explicações e soluções razoáveis para problemas e fenômenos relevantes (TALANQUER, 2019). Em outras palavras, trata-se de um modo de pensar acerca de 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.

O relatório do National Research Council (NRC) *Beyond the Molecular Frontier* (2003) evidencia que o pensamento e as práticas químicas podem nos ajudar a resolver muitos dos problemas que enfrentaremos nos próximos anos. Talanquer e Polard (2010) mencionam que, conforme o NRC (2003), o currículo da Química deve oferecer oportunidades para 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 desenvolvidas para encontrar essas respostas;
- c) aplicar essas ideias e técnicas na investigação de problemas relevantes (TALANQUER; POLARD, 2010, p. 76).

Com essas questões e objetivos amplos em mente, Talanquer e Pollard (2010) desenvolveram e iniciaram a implementação de um currículo para o curso introdutório de Química para graduandos em Ciências e Engenharia na Universidade do Arizona, nos Estados

Unidos, visando ao desenvolvimento do Pensamento Químico. O currículo tinha como objetivo conectar as ideias centrais entre as unidades do curso seguindo progressões de aprendizagem⁴ bem definidas; apresentar aos estudantes formas modernas de pensamento e resolução de problemas em Química; e envolvê-los em atividades realistas de tomada de decisão e solução de problemas (SEVIAN; TALANQUER, 2014; TALANQUER; POLLARD, 2010).

O currículo do Pensamento Químico é fundamentado em seis Conceitos Disciplinares Transversais (CDT), os quais perpassam toda a Química, sendo essenciais para a compreensão de conteúdos químicos e para a realização de atividades práticas da Química (SEVIAN; TALANQUER, 2014). Tais conceitos podem ser observados no Quadro 1.

Quadro 1 - Conceitos Disciplinares e suas questões centrais.

Conceitos Disciplinares Transversais	Questão central
Identidade química	O que é esta substância?
Relações estrutura–propriedades	Quais propriedades esta substância possui?
Causalidade química	O que faz com que esta substância mude?
Mecanismo químico	Como essa substância muda?
Controle químico	Como podemos controlar a mudança?
Benefícios-custos-riscos	Quais são as consequências de mudar a matéria?

Fonte: adaptado e traduzido de BANKS *et al.* (2015, p.B).

A cada conceito disciplinar transversal associa-se uma questão central que auxilia os estudantes a desenvolverem seus entendimentos, práticas e formas de raciocínio para compreender fenômenos químicos e/ou situações de diferentes áreas ao longo de suas vidas. As questões assumem diferentes formas de acordo com o contexto em que são utilizadas. Por exemplo, para a questão “Como essa substância muda?” (mecanismos químicos), podemos propor questões de importância na Medicina, como: “Como esse remédio age no organismo?”. Nas Ciências Ambientais, as perguntas podem assumir a seguinte forma: “Como se forma a chuva ácida?”. Na Engenharia, a questão pode ser: “Como ocorre o processo de enrijecimento do cimento?” (TALANQUER, 2020).

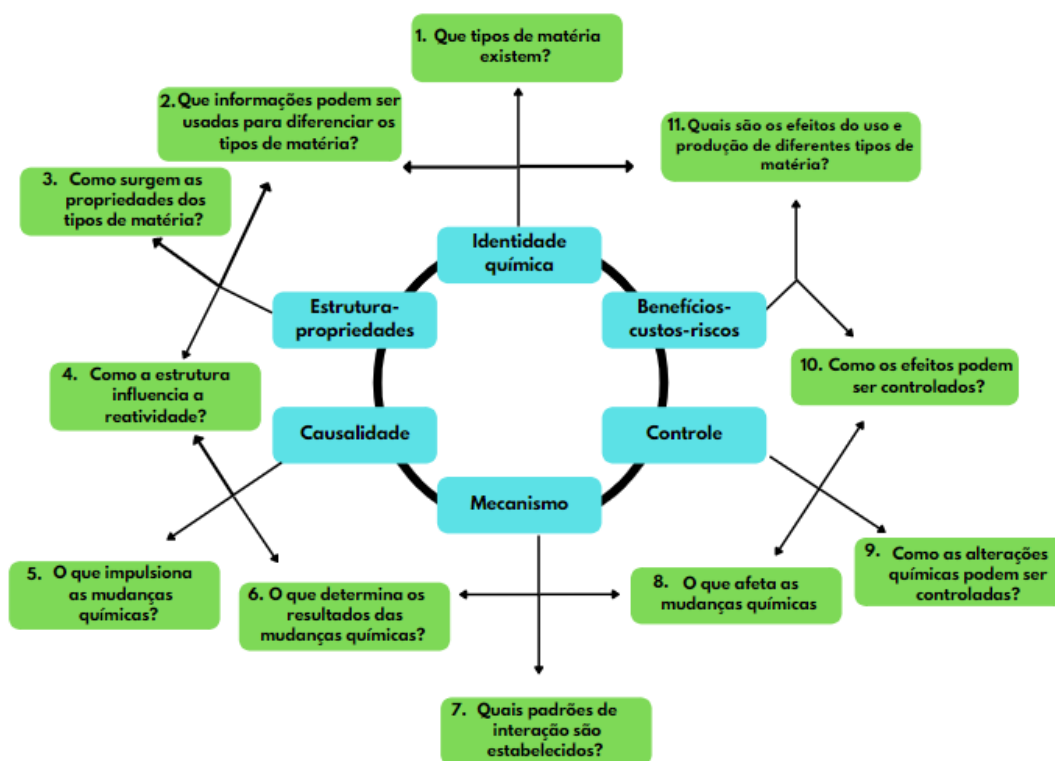
Embora as respostas específicas para todas essas perguntas difiram de uma situação para outra, existem ideias comuns da Química e formas de pensar que facilitam encontrar as respostas. Por exemplo, para as questões apresentadas no parágrafo anterior, o eixo comum é o raciocínio acerca dos mecanismos químicos (TALANQUER, 2020).

⁴ As progressões de aprendizagem se referem a níveis de sofisticação e complexidade no conhecimento e raciocínio dos alunos em um determinado domínio, descrevendo maneiras sucessivamente mais sofisticadas de pensar sobre um tópico (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

A Química é uma ciência que se encontra difundida nas mais diversas profissões. Dessa forma, mesmo que muitos estudantes não tenham a pretensão de seguir na carreira como químicos, em algum momento podem se deparar com uma situação em que o raciocínio químico seja fundamental, evidenciando a importância do conhecimento dos principais conceitos disciplinares da Química.

Desses conceitos transversais derivam questões mais específicas denominadas por Variáveis de Progresso⁵ (VPs) do Pensamento Químico. Trata-se de questões centrais que os cientistas procuram responder quando praticam Química, sendo essenciais no trabalho de cientistas e químicos à medida que analisam materiais, sintetizam substâncias ou transformam a matéria (BANKS *et al.*, 2015). Entendemos essas 11 VPs como lentes para evidenciar o Pensamento Químico. A Figura 1 apresenta as 11 Variáveis de Progresso do Pensamento Químico e uma descrição geral de cada uma delas.

Figura 1 - Relação entre conceitos transversais e Variáveis de Progresso. (Adaptado e traduzido de Sevirian; Talanquer, (2014).



Fonte: Almeida e Broietti (2023, p.5).

A partir da Figura 1, observamos que um mesmo conceito disciplinar transversal (em azul) pode se associar a mais de uma Variável de Progresso (em verde), da mesma forma que

⁵ São perguntas mais específicas pelas quais se espera que o aprendizado do aluno progrida.

uma Variável de Progresso também pode estar relacionada a mais de um conceito disciplinar transversal. As relações estabelecidas são indicadas na figura pelas setas. Por exemplo, o conceito disciplinar transversal mecanismo está relacionado à VP6 (O que determina o resultado das mudanças Químicas?), à VP7 (Quais padrões de interações são estabelecidos?) e à VP8 (O que afeta as mudanças Químicas?), enquanto a VP6 também se liga ao conceito disciplinar transversal de causalidade, e a VP8 se relaciona ao controle. A seguir, descreveremos cada Variável de Progresso visando a uma maior compreensão.

A VP1 se refere à identificação e à classificação dos diferentes tipos de matéria. Classificar a identidade química de um material é importante para explicar e prever suas propriedades. Por exemplo, classificar um material como metal sugere que ele seja um bom condutor de eletricidade e calor. Identificar materiais como recicláveis pode auxiliar na separação de resíduos domésticos (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

A VP2 trata da diferenciação de materiais com base em suas propriedades. Toda substância química possui pelo menos uma propriedade específica que a distingue das demais, como temperatura de ebulição, fusão ou densidade. A VP3 indaga como essas propriedades surgem analisando não apenas o nível macroscópico, mas também o microscópico das estruturas (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

A VP4 estabelece a conexão entre estrutura química e comportamento explorando como a composição atômica/molecular e/ou estrutural influenciam as interações entre substâncias para se transformarem em outras. A VP5 questiona por que os processos químicos ocorrem e como começam examinando os fatores que influenciam as reações químicas. A VP6 aborda os diferentes mecanismos de reação e os fatores que influenciam os resultados. A VP7 investiga os padrões de interação no sistema, os quais permitem classificar as reações químicas em grupos para facilitar a previsão, a explicação e o controle (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

A VP8 identifica fatores internos e externos que afetam os processos químicos. Entender esses fatores e seus efeitos nas reações é essencial para projetar e controlar processos químicos específicos. A VP9 se aprofunda na compreensão dos fatores que afetam o sistema químico e como eles o influenciam, permitindo o controle das alterações químicas nos sistemas reacionais. A VP10 aborda a tomada de decisão sobre fatores que podem ser modificados e controlados para maximizar benefícios e minimizar custos e riscos. Por fim, a VP11 investiga os efeitos do uso e da produção de diferentes matérias, associando identidades químicas a impactos sociais, econômicos e ambientais (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

As leituras e as reflexões realizadas nos permitem compreender o Pensamento Químico como um modo de os estudantes mobilizarem seus conhecimentos químicos para analisar, discutir, refletir e propor explicações a diversos problemas. Dessa forma, as VPs podem ser vistas como indicadores do Pensamento Químico, uma vez que abordam questões essenciais que auxiliam os estudantes a compreender fenômenos em diversas áreas.

O conceito de Pensamento Químico, como mencionado na seção introdutória da tese, tem sido tema de investigações internacionais por alguns autores (BANKS *et al.*, 2015; CULLIPHER *et al.*, 2015; STAMMES *et al.*, 2021; WEINRICH; TALANQUER, 2015; YAN; TALANQUER, 2015), demonstrando a relevância para discussões no campo do Ensino de Química.

No contexto internacional, identificamos pesquisas que utilizam aspectos do Pensamento Químico para investigar o raciocínio dos alunos sobre causalidade e mecanismo de reações químicas (WEINRICH; TALANQUER, 2015; YAN; TALANQUER, 2015); para examinar o raciocínio aplicado por indivíduos em diferentes níveis de formação em Química ao envolver-se em uma tarefa que requer a avaliação de benefícios, custos e riscos do uso de diferentes substâncias químicas (CULLIPHER *et al.*, 2015); para explorar a capacidade dos alunos de tomar decisões sobre as consequências do uso e da produção de produtos químicos, avaliando e explicando qual seria o melhor combustível para mover um veículo pequeno (BANKS *et al.* 2015); e, por fim, para investigar a percepção dos professores sobre o Pensamento Químico dos alunos ao planejar e desenvolver projetos (STAMMES *et al.*, 2021). A seguir, discutiremos sobre a experimentação no ensino de Química.

1.3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

Por mais que muitos professores acreditem no potencial educativo da experimentação para o ensino e a aprendizagem dos conteúdos científicos, as atividades experimentais ainda são pouco frequentes nas escolas. Segundo Gonçalves (2005) e Covre e Broietti (2013), como justificativa para esse cenário, os professores apontam a inexistência de laboratórios ou, quando existem, são escassos os recursos. Outras razões incluem o pouco tempo disponível para o planejamento das aulas experimentais pelos professores e o elevado número de alunos por sala (ASSIS; LABURÚ; SALVADEGO, 2009; BORGES, 2002; SILVA; ZANON, 2000). Por outro lado, estudos indicam as potencialidades de experimentos que utilizam materiais de baixo custo ou até mesmo vídeos de experimentos científicos disponíveis gratuitamente *on-line* (SILVA *et al.*, 2017; ALMEIDA; BROIETTI, 2023).

Zimmer e colaboradores (2020) investigaram a perspectiva de alguns professores em relação à experimentação. O estudo revelou desafios na implementação regular de aulas experimentais de Química mesmo em escolas com laboratórios bem equipados. As professoras participantes da pesquisa identificaram dois obstáculos principais: a falta de um técnico de laboratório para auxiliar nas aulas práticas e a baixa carga horária da disciplina de Química, o que dificulta tornar as aulas mais atrativas.

Silva e Silva (2019) conduziram um trabalho no qual investigaram as percepções de licenciandos em Química sobre a função pedagógica da experimentação. Os resultados da pesquisa indicam que licenciandos no início de seus estudos tendem a adotar uma abordagem confirmatória da experimentação, enquanto aqueles com experiência em disciplinas pedagógicas de Química e na implementação de experimentos demonstram menos propensão a esse viés. Isso sugere que a estrutura curricular e os projetos de extensão e pesquisa podem influenciar essa mudança de concepção. O distanciamento desse viés confirmatório está relacionado a uma abordagem investigativa da experimentação baseada em seu potencial motivador, na promoção da aprendizagem conceitual por meio da articulação entre ideias e observação e na integração dos experimentos em uma abordagem pedagógica contextualizada.

Gonçalves *et al.* (2022) e Silva e Zanon (2000) abordam que muitos licenciandos e professores ainda mantêm visões simplistas sobre a experimentação. Os autores destacam que muitos docentes desconsideram a distinção entre os objetivos da experimentação no ensino de Ciências e na ciência propriamente dita. Enquanto os experimentos na pesquisa científica visam principalmente ao desenvolvimento de teorias, os experimentos no ensino têm objetivos pedagógicos, ou seja, ensinar ciência, ensinar sobre a ciência e ensinar como fazer ciência.

Nessa perspectiva, segundo Gonçalves *et al.* (2022), torna-se importante que os professores compreendam a diferença entre essas abordagens, uma vez que tal entendimento influenciará diretamente as propostas experimentais elaboradas pelos professores:

Ensinar sobre a Ciência – propiciar compreensão da natureza e métodos da Ciência e desenvolvimento de uma consciência das relações complexas entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente; **ensinar Ciência** –promover a aquisição e desenvolvimento de conhecimento conceitual; **ensinar a fazer Ciência** – propiciar a formação de competências para desenvolver atividades de pesquisa e resolução de problemas (GONÇALVES *et al.*, 2022, p.4, grifo nosso).

Neste trecho, Gonçalves *et al.* (2022) ressaltam a importância de os professores compreenderem e aplicarem distintos enfoques ao ensinar conteúdos científicos. Isso inclui

não apenas discutir informações conceituais, mas também promover a compreensão da natureza da ciência, as complexas relações com a tecnologia, a sociedade e o ambiente, além de capacitar os alunos a desenvolverem habilidades de pesquisa e resolução de problemas. Essa abordagem multifacetada pode enriquecer a educação em ciências, preparando os estudantes para uma compreensão mais profunda e ativa do mundo ao seu redor.

De acordo com Camillo e Graffunder (2021), as atividades experimentais podem ser facilitadoras para a compreensão do conhecimento. Mas como os professores poderiam usar experimentos para promover aprendizagem dos conceitos?

Na literatura da área, encontramos várias abordagens para as atividades experimentais, incluindo as demonstrativas, as de verificação e as por investigação. Portanto, é de suma importância que o professor conheça as características e as limitações das diferentes abordagens, visando potencializar suas aulas experimentais.

As atividades experimentais demonstrativas são aquelas nas quais os estudantes observam uma atividade experimental conduzida pelo professor. Essas práticas pedagógicas têm o propósito de elucidar certos aspectos dos tópicos discutidos em sala de aula, tornando-os mais acessíveis e compreensíveis para os estudantes. Contudo, é importante destacar algumas desvantagens associadas a essa abordagem: a mera observação do experimento pode diminuir o nível de motivação dos alunos, além de não existir a garantia de que todos os estudantes participarão ativamente da atividade (CUNHA; SILVA, 2023; FERREIRA; GOI; MEDEIROS, 2023).

As atividades experimentais de verificação pretendem confirmar ou validar leis e teorias específicas, apresentando caráter tecnicista. Nesse tipo de atividade, o aluno não possui um papel intelectualmente ativo, uma vez que é o professor quem identifica o problema, estabelece conexões com trabalhos anteriores e fornece instruções diretas. Além disso, uma vez que essa abordagem trabalha com resultados relativamente previsíveis, não estimula a curiosidade dos alunos (CUNHA; SILVA, 2023; FERREIRA; GOI; MEDEIROS, 2023).

Frequentemente encontramos as atividades experimentais sendo empregadas pelos professores com roteiros experimentais tecnicistas no estilo de “receitas”, em que os alunos seguem instruções sem refletir acerca do fenômeno investigado. No que tange às avaliações da aprendizagem ocorridas em aulas experimentais, muitas se concentram no conhecimento do conteúdo e na capacidade de executar técnicas específicas, sendo deixada de lado a compreensão dos alunos sobre as práticas dos cientistas e os objetivos das investigações laboratoriais (CAMEL *et al.*, 2019).

Segundo Camel *et al.*, (2019), embora aprender técnicas de laboratório de Química e compreender conceitos químicos por meio de atividades experimentais sejam objetivos importantes, é fundamental alcançar metas para além disso, proporcionando aos alunos a chance de participar de práticas científicas e de desenvolver habilidades essenciais, como a capacidade de avaliar dados e construir argumentos baseados em evidências.

Hodson (1988) aborda que atividades experimentais elaboradas para o ensino de Ciências não têm a função de desenvolver teorias científicas, mas de possibilitar que os estudantes utilizem as teorias para investigar fenômenos e propor soluções para as situações-problema. Dessa forma, pensando em atividades experimentais que possibilitam alcançar esses objetivos, destacamos as atividades experimentais investigativas, visto que estas apresentam como característica a possibilidade de o aluno participar de modo intelectualmente ativo durante todas as etapas, desde a interpretação do problema até a busca de uma possível solução (GALVÃO; ASSIS, 2019).

Segundo Suart e Marcondes (2009), o uso de atividades experimentais de natureza investigativa possibilita ao aluno exercer diversas habilidades cognitivas de alta ordem (*HOCS: Higher Order Cognitive Skills*), tais como reflexão, discussão, teste de hipóteses, resolução de problemas, propor explicações e elaboração de relatórios.

Atividades experimentais investigativas apresentam alguns elementos que permitem caracterizá-las de modo geral. Inicialmente, é apresentada aos estudantes uma situação-problema envolvendo fenômenos que façam parte do cotidiano deles. Vale ressaltar que o problema apresentado ao estudante não deve ser de difícil resolução para que ele não desista de resolvê-lo. Em um momento posterior, com base no problema e nas questões propostas, os estudantes formulam hipóteses e, em seguida, estas são debatidas em grupo. Por fim, a atividade experimental é executada e os dados são coletados (CALEFI; REIS; REZENDE, 2015; SUART, 2014).

Destacamos que, durante uma atividade experimental de caráter investigativo, cabe ao professor realizar a mediação durante todo o desenvolvimento da atividade. Contudo, como esperar que os professores desenvolvam atividades experimentais investigativas em suas aulas se, em muitos casos, eles não tiveram contato com atividades desse tipo durante a formação inicial?

Nesse sentido, concordamos com Borges (2002, p. 301) ao afirmar que “os licenciandos precisam exercitar o planejamento, a preparação e a execução de atividades mais abertas, se desejamos que eles venham a adotá-las em suas aulas no futuro”. Corroborando essa ideia, Ferreira e colaboradores (2022) também afirmam que:

Os licenciandos poderão vir a desenvolver atividades com esse enfoque [experimental] quando se tornarem professores, se durante o curso de licenciatura tiverem a oportunidade de conhecer e principalmente vivenciar maneiras diferentes de trabalhar temas de ensino (FERREIRA *et al.*, 2022, p. 5, inserção nossa).

Nesse sentido, destacamos a importância de abordar e discutir o tema na formação inicial de professores de Química a fim de superar a visão simplista de experimentação que ainda predomina entre os professores de Ciências.

Por fim, é relevante salientar que as modalidades de atividades experimentais abrangem uma ampla gama de abordagens, sendo que algumas delas se destacam pela sua associação, como as atividades experimentais demonstrativas-investigativas, as quais proporcionam um ambiente propício para um maior desenvolvimento cognitivo ao desafiar os alunos a exercitarem as habilidades mentais. Nesse contexto, os alunos são incentivados a explorar, a investigar e a construir conhecimento de forma ativa e participativa.

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 e executados que visam não apenas demonstrar um conceito, mas também estimular a curiosidade e a investigação dos alunos. Destacamos essa associação entre as atividades experimentais demonstrativas e investigativas, visto que seguiremos essa abordagem ao longo do trabalho.

1.4 NÍVEIS DE HABILIDADES COGNITIVAS

Para resolver um mesmo problema, os alunos podem adotar diferentes estratégias ou ações, ou seja, recorrer a diferentes habilidades cognitivas. Alguns podem utilizar fórmulas para estabelecer relações, enquanto dão preferência ao raciocínio lógico. Uri Zoller tem contribuído para o enriquecimento do estudo das habilidades cognitivas. O autor defende que os objetivos desejados para os processos de ensino e de aprendizagem serão alcançados à medida que as habilidades cognitivas dos alunos se desenvolvem.

De acordo com Zoller (1993), existem três categorias para classificar os diferentes níveis de habilidades cognitivas que os alunos apresentam na resolução de problemas, as quais são designadas como Algorítmicas (ALG); Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (Lower Order Cognitive Skills – LOCS); e Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (Higher

Order Cognitive Skills – HOCS). As Habilidades Algorítmicas são comumente identificadas nos estágios iniciais das discussões sobre as atividades propostas e frequentemente percebidas como menos complexas quando comparadas às Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem. As LOCSs englobam habilidades como conhecer, recordar/relembrar a informação, aplicar conhecimento ou algoritmos memorizados em resolução de exercícios. Já a categoria de Habilidades Cognitivas de Alta Ordem inclui habilidades orientadas para a investigação, como a resolução de problemas, a tomada de decisões, o desenvolvimento do pensamento crítico e avaliativo.

Considerando as questões propostas aos estudantes em situações de ensino, estas também podem ser classificadas como de Alta Ordem Cognitiva (HOCS) quando englobam problemas que requerem para a solução a aplicação de conhecimento adicional, a realização de análises e avaliações e o estabelecimento de conexões. As questões de Baixa Ordem Cognitiva (LOCS) e Algorítmicas (ALG) são aquelas que exigem dos alunos apenas a lembrança de informações ou a aplicação de teorias e conhecimentos em situações familiares. Essas questões podem ser resolvidas por meio de processos algorítmicos ou pela aplicação e pela memorização de procedimentos. As questões ALG podem ser consideradas uma categoria única ou uma subcategoria das LOCS (SUART; MARCONDES, 2009).

Gabel e colaboradores (1984) abordam que algumas pesquisas indicam a tendência de os estudantes resolverem os problemas de Química usando apenas habilidades algorítmicas e não compreendem verdadeiramente os conceitos químicos.

Corroborando essa informação, podemos mencionar resultados da pesquisa de Zoller e colaboradores realizada em 2002. Os autores investigaram o desempenho dos estudantes universitários ao responderem questões dos três níveis de habilidades cognitivas (LOCS, HOCS e ALG). Os pesquisadores formularam seis perguntas respondidas por 97 estudantes de duas universidades em Israel. Entre eles, 14 foram selecionados para serem entrevistados sobre como resolveram as questões. Os autores constataram que os alunos apresentaram melhor desempenho nas perguntas classificadas como ALG. A explicação apresentada pelos autores é de que questões de HOCS são muito difíceis, exigindo dos estudantes habilidades mais complexas do que apenas memorização, habilidade requerida com frequência em questões ALG.

Zoller *et al.* (2002) argumentam que as estratégias de ensino e avaliação atualmente empregadas nas escolas não são suficientes para promover o desenvolvimento de Habilidades Cognitivas De Alta Ordem nos estudantes. Dessa forma, os autores recomendam realizar pesquisas para orientar o ensino no sentido de desenvolver essas habilidades, tais como

tomada de decisões, resolução de problemas e pensamento crítico.

Bagarukayo e Mbarika (2008) abordam que a aprendizagem na graduação tem sido alvo de críticas na literatura por não conseguir desenvolver HOCS para resolução de problemas e tomada de decisão na educação científica. Os autores ressaltam ainda que tal fato sugere a necessidade de novas abordagens para resolver esse dilema.

O desenvolvimento do Pensamento Crítico⁶ (PC) e da Resolução de Problemas⁷ (RP) desempenha um papel crucial na educação científica, frequentemente manifestando-se na formulação de perguntas e na tomada de decisões. As atividades experimentais, quando empregadas de maneira eficaz, oferecem um ambiente propício para o desenvolvimento das HOCS e para promover o pensamento crítico (ZOLLER; PUSHKIN, 2007).

No que se refere às atividades experimentais, também nos deparamos com tarefas que demandam diferentes níveis de habilidades cognitivas. As atividades experimentais tecnicistas, que recorrem a roteiros do tipo “receita”, nas quais os estudantes seguem um procedimento pré-definido e não discutem os dados coletados, são consideradas de baixa cognição e pouco proveitosas. Nesse tipo de prática, os alunos muitas vezes não compreendem a finalidade do experimento e não conseguem sintetizar o que foi proposto.

Por outro lado, em relação às atividades experimentais investigativas, defendidas nesta tese, tanto o professor quanto o aluno desempenham um papel fundamental no desenvolvimento e na execução do trabalho experimental. O professor deixa de ser o transmissor de conhecimentos e os alunos se tornam agentes ativos em sala de aula, agindo sobre seu próprio processo de pensamento, questionando, refletindo e participando do processo de construção do conhecimento.

Como exemplo de estudos que investigam as habilidades cognitivas em atividades experimentais, podemos citar o trabalho de Galvão e Assis (2019). Os autores desenvolveram uma atividade investigativa visando 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 durante uma sequência didática. A análise de dados indicou que a atividade favoreceu o desenvolvimento de Habilidades Cognitivas De Alta Ordem por parte dos alunos.

Ainda sobre atividades experimentais, mencionamos o estudo apresentado por Suart e Marcondes em 2009 no qual foram analisadas as habilidades cognitivas demonstradas por

⁶ O Pensamento Crítico é uma forma de pensamento racional, reflexivo, focado naquilo em que se deve acreditar ou fazer" (ENNIS, 1985, p. 46).

⁷ O ensino por Resolução de Problemas consiste em expor aos alunos situações que demandem uma postura ativa e um empenho em encontrar por si as respostas relacionadas ao tópico de estudo (BROIETTI *et al.*, 2021).

alunos do primeiro ano do Ensino Médio durante uma atividade experimental investigativa de Química. O objetivo da atividade era abordar o conceito de temperatura de ebulição. Analisou-se uma sequência de quatro aulas que se dividiram em três momentos: pré-laboratório, laboratório e pós-laboratório. No primeiro momento, foram realizados experimentos demonstrativos pela professora. No segundo momento, os alunos realizaram as atividades experimentais. No terceiro momento, houve discussão com toda a sala para a conceituação final.

Durante a análise dos dados, Suart e Marcondes (2009) utilizaram categorias adaptadas de Shepardson e Pizzini (1991), que investigaram o nível de complexidade cognitiva exigido pelas questões presentes em livros didáticos de Química do Ensino Médio para classificar as perguntas feitas pelo professor. Já para avaliar as respostas dos alunos, as autoras empregaram as definições de Zoller (1993).

Os resultados da pesquisa indicaram que os alunos se envolveram significativamente na atividade proposta e demonstraram Habilidades Cognitivas De Alta Ordem, como a capacidade de elaborar hipóteses. No entanto, a maioria das respostas foi classificada como tendo Habilidades Cognitivas De Baixa Ordem. As autoras explicam que isso pode ser devido à atividade ser pouco familiar aos alunos, exigindo mais esforço cognitivo em algumas etapas (SUART; MARCONDES, 2009).

Nesse sentido, investigar as habilidades cognitivas que os estudantes demonstram ao realizar atividades experimentais investigativas pode contribuir para uma reflexão sobre as potencialidades dessa abordagem.

1.5 MODELOS DE ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO

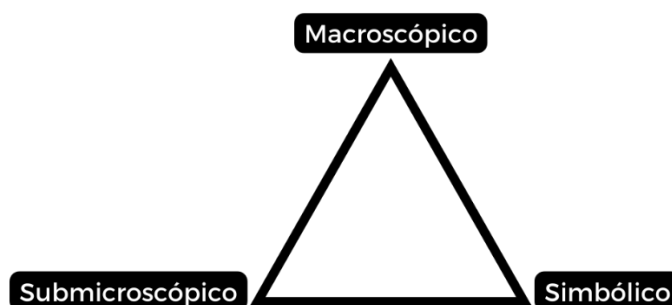
A ideia de que o conhecimento químico pode ser representado em três diferentes níveis (macroscópico, submicroscópico e simbólico) tornou-se paradigmática no ensino de Química. O modelo conhecido como triângulo de Johnstone, apresentado por Alex Johnstone em seu artigo *Macro and micro-chemistry* de 1982, é ainda muito utilizado e propagado pelos pesquisadores da área de Ensino de Química, além de servir como ideia central em várias pesquisas e projetos curriculares (OLIVEIRA; CANDITO; BRAIBANTE, 2021).

No entanto, o triângulo de Johnstone tem sido alvo de diferentes críticas, sendo possível encontrar na literatura proposições alternativas a esse modelo.

De acordo com Johnstone (1982), o nível macroscópico está relacionado ao tangível, no qual os fenômenos são experimentados, observados e descritos (JOHNSTONE, 1982). Os

autores Treagust, Chittleborough e Mamiala (2003) abordam que o nível macro engloba os fenômenos observáveis do dia a dia, como as mudanças na coloração e o aparecimento ou o desaparecimento de substâncias. O nível simbólico se refere à utilização de signos para representar e comunicar conceitos e ideias. Desta forma, está relacionado a fórmulas químicas, símbolos, equações, estequiometria e matemática (JOHNSTONE, 1993). Por fim, o nível submicroscópico está relacionado com o molecular e o atômico, em que os fenômenos são explicados (JOHNSTONE, 1993). A Figura 2 contempla a representação do modelo de Johnstone.

Figura 2 - O triângulo da Química de Johnstone



Fonte: adaptado de Johnstone (1993, 2000).

Amparado na psicologia de Ausubel, Johnstone (1993) defende a ideia de que, durante os processos de ensino e de aprendizagem em Química, o aluno deve se mover no interior do triângulo, passando pelos três vértices. Dessa forma, uma transformação Química pode ser explicada em cada um dos três componentes.

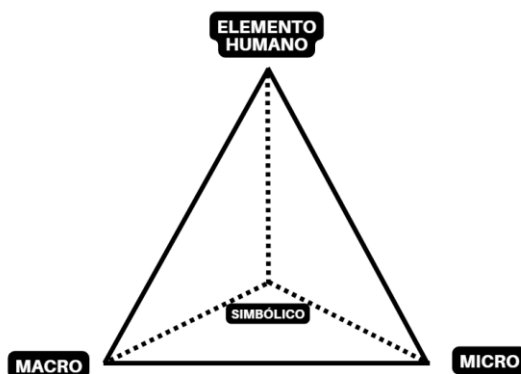
Entretanto, Johnstone (1993) e outros autores, como Gabel (1993), argumentam que a maioria das dificuldades de aprendizagem em Química se deve ao fato de que os métodos de ensino e aprendizagem são concentrados em apenas dois vértices do triângulo (macroscópico e simbólico), negligenciando aspectos mais estruturais (submicroscópico), o que impede que o estudante exerça sua habilidade de modelagem.

Os alunos tendem a explicar os fenômenos químicos no plano macroscópico, pois raramente possuem competências para compreender os fenômenos químicos em um nível que requer uma maior capacidade de abstração, como o nível submicroscópico (SILVA; NETO, 2021; WARTHA; REZENDE, 2011).

Partindo do modelo proposto por Johnstone, autores como Mahaffy (2006) e Talanquer (2011) elaboraram outros modelos a fim de enriquecer a discussão na literatura sobre o assunto. Em 2006, Mahaffy expandiu os elementos conceituais delineados por

Johnstone, introduzindo uma dimensão humana que enriqueceu o modelo original do triângulo, transformando-o em um tetraedro, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - O modelo de Mahaffy



Fonte: Adaptado de Ayres-Pereira *et al.*, (2019, p.51).

Para Mahaffy, a dimensão humana adicionada ao modelo implica a conexão pessoal do estudante com o conhecimento científico. Esse modelo amplia o entendimento de contextualização no ensino, explorando tópicos como a história e filosofia da ciência e da Química, os processos subjacentes à Química e a análise aprofundada dos fenômenos químicos, bem como a cultura química na comunidade.

Talanquer (2011) aborda que, por mais atraente que o modelo de Johnstone tenha sido para educadores químicos, é necessária uma maior discussão sobre o que os três principais componentes representam e abrangem. O autor ainda menciona que, analisando os próprios artigos publicados por Johnstone, percebe-se que ele se refere aos componentes do triângulo de várias maneiras: níveis de pensamento (JOHNSTONE, 1991), componentes ou modos (JOHNSTONE, 1993) e formas do assunto (JOHNSTONE, 2000). Gabel e colaboradores ainda utilizam termos como níveis de descrição (GABEL; SAMUEL; HUNN, 1987), níveis de ensino (GABEL, 1993) e níveis de representação (GABEL, 1999).

A partir dessas possíveis variações de termos e expressões e considerando que o termo níveis de representação se tornou dominante na literatura, Talanquer (2011) apresenta suas primeiras inquietações sobre o modelo:

Ora, 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, o autor aborda alguns artigos da literatura, buscando uma maior compreensão acerca dos vértices do triângulo. Destacamos algumas considerações interessantes abordadas pelo autor.

Em relação ao nível submicroscópico, é unânime o entendimento de que é importante distinguir os níveis de modelagem de partícula única e múltipla, uma vez que, apesar de as propriedades químicas serem compreendidas no nível de partícula única, muitas das propriedades físicas de substâncias macroscópicas, como densidade ou estado da matéria, só podem ser explicadas considerando mols de átomos ou moléculas.

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

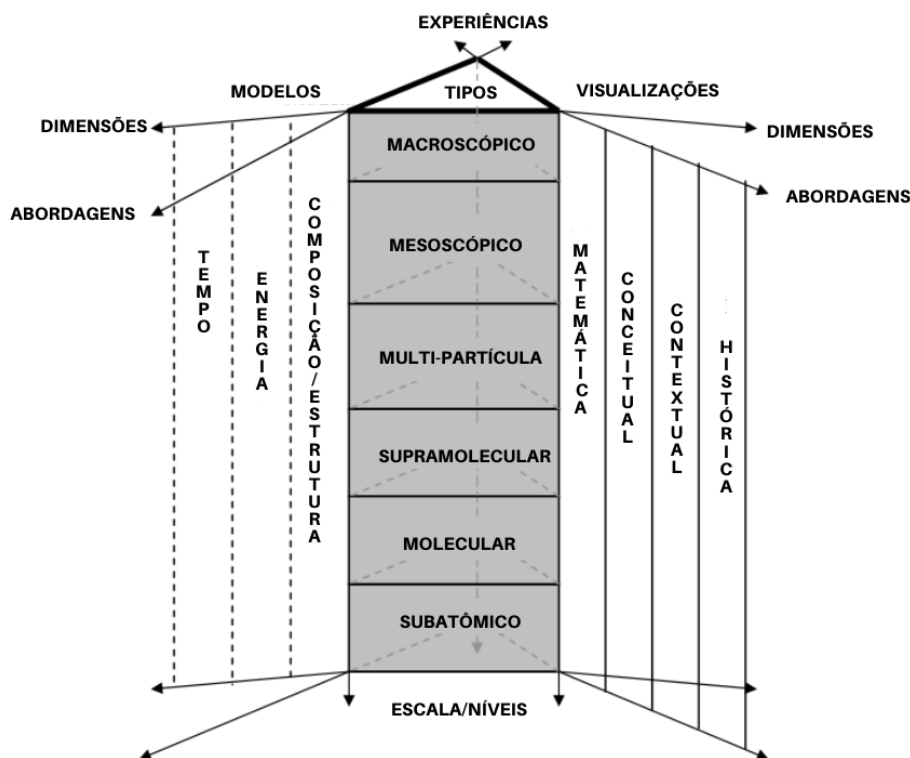
Observar e descrever que um balão incha quando aquecido não é o mesmo que caracterizar esse fenômeno como resultado de um aumento de temperatura que provocou o aumento da pressão interna do balão (TALANQUER, 2011, p.183, tradução nossa).

Dessa forma, o autor aborda que o nível macro seria melhor caracterizado como nível explicativo do que descritivo. O autor também menciona ser necessário muito cuidado ao afirmar que o nível macro é mais concreto, uma vez que muitos dos conceitos usados na Química para definir propriedades macroscópicas da matéria (como energia, entropia) são tão abstratos quanto o conceito de átomo e elétron. Segundo o autor:

Não usarei o termo “representação” para me referir a nenhum dos principais componentes do espaço do conhecimento porque, do meu ponto de vista, esse termo está mal definido na literatura sobre educação em Ciências. 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 (TALANQUER, 2011, p.187, tradução nossa).

Com base nessas discussões, Talanquer (2011) propõe um modelo, o qual chamou de espaço do conhecimento químico, representado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 - Modelo espaço do conhecimento químico



Fonte: Talanquer, (2011, tradução nossa, p.189).

Talanquer (2011) aborda que o conhecimento químico pode ser caracterizado em três categorias. A primeira, chamada de experiências, engloba nosso conhecimento descritivo e se refere ao nosso conhecimento empírico, que podemos relacionar com o nível macroscópico de acordo com o modelo de Johnstone (1993). A segunda, denominada modelos, compreende os modelos teóricos descritivos, explicativos e preditivos que os químicos desenvolveram para dar sentido ao mundo da experiência real. Relacionando com os níveis de Johnstone (1993), essa categoria pode-se relacionar com o microscópico. Para melhor diferenciar essas duas categorias, 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)

A terceira, chamada de visualizações, se refere aos símbolos e a fórmulas químicas, desenhos, equações matemáticas, gráficos, modelos físicos etc. usados para representar

visualmente os principais componentes do modelo teórico. Essa categoria, podemos relacionar com o representacional ou simbólico de Johnstone (1993).

Talanquer (2011) aborda que as escalas ou níveis relevantes na análise das propriedades de um sistema dependerão de sua natureza química. O autor menciona que as diferentes escalas que propõe 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, apresentada na Figura 4, são as dimensões. Segundo o autor, podemos olhar para determinado 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) também aborda que podemos adotar diferentes abordagens no ensino da Química. Dessa forma, podemos enfatizar a compreensão conceitual de ideias centrais em uma determinada área ou favorecer uma abordagem mais matemática. Também poderíamos usar questões pessoais e sociais relevantes para contextualizar a discussão de ideias.

Com base no modelo proposto por Talanquer (2011) e nos dados coletados nesta tese, elaboramos um modelo que representa a estruturação do Pensamento Químico, o qual reúne os referenciais explorados na tese com o intuito de integrar aspectos do Pensamento Químico e do conhecimento químico, além de considerar os níveis de habilidades cognitivas. Nosso objetivo é que o modelo proposto sirva como uma ferramenta para auxiliar os professores no processo de elaboração de atividades que promovam o desenvolvimento do Pensamento Químico dos estudantes. O modelo proposto de estruturação do Pensamento Químico está apresentado no Artigo 4, presente no capítulo 6 desta tese.

CAPÍTULO 2: REFERENCIAL METODOLÓGICO

Nesta seção, descrevemos os referenciais metodológicos que nos direcionaram durante a pesquisa. Primeiramente, abordaremos o cenário no qual a pesquisa foi desenvolvida. Na sequência, discutiremos a pesquisa qualitativa e a análise de conteúdo. Por fim, explicaremos a respeito da organização escolhida para o modelo da tese, o formato *multipaper*.

2.1 CENÁRIO DA PESQUISA: O ENSINO REMOTO

A presente pesquisa foi iniciada em 2020, um ano marcado por um cenário mundial atípico. Em dezembro de 2019, um novo coronavírus denominado SARS-CoV2 foi identificado na China. Devido à rápida propagação, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou, em março de 2020, o estado de pandemia devido à contaminação. O isolamento social foi uma das principais medidas recomendadas para controlar a disseminação do vírus. No entanto, esse isolamento teve impactos em diversas áreas da sociedade, incluindo os setores econômico, educacional, político e social (ALONSO-LANA *et al.*, 2020; REGUEIRO *et al.*, 2020; WHO, 2020).

No contexto educacional, a pandemia resultou na suspensão das atividades letivas presenciais em todos os níveis de ensino. Visando mitigar os prejuízos causados à aprendizagem e à formação dos alunos pela suspensão das atividades, o Ministério da Educação (MEC) publicou, em março de 2020, a Portaria n.º 343, uma medida que autorizava a substituição das disciplinas presenciais por aulas que pudessem ser realizadas utilizando Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) (BRASIL, 2020). Foi um período desafiador tanto para as instituições quanto para professores e alunos, sendo necessário se reinventar para dar continuidade às atividades.

O ensino remoto foi adotado em todos os níveis educacionais, desde os cursos dos anos iniciais até os cursos de pós-graduação. Essa modalidade de ensino exigiu dos professores e dos estudantes a imersão em um sistema completamente *on-line* no qual passaram a ser ministradas aulas, compartilhados materiais didáticos, realizadas avaliações, pesquisas de pós-graduação e outras tarefas que as ferramentas digitais possibilitam. Algumas plataformas utilizadas foram: Google Meet, Google Hangout, Google Classroom, Zoom, Microsoft Teams e Skype.

Na pós-graduação, não foi diferente. No Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PECEM), em 18 de maio de 2020, foi estabelecida uma

deliberação pela própria instituição de ensino orientando que tanto as disciplinas quanto as demais atividades relacionadas ao programa (como bancas de qualificação, defesas e reuniões) deveriam ocorrer de maneira remota enquanto persistisse a situação pandêmica (ALMEIDA; ARRIGO; BROIETTI, 2020).

Diante desse cenário, para ser possível dar continuidade às investigações inerentes a esta tese, foi necessária uma adaptação da pesquisa a fim de investigar atividades experimentais em um modelo de ensino remoto. Dessa forma, realizamos a coleta de dados em uma disciplina ministrada para o último ano de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região Sul do Brasil com as turmas dos anos 2020/2021 e 2021/2022. A disciplina abordava aspectos relacionados à experimentação para o ensino de Química.

No ano de 2021, com a disponibilidade de vacinas e, conseqüentemente, a diminuição da taxa de contaminação da Covid-19, foi adotado o modelo híbrido⁸ e, finalmente, em 2022, retornamos ao modelo de ensino presencial. Portanto, parte dos nossos dados foi coletada de forma remota e outra, presencialmente. A coleta de dados será melhor explicada em um tópico posterior.

2.2 PESQUISA QUALITATIVA E ANÁLISE DE CONTEÚDO

A pesquisa é uma atividade fundamental no mundo acadêmico e científico e, ao longo do tempo, diferentes autores e estudiosos têm oferecido definições variadas desse processo complexo. Essa diversidade de perspectivas reflete a natureza multifacetada e em constante evolução da pesquisa. De acordo com Eco (1989), pesquisar significa descobrir algo que ainda não foi dito. Corroborando essa afirmação, Goldenberg (1997) define a pesquisa como um trabalho capaz de avançar o conhecimento.

Para Andrade (2001), a pesquisa é caracterizada como um conjunto de procedimentos sistemáticos fundamentados na lógica com o propósito de encontrar soluções para questões definidas empregando métodos científicos e possuindo duas finalidades distintas: ampliação do conhecimento e busca por atender às necessidades do mundo moderno.

De acordo com Clark e Castro (2003), a pesquisa é um processo de construção do conhecimento com os objetivos principais de gerar novo saber e/ou validá-lo ou de contestar conhecimento já existente. Essencialmente, é um processo de aprendizado tanto para o pesquisador quanto para a sociedade em que é desenvolvida. Essas diferentes definições

⁸ O ensino híbrido é um modelo de educação formal que se caracteriza por mesclar dois modos de ensino: o de forma presencial e o online (SCHIEHL; GASPARINE, 2017).

compartilham o conceito comum de pesquisa como via para a construção de um novo conhecimento.

No âmbito da educação, Lima e Sousa (2011) abordam que ela abrange uma ampla gama de sujeitos, incluindo alunos, professores e outros profissionais, os quais interagem entre si e também com elementos como o espaço, o currículo e os métodos educacionais. A pesquisa educacional se torna relevante quando o ato de educar é tanto o ponto de partida quanto o ponto de chegada da investigação, com a educação servindo como o epicentro da pesquisa. Nesse contexto, a educação se apresenta como o centro do conhecimento, desempenhando um papel integrador e orientador. Isso evidencia a diversidade de problemas e abordagens que podem ser explorados no campo da pesquisa educacional.

A pesquisa em Educação no Brasil tem uma história relativamente recente. Foi apenas nos anos 30, com a criação do Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos (INEP), que a produção de pesquisa nessa área começou a se tornar mais sistemática. Por um longo período, o campo da Educação foi influenciado por estudos de disciplinas afins, como sociologia, antropologia, psicologia e economia, mas não havia uma pesquisa estruturada com características próprias (ANDRÉ, 2006).

Nos últimos 20 anos, observou-se um aumento significativo no número de pesquisas na área da Educação, principalmente devido à expansão dos programas de pós-graduação. Essa expansão trouxe consigo uma série de mudanças nos temas de pesquisa, nos referenciais teóricos, nas abordagens metodológicas e nos contextos de produção de trabalhos científicos. Enquanto nas décadas de 60 e 70 os estudos priorizavam as variáveis contextuais e o impacto no desempenho dos indivíduos, nos anos 80 houve uma transição para investigações focadas nos processos educacionais (ANDRÉ, 2006).

No que se refere de forma mais específica à área de Ensino de Ciências, nos últimos quarenta anos esse campo de pesquisa experimenta um notável desenvolvimento no Brasil. Grande parte desse progresso pode ser atribuída ao crescimento da pós-graduação, que, desde o início da década de 70, tem se expandido e fornecido suporte crucial para a formação de pesquisadores e educadores. Esses profissionais desempenharam um papel fundamental na estruturação e na consolidação da comunidade de pesquisadores em Ensino de Ciências no país (TEIXEIRA; NETO, 2012). Por meio de uma busca rápida pelo termo Ensino de Ciências no Google Acadêmico, encontramos mais de 239 mil resultados com pesquisas em diversas áreas, como será mostrado a seguir.

Cachapuz e colaboradores (2008) realizaram um estudo que busca contribuir para uma melhor compreensão do estado da arte da pesquisa em Educação em Ciências mediante uma

análise crítica dos artigos mais citados que foram publicados ao longo de uma década (1993-2002). Os autores evidenciaram que, durante a década analisada, a aprendizagem de conceitos, a filosofia da ciência e a linguagem foram identificadas como as principais linhas de pesquisa, representando 23,1%, 19,5% e 12,4% das ocorrências, respectivamente. Por outro lado, o trabalho prático, a resolução de problemas e os estudos sobre tecnologias de informação e comunicação tiveram ocorrências mais baixas. Enquanto a ênfase na aprendizagem de conceitos diminuiu ao longo da década analisada, as outras duas temáticas se mantiveram estáveis. Houve um aumento significativo nos estudos sobre currículo e pedagogia, assim como um aumento considerável nos estudos sobre Ciência-Tecnologia-Sociedade. Destaca-se que esse aumento quantitativo não foi observado em nenhuma outra linha de pesquisa. Embora os estudos sobre aprendizagem em contextos não formais tenham sido consistentemente baixos ao longo da década, emergem como uma área de pesquisa em ascensão (CACHAPUZ *et al.*, 2008).

Alves e colaboradores (2021) realizaram um levantamento quantitativo para analisar os trabalhos publicados no Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) nas edições de 2006 a 2018 e distribuí-los por linhas temáticas. Os autores observaram que a temática de Ensino e Aprendizagem foi a mais publicada no período analisado, mantendo um percentual de trabalhos relativamente estável ao longo dos eventos analisados. Por outro lado, as linhas de pesquisa em Currículo e Avaliação, Formação de Professores e Experimentação mostraram uma diminuição no percentual de trabalhos apresentados. Enquanto isso, as temáticas de Abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade e Educação em espaços não formais e Divulgação Científica registraram um aumento nos percentuais de trabalhos apresentados nos eventos mais recentes.

Dada a complexidade das pesquisas, das diferentes linhas temáticas, dos objetos de estudo e das abordagens, Flick (2009) afirma que é crucial promover diferentes tipos de investigação considerando a natureza do objeto de estudo. A definição dos métodos a serem seguidos para alcançar os objetivos propostos é uma tarefa de extrema relevância para garantir o sucesso do estudo.

Essas investigações podem ser realizadas por meio de abordagens qualitativas e/ou quantitativas. A pesquisa quantitativa visa controlar os dados utilizando instrumentos e técnicas objetivas para analisar as informações obtidas. Ela se baseia em análises apoiadas por métodos matemáticos para fazer generalizações (MINEIRO; SILVA; FERREIRA, 2022).

Por outro lado, a pesquisa qualitativa é caracterizada pelo uso de uma abordagem observacional que se aproxima mais do fenômeno social de interesse, demonstrando

sensibilidade às particularidades do contexto (MILAN; MÖLLER; WOBETO, 2022). Nessa perspectiva, ela se destaca como uma metodologia de pesquisa que prioriza aprofundar e detalhar os contextos empíricos, concentrando-se principalmente nas interpretações das realidades sociais (BAUER; GASKELL, 2002) e em uma compreensão minuciosa das características e dos significados dos fenômenos (RICHARDSON, 1999).

Yin (2016) e Creswell (2016) destacam alguns exemplos das vantagens desse tipo de pesquisa, tais como: i) ela se esforça para explorar o significado da vida das pessoas em suas condições de vida reais sem influenciar os papéis que desempenham no cotidiano ou as interações sociais por meio dos procedimentos de pesquisa. As pessoas são retratadas com base em quem são, não como uma média da população; ii) engloba o contexto em que as pessoas vivem, incluindo aspectos sociais, institucionais e ambientais, ao analisar eventos em curso; iii) pode revelar conceitos preexistentes ou emergentes que contribuem para a compreensão do comportamento social humano direcionada a esse fim; iv) visa utilizar diversas fontes de evidência em vez de depender exclusivamente de uma fonte; v) dá voz aos participantes com o intuito de relatar as perspectivas individuais em relação à situação.

Mól (2017) aborda que a pesquisa qualitativa compreende a ciência como uma área de conhecimento produzida por seres humanos que significam o mundo e os fenômenos que nele ocorrem. Dessa forma, na pesquisa em Ensino de Química, a abordagem qualitativa mostra-se adequada, uma vez que posiciona a educação como um processo interativo que acontece na relação entre professores, estudantes e os conceitos científicos específicos.

Ao adotarmos a abordagem qualitativa neste estudo, descreveremos os fenômenos investigados com riqueza de detalhes a partir da observação, do registro e da análise das respostas fornecidas pelos estudantes às atividades propostas, bem como dos roteiros desenvolvidos por estes (MARCONDES; BRISOLA, 2014; NUNES; NASCIMENTO; LUZ, 2016). Para isso, recorreremos aos pressupostos das análises textuais, mais especificamente da Análise de Conteúdo, proposta por Bardin (2011).

Segundo Bardin (2011), a AC constitui-se como um conjunto de técnicas de análise de comunicações, seja por meio de falas ou de textos, empregadas para descrever e interpretar o conteúdo dos dados, atingindo uma compreensão de seus significados, ultrapassando as incertezas e enriquecendo a leitura dos dados coletados. Conforme a autora, o procedimento de análise se divide em três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, inferência e interpretação (BARDIN, 2011).

A pré-análise é a fase de organização propriamente dita. Consiste, pautada nos objetivos de estudo, na seleção do material que será submetido ao procedimento de análise.

De modo geral, essa primeira etapa possui três objetivos: “a escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final” (BARDIN, 2011, p. 125). A seleção desse material inicia com a leitura flutuante. Essa atividade consiste em estabelecer contato com os documentos que serão analisados e em conhecer o texto, permitindo que as primeiras impressões surjam (BARDIN, 2011).

Seguindo as etapas da AC, durante a exploração do material ocorre a codificação e a categorização. Segundo a autora, a codificação:

[...] é o processo pelo qual os dados brutos são transformados sistematicamente e agregados em unidades, as quais permitem uma descrição exata das características pertinentes do conteúdo (BARDIN, 2011, p.133).

Nesta etapa, também utilizamos a codificação para preservar o anonimato dos sujeitos de pesquisa, conforme será explicado no encaminhamento metodológico dos artigos que compõem esta tese. Após a codificação, segue-se para a categorização. Nesta fase, as unidades de análise são agrupadas em categorias, as quais possibilitam as inferências. Bardin (2011) afirma que “as categorias são rubricas ou classes, as quais reúnem um grupo de elementos em razão das características comuns dos mesmos” (BARDIN, 2011, p. 147). As categorias podem ser definidas *a priori*, de acordo com um referencial teórico, ou *a posteriori*, emergindo durante a análise. Neste estudo, para identificar indícios do Pensamento Químico por parte dos licenciandos nas aulas experimentais analisadas, adotamos categorias *a priori*, sendo estas as 11 Variáveis de Progresso (Figura 1).

Na última etapa da AC, denominada tratamento dos resultados, inferência e interpretação, são construídas as inferências e as interpretações do fenômeno em estudo visando à significação dos resultados da análise.

Dessa forma, utilizar a Análise de Conteúdo como ferramenta metodológica nos permitiu organizar, analisar e interpretar os dados obtidos segundo o referencial teórico adotado para atingir os objetivos traçados na pesquisa. Vale mencionar que a presente pesquisa faz parte de um projeto maior que teve aprovação no Comitê de Ética da Universidade em questão⁹.

⁹ O projeto foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade, com o número do CAAE: 98056718.7.0000.5231.

2.3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS E A COLETA DE DADOS

Este estudo foi realizado em uma disciplina ministrada para o último ano de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região Sul do Brasil, abrangendo as turmas dos anos 2020/2021 e 2021/2022. A disciplina em questão abordava aspectos referentes à experimentação para o ensino de Química, proporcionando aos estudantes a oportunidade de vivenciar e de propor experimentos, compreendendo-os como uma ferramenta pedagógica promissora na construção de conhecimentos químicos. A disciplina tinha uma carga horária de 72 horas, as quais foram ministradas remotamente para a turma de 2020/2021 e parcialmente remota e parcialmente presencial para a turma de 2021/2022. A turma de 2020/2021 era composta por 8 acadêmicos, enquanto a turma de 2021/2022, por 20 acadêmicos.

Trata-se de uma disciplina organizada em dois momentos nos quais eram inicialmente apresentados aos licenciandos os fundamentos teóricos e epistemológicos que estruturam as atividades experimentais investigativas com o propósito de evidenciar as potencialidades dessa ferramenta pedagógica na construção dos conceitos científicos. Para isso, ao longo do primeiro semestre, a professora-formadora desenvolveu sete atividades experimentais baseadas nos pressupostos do currículo do Pensamento Químico e da abordagem heurística da escrita científica¹⁰ abordando os seguintes assuntos: acidez e basicidade das substâncias, densidade dos materiais, conservação de massa em processos químicos, chuva ácida, solubilidade, cinética química e equilíbrio químico.

No Quadro 2, apresentamos a temática de cada atividade experimental e o conteúdo científico trabalhado.

Quadro 2 - Descrição das atividades experimentais realizadas

Atividade Experimental	Descrição da Situação-problema	Conteúdo químico trabalhado
AE1	Trata-se de um agricultor que tem duas plantações de feijão situadas em locais distintos. A primeira plantação está em uma área rural afastada de cidades e indústrias. A segunda plantação está próxima a uma indústria que produz calcário (CaCO_3). A problemática se desenvolve a partir da observação do agricultor	Acidez e basicidade

¹⁰ A abordagem Heurística da Escrita Científica é um modelo de relatório estruturado pensando em promover a participação dos estudantes no trabalho de laboratório, solicitando-os que identifiquem as questões-problema, proponham métodos práticos para abordar essas questões e realizem investigações apropriadas (Burke; Greenbowe, 2006).

	sobre a quantidade e a qualidade do feijão colhido nas duas terras diferentes, sendo a produção menor e de pior qualidade na área próxima à indústria.	
AE2	A problemática aborda uma empresa de refrigerantes que começou a receber reclamações de clientes sobre a qualidade das embalagens, que foram descritas como mais "finas" e "moles". As embalagens são compradas de uma fábrica de plásticos. O diretor da empresa solicitou ao químico responsável pelo controle de qualidade que realizasse testes para verificar a qualidade atual das embalagens e compará-las às primeiras embalagens que não tiveram reclamações.	Densidade
AE3	A problemática aborda uma grande pizzaria que queima uma quantidade considerável de lenha diariamente, resultando em muitas cinzas. Tendo o conhecimento de que as cinzas são ricas em nutrientes e podem ser usadas como fertilizantes, Miguel, proprietário da pizzaria, decidiu vendê-las a um agricultor local por 5 reais o quilograma. O ponto-chave da questão é que Miguel esperava obter 1 quilograma de cinza para cada quilograma de lenha queimada, mas não conseguiu atingir essa proporção.	Lei de conservação de massas
AE4	Trata-se de uma prefeitura de uma cidade próxima a um polo industrial que começou a receber reclamações dos moradores sobre o desgaste de estátuas e monumentos históricos. Sem saber a causa do problema, a prefeitura solicitou a ajuda de químicos de uma universidade local. A equipe designada constatou que o desgaste aumentou com a intensificação das atividades industriais e se tornou mais evidente durante as épocas de chuva.	Chuva ácida
AE5	A situação-problema aborda sobre as peculiaridades do Mar Morto mencionando que este se tornou um ponto turístico popular devido à dificuldade de afundar em suas águas. A partir disso, João (estudante fictício), intrigado por esse fenômeno, decidiu pesquisar as propriedades do Mar Morto e encontrou que sua água tem uma densidade muito maior do que a de outros mares. Ele começou a elaborar hipóteses para explicar essa observação.	Salinidade
AE6	A atividade foi dividida em quatro estações, cada qual com uma situação-problema diferente. A problemática da primeira estação abordava a conservação de alimentos perecíveis. A segunda discutia o uso de lenhas grossas em comparação a gravetos finos para construir uma fogueira. A terceira tratava de como o uso de um secador de cabelo pode ajudar a acender uma churrasqueira. Por fim, a quarta estação abordava a efervescência observada ao se aplicar água oxigenada em machucados.	Cinética química
AE7	A situação-problema abordava a importância da amônia e do processo de Haber-Bosh solicitando que o aluno imagine que o processo Haber-Bosh continua em desenvolvimento e que pense maneiras de aumentar a produção de amônia utilizando a mesma reação química.	Equilíbrio químico

Fonte: A autora (2024).

Para cada tema trabalhado, foram necessários 3 momentos síncronos e 2 assíncronos. As aulas referentes ao primeiro momento da disciplina foram organizadas conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - 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: A autora (2024).

Inicialmente, a professora responsável pela disciplina apresentava a situação-problema que envolvia uma temática de interesse. Após a discussão da situação-problema, algumas questões eram propostas para serem respondidas. Os estudantes recebiam, por meio da plataforma Google Classroom®, as questões pré-experimento para serem respondidas como atividades assíncronas. Essas questões tinham por objetivo identificar os entendimentos iniciais dos estudantes, bem como a elaboração de hipóteses. No momento seguinte de aula síncrona, após os alunos responderem às questões, o professor mediava uma discussão fornecendo espaço para os alunos apresentarem suas respostas e debaterem sobre elas coletivamente. Como não foi possível utilizar o laboratório para realizar as atividades experimentais presencialmente com os estudantes, foram selecionados vídeos de experimentos científicos disponibilizados gratuitamente no YouTube. Esses vídeos foram editados e disponibilizados para os estudantes.

Neste estudo, entendemos que se tratou 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; SOARES; HERBERT, 2010).

Além dos vídeos, os alunos receberam algumas questões pós-experimento para serem respondidas. As questões buscavam repensar aspectos conceituais suscitados no momento pré-experimento, sistematizar os conceitos e tecer considerações que relacionavam o experimento e a problematização. Por fim, em um momento síncrono posterior, realizou-se a discussão das questões pós-experimento coletivamente, sendo novamente mediada pela professora-formadora.

No segundo momento da disciplina, os licenciandos elaboraram roteiros experimentais e os desenvolveram com os colegas de turma e com a professora-formadora simulando uma situação real de sala de aula do Ensino Médio. Os roteiros foram elaborados a partir de temas sorteados pela docente responsável da disciplina conforme o Quadro 4:

Quadro 4 - Temas, conteúdos químicos e datas do microensino de cada licenciando das turmas de 2020/2021 e 2021/2022.

Turma 2020/2021		
Data do microensino	Tema	Conteúdo químico
28/04/2021	Cosméticos	Polaridade das moléculas
05/05/2021	Medicamentos	Cinética Química
12/05/2021	Ambiente	Composição do ar atmosférico e sua relação com o efeito estufa, aquecimento global e derretimento das geleiras com consequente aumento do nível do mar e chuva ácida
19/05/2021	Combustíveis	Combustíveis fósseis e adulteração da gasolina
26/05/2021	Alimentos	Cálculo de caloria dos alimentos
02/06/2021	Saúde	Reações de oxirredução; funções orgânicas; concentração de íons hidrônio e a alteração do pH; cinética das reações.
09/06/2021	Higiene	Misturas e soluções
16/06/2021	Agricultura	Estação de tratamento de água
Turma 2021/2022		
Data do microensino	Tema	Conteúdo químico
09/03/2022	Cosméticos	Funções inorgânicas (ácidos e bases)
16/03/2022	Polímeros	Definição e caracterização de polímeros
23/03/2022	Combustíveis	Reações de combustão, entalpia de combustão e calorimetria
30/03/2022	Química e Arte	Química orgânica, identificação de grupamentos funcionais por meio de moléculas de corantes
06/04/2022	Alimentos	pH, acidez, metabolismo de carboidratos
13/04/2022	Ar	Pressão atmosférica, dilatação térmica, Variáveis de Estado, propriedades dos gases
20/04/2022	Água	Tensão superficial de líquidos
27/04/2022	Medicamentos	Funções orgânicas
04/05/2022	Solo	Indicadores, pH, acidez e basicidade
11/05/2022	Indústria	Química ambiental e reações de carbonização e combustão
25/05/2022	Energia	Pilha de Daniel, reação de oxirredução, tipos de pilhas e baterias
01/06/2022	Higiene	Reações químicas inorgânicas

08/06/2022	Agricultura	Reações de oxidação e redução
08/06/2022	Saúde	Polaridade das moléculas

Fonte: a autora.

Diante do tema sorteado, o licenciando delimitava o conteúdo químico a ser abordado e elaborava um roteiro para a atividade experimental. No dia delimitado para o microensino, o licenciando ministrava sua aula para os demais colegas e a professora-formadora em um tempo aproximado de 50 minutos. Após o microensino¹¹, cada licenciando recebeu a gravação de sua aula, bem como algumas questões para realizarem a autoscopia¹². Ressaltamos que os alunos da turma de 2020/2021 ministraram o microensino remotamente, entretanto os alunos de 2021/2022 ministraram de forma presencial.

O *corpus*¹³ deste estudo, que compreende os documentos analisados nesta pesquisa, consiste nos seguintes materiais: respostas dos licenciandos para as questões pré e pós-experimento, roteiros experimentais elaborados pelos licenciandos e as respostas dos licenciandos para as questões da autoscopia. Os dados foram analisados seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo de Bardin (2011), explicitados na seção 2.2.

A validação dos dados em uma pesquisa é um processo essencial para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos. Aqui, nos pautamos nos pressupostos da triangulação de dados, uma técnica usada em pesquisa para aumentar a credibilidade e a validade dos resultados, combinando múltiplas fontes de dados, métodos, teorias ou pesquisadores para abordar uma única questão. De modo mais específico, fizemos uso da triangulação do investigador, na qual, usa-se pesquisadores diversos para estudar a mesma questão de pesquisa ou mesma estrutura, presumindo que pesquisadores diferentes irão trazer perspectivas, reflexões e análises diferentes (AZEVEDO, 2013; ZAPPELLINI, 2015). No contexto da pesquisa em questão, a validação envolveu a categorização dos documentos por dois pesquisadores. Para verificar a confiabilidade entre os avaliadores, cada pesquisador categorizou documentos previamente categorizados pelo outro pesquisador e comparou os resultados. Portanto, cada documento foi categorizado pelo menos duas vezes, garantindo

¹¹ Os microensinos são compreendidos como um procedimento utilizado na formação de professores, uma ferramenta capaz de promover a simulação de uma prática de ensino em situação de aprendizagem docente, sendo essa uma maneira de praticar o ensino e de desenvolvê-lo sistematicamente. As etapas que compreendem os microensinos abrangem um planejamento, seguido pela execução do ensino (regência), e a promoção de um *feedback* da atividade (COSTA; BROIETTI, 2021).

¹² Este procedimento se refere uma intervenção reflexiva que consiste na gravação e análise do microensino. Tal procedimento permite diagnosticar comportamentos pedagógicos por meio do desenvolvimento da auto-observação e da autocrítica (ARRIGO; LORENCINI JÚNIOR; BROIETTI, 2017).

¹³ Estamos adotando como *corpus* o conjunto de documentos selecionados para serem submetidos a procedimentos analíticos (BARDIN, 1977)

fidedgnidade à validação dos dados. Os resultados dessa verificação revelaram uma confiabilidade de 90% entre os avaliadores, indicando uma concordância substancial nas categorizações realizadas pelos pesquisadores e fortalecendo a confiabilidade dos dados analisados.

Para lidar com possíveis desacordos, os pesquisadores adotaram uma abordagem colaborativa. Quaisquer divergências nas categorizações foram resolvidas por meio de discussão entre os avaliadores. Esse processo permitiu que os pesquisadores identificassem e compreendessem as razões por trás das discordâncias e chegassem a um consenso sobre a categorização adequada de cada documento. Essa prática não apenas garantiu a precisão dos dados, mas também enriqueceu a compreensão do fenômeno estudado por meio do debate e da troca de ideias.

Além disso, os dados foram apresentados e discutidos no grupo de pesquisa. Essa etapa é 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.

2.4 A ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO: O FORMATO *MULTIPAPER*

O processo de pesquisa científica se constitui a partir de uma questão que dá origem a um ciclo composto por três fases consecutivas: planejamento, execução e divulgação. A última fase envolve a redação e a apresentação de um relato de pesquisa, o qual recebe diferentes nomes dependendo do nível de ensino e apresenta características distintas. As monografias de final de curso são relatos de estudos referentes a determinados temas, tendo por objetivo demonstrar que o autor realizou uma revisão bibliográfica e seguiu uma metodologia de pesquisa. Estas devem conter claramente o problema e os objetivos da pesquisa, além de revisão teórica, resultados e conclusões (COSTA, 2014).

As dissertações são relatos de pesquisa entregues ao concluir um curso de pós-graduação no nível de mestrado. Além de apresentarem com rigor, clareza e objetividade o problema e os objetivos da pesquisa, contemplam um estudo mais amplo que o TCC, bem como resultados e conclusões mais abrangentes. Por fim, as teses, requeridas na pós-graduação no nível de doutorado, além de apresentarem as características das dissertações, devem ter originalidade, criatividade e maior rigor científico (COSTA, 2014).

No cenário científico, a comunicação desempenha um papel vital no processo dialógico de construção do conhecimento. A submissão de uma publicação reconhece a autoridade e a integridade da comunidade científica para avaliar e endossar (ou não) os resultados de uma pesquisa (FERNANDES, 2022). No âmbito acadêmico, isso se dá principalmente pela publicação do texto da monografia, da dissertação ou da tese. Nos programas de pós-graduação brasileiros, as teses costumam ser organizadas predominantemente em dois formatos: o monográfico ou tradicional e o *multipaper* ou alternativo.

O formato tradicional de tese, ainda predominante no meio acadêmico, é caracterizado por um texto extenso constituído de capítulos estruturados que geralmente incluem: a) introdução que contempla o problema, as questões de pesquisa, os objetivos etc.; b) revisão da literatura; c) metodologia; d) resultados e discussões; e e) conclusões. Badley (2009) observa que esse modelo teve origem na Alemanha no século XIX e, desde então, não sofreu alterações significativas (COSTA, 2014; DUKE; BECK, 1999; MUTTI; KLÜBER, 2022).

O formato *multipaper*, por sua vez, foi introduzido no Reino Unido na década de 1960 e posteriormente nos Estados Unidos. Atualmente, tem se disseminado no mundo todo de forma lenta e progressiva (COSTA, 2014). A tese *multipaper* se refere à apresentação de uma coletânea de artigos publicáveis geralmente escritos em coautoria com o orientador e acompanhados ou não de um capítulo introdutório e de considerações finais (DUKE; BECK, 1999; MUTTI; KLÜBER, 2022).

Santana (2017) aborda que as teses e dissertações de mestrado no campo da Educação Matemática seguem o formato tradicional, e isso também vale para o Ensino de Química. Entretanto, embora não haja muitas pesquisas que tenham se dedicado ao estudo do formato *multipaper*, é possível encontrar na literatura aspectos favoráveis a ele, bem como ressalvas, como mencionado por Badley (2009).

Dentre os aspectos vistos como favoráveis no formato *multipaper*, podemos elencar: publicação e disseminação de artigos; obtenção de *feedback* dos artigos de leitores de outras instituições; possibilidade de elaboração colaborativa da tese; agilidade na divulgação dos resultados da pesquisa; experiências autênticas na escrita de artigos para periódicos, assim como no processo de submissão; e preparação para uma carreira acadêmica. Duke e Beck (1999) argumentam que os formatos tradicionais não oferecem prática suficiente para o estilo de escrita que os estudantes deverão dominar após a conclusão de seu curso de pós-graduação (MUTTI; KLÜBER, 2022; THOMAS; WEST; RICH, 2016).

Referindo-se aos fatores que podem levar os membros da comunidade acadêmica a ter ressalvas em relação ao modelo *multipaper*, podemos citar: *o tempo*, uma vez que a elaboração de teses no formato *multipaper* podem exigir mais tempo do que os formatos tradicionais, já que o tempo necessário desde a submissão até a publicação de um artigo varia de acordo com cada periódico, o que pode afetar o prazo de defesa da tese; *a publicação de artigos* que não estabeleçam relações com a pesquisa ou com os demais artigos publicados sobre ela, dificultando a compreensão do objetivo de estudo; *a qualidade* das dissertações e das teses no formato *multipaper*, que pode ser inferior em relação ao tradicional em razão do rigor e da ambiguidade de requisitos, já que o tamanho dos artigos inibe uma explicação detalhada das revisões de literatura e metodologia, podendo levar a uma compreensão mais superficial do processo de pesquisa; e a *aceitação*, uma vez que as teses nesse formato não são muito aceitas por professores e departamentos das instituições de ensino superior ao serem consideradas menos confiáveis ou aprofundadas quando comparadas aos formatos tradicionais (MUTTI; KLÜBER, 2022; THOMAS; WEST; RICH, 2016).

Buscando uma compreensão sobre a estruturação do formato *multipaper*, Mutti e Klüber (2022) realizaram, no ano de 2017, um estudo:

[...] uma busca no âmbito dos documentos – resoluções, regimentos, manuais para elaboração de dissertações e teses, deliberações e diretrizes para normalização de documentos – disponíveis nos sítios dos 335 programas de pós-graduação stricto sensu brasileiros das áreas de Educação e Ensino mencionados na Plataforma Sucupira (MUTTI; KLÜBER; 2022, p. 46).

Dos 335 programas de pós-graduação, apenas 31 mencionavam o formato *multipaper* em seus documentos, sendo 25 programas de mestrado e doutorado, 1 apenas de doutorado, 4 exclusivamente de mestrado e 1 de mestrado profissional. Quanto aos elementos que devem compor uma dissertação ou tese no formato *multipaper*, além dos pré-textuais, a análise dos documentos dos programas indica quatro diferentes possibilidades conforme pode ser evidenciado no Quadro 5 (MUTTI; KLÜBER; 2022).

Quadro 5 - Possibilidades de estruturação/construção de dissertações e teses segundo os programas de pós-graduação stricto sensu das áreas de Educação e Ensino.

P	Elementos constitutivos e sua disposição no texto da dissertação ou tese
P1	1º) Prefácio ou Introdução teórico-metodológica geral para todo o texto, contendo: contexto da pesquisa e referencial teórico (se for o caso), revisão de literatura, problema/hipóteses/objetivos da pesquisa (se for o caso) ou interrogação de pesquisa e materiais e métodos; 2º) Artigo 1, artigo 2...artigo n; 3º) Resultados e discussões, articulando o que é dito nos artigos (geral para todo o texto); 4º) Considerações finais (geral para todo o texto); 5º) Referências (geral para todo o texto ou apenas com as

	referências que não forem apresentadas nos artigos).
P2	1º) Introdução, contendo: contexto da pesquisa e referencial teórico (se for o caso), revisão de literatura, problema/hipóteses da pesquisa (se for o caso) ou interrogação de pesquisa (geral para todo o texto); 2º) Objetivos (geral para todo o texto); 3º) Materiais e métodos (geral para todo o texto); 4º) Artigo 1, artigo 2...artigo n; 5º) Considerações finais discutindo os principais resultados (geral para todo o texto); 6º) Referências (geral para todo o texto ou apenas com as referências que não forem apresentadas nos artigos).
P3	1º) Artigo 1; 2º) Artigo 2 ...nº) Artigo n
P4	Um único artigo

Fonte: Mutti e Klüber (2022, p. 8-9).

Quanto à estrutura dos artigos que compõem a dissertação ou a tese, há predominantemente a orientação para serem organizados segundo as normas de submissão de cada periódico. De modo geral, os elementos primordiais são: título, resumo, palavras-chave, abstract, key-words, introdução, materiais e métodos, resultados e discussão, conclusões e referências (MUTTI; KLÜBER, 2022). Mutti e Klüber (2022) ainda abordam que:

Devem tratar de temas relacionados à linha de pesquisa do programa [de modo que] os artigos estejam conectados por elemento comum, sejam aspectos diferentes de um mesmo problema ou diferentes aplicações de um mesmo método. Deve haver alinhamento teórico-metodológico entre os artigos, focando o tema da dissertação ou tese, sendo imprescindível que ofereça contribuição original ao campo de pesquisa no qual se instaura (MUTTI; KLÜBER, 2022).

No Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PECEM) da Universidade Estadual de Londrina, encontramos disponíveis no *site* do programa a relação de dissertações e teses estruturadas neste formato, as quais estão apresentadas no Quadro 6 em ordem cronológica. No Quadro em questão, encontramos três teses e oito dissertações.

No ano de 2022, o grupo de pesquisa Educação em Ciências e Matemática (EDUCIM)¹⁴, do qual faço parte desde 2020 e que está vinculado ao PECEM, realizou a primeira defesa de uma tese no formato *multipaper*. Tal pesquisa abordou a temática *Ações de alunos e professor que exploram objetos de aprendizagem na lousa digital em aulas de matemática: possíveis caracterizações e conexões* (VICENTIN, 2022). Um dos objetivos da tese era propor um modelo de dissertações e teses no formato *multipaper* para os mestrands e

¹⁴ Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Matemática (CNPq). O grupo EDUCIM foi criado em 2002 e está vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina (PECEM/UEL).

doutorandos do grupo. Dessa forma, para a presente investigação, optamos por seguir a mesma estruturação apresentada por Vicentin (2022).

Quadro 6 - Teses e dissertações defendidas no PECEM elaboradas no formato *multipaper*.

Título	Autor Orientador	Data de publicação	Número de artigos
Teses			
Cinema e filosofia na Escola: Emergindo Heterotopias	Wolney Heleno de Matos Prof ^a . Dr ^a . Rosana Figueiredo Salvi	05/03/2020	3
Modelagem Matemática: Uma Análise Semiótica das Experiências dos Alunos	Daiany Cristiny Ramos Prof ^a . Dr ^a . Lourdes Maria Werle de Almeida	14/04/2020	3
Ações docentes e discentes em aulas de matemática que exploram objetos de aprendizagem na lousa digital	Fábio Roberto Vicentin Profa. Dra. Marinez Meneghello Passos	25/08/2022	5
Dissertações			
Obstáculos epistemológicos e pedagógicos em relação à adaptação biológica: conceitos e propostas pedagógicas	Paola Sussai Luz Cezare Prof ^a . Dr ^a . Mariana Aparecida Bologna Soares de Andrade	08/03/2016	3
Uma Análise do Caso Multimídia “Explorando Perímetro e Área” para a Formação de Professores que Ensinam Matemática	Taynara Cristina Gaff Fraga Prof ^a . Dr ^a . Márcia Cristina de Costa Trindade Cyrino	22/02/2019	4
Modelagem Matemática, Compreensão e Linguagem: Interlocações Fundamentadas na Filosofia de Wittgenstein	Jeferson Takeo Padoan Seki Prof ^a . Dr ^a . Lourdes Maria Werle de Almeida	25/02/2019	3
Recursos Semióticos em atividades de modelagem matemática	Tânia Camila Kochmansky Goulart Prof ^a . Dr ^a . Lourdes Maria Werle de Almeida	23/06/2020	2
Conhecimento especializado do professor de Matemática mobilizado em uma disciplina de Prática de Ensino	André Lima Rodrigues Prof. Dr. Bruno Rodrigo Teixeira	15/12/2020	3
Avaliação em práticas de modelagem matemática na sala de aula	Gustavo Granado Magalhães Prof ^a . Dr ^a . Lourdes Maria Werle de Almeida	15/06/2021	2
Conhecimento profissional de Professoras que Ensinam Matemática envolvendo o Pensamento Algébrico na formação continuada	Mayara Cristina Sugigan Profa. Dra. Márcia Cristina de Costa Trindade Cyrino	25/08/2021	3
Validação em atividades de modelagem matemática	Rosangela Maria Kowalek Prof.a Dra. Lourdes Maria Werle de Almeida	24/03/2022	2

Fonte: o autor.

Com o objetivo de superar as críticas da literatura em relação à superficialidade de dissertações e teses no formato *multipaper*, esta tese tem os capítulos um e dois dedicados à apresentação de referenciais teóricos e metodológicos de forma mais aprofundada e detalhada, resultando em uma compreensão mais ampla de todo o processo de pesquisa realizado.

Os quatro capítulos seguintes são compostos por artigos publicados/submetidos até o momento, sendo cada capítulo dedicado a um dos artigos. Quanto à estruturação dos artigos, seguimos as orientações de submissão dos respectivos periódicos. A fim de superar a falta de expectativa de qualidade definida para os artigos escritos, optamos por submetê-los em periódicos que contemplam qualidade de excelência nacional e internacional, possuindo Qualis¹⁵ no estrato A.

O Quadro 7 apresenta os quatro artigos que compõem a tese, além das questões de pesquisa, os objetivos, o periódico em que foram publicados ou submetidos, Qualis e a situação atual de cada um.

Quadro 7 - Informações relativas aos artigos que compõem a tese

CAPÍTULO/ ARTIGO	QUESTÕES DE PESQUISA	OBJETIVO(S)	PERIÓDICO/ QUALIS	SITUAÇÃO
Capítulo 3/Artigo 1: Explorando o Pensamento Químico de Licenciandos em Aulas Experimentais Remotas	Como propor aulas experimentais remotamente priorizando o caráter investigativo e permitindo aos licenciandos fazer uso do Pensamento Químico?	i) Elaborar e desenvolver atividades experimentais investigativas remotamente para estudantes de um curso de licenciatura em Química; ii) avaliar o uso do Pensamento Químico por estudantes nessas aulas.	Química nova na escola (QNEsc)/A2	Publicado em fevereiro/2023
Capítulo 4/Artigo 2: Evidências do Pensamento Químico Manifestadas por Estudantes em uma Aula Experimental	Como identificar evidências do Pensamento Químico manifestadas por estudantes ao longo de uma atividade experimental remota?	i) Evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestados por estudantes nestas aulas; ii) definir características das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico para a atividade em questão.	Alexandria/A2	Publicado em novembro/2023
Capítulo 5/Artigo 3: Experimentação	-	i) Analisar roteiros de aulas experimentais	Revista Cocar/A2	Publicado em setembro/23

¹⁵ O Qualis Periódicos consiste na qualificação indireta da produção intelectual na forma de artigos científicos a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, os periódicos. Os periódicos são enquadrados em estratos indicativos da qualidade, sendo A1 o mais elevado, seguido em ordem decrescente de A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4 e C.

na Formação Inicial: Aspectos Investigativos e Evidências do Pensamento Químico		elaboradas por licenciandos em Química no decorrer de uma disciplina buscando por indícios que caracterizam uma atividade experimental de natureza investigativa e se estas possibilitam o desenvolvimento do Pensamento Químico.		
Capítulo 6/Artigo 4: Pensamento Químico e as Habilidades Cognitivas de Estudantes em Aulas Experimentais	-	i) Analisar os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao participarem de aulas experimentais. ii) investigar se esses níveis cognitivos estão relacionados às Variáveis de Progresso do Pensamento Químico.	Investigações em Ensino de Ciências/A1	Em avaliação maio/2024

Fonte: o autor.

A seguir, passaremos aos capítulos dedicados à apresentação dos artigos.

CAPÍTULO 3 – ARTIGO 1: EXPLORANDO O PENSAMENTO QUÍMICO DE LICENCIANDOS EM AULAS EXPERIMENTAIS REMOTAS

Resumo: Com a pandemia do coronavírus o cenário educacional tornou-se ainda mais desafiador, em virtude da suspensão das aulas presenciais e a condição de aulas remotas. Diante deste novo desafio apresentamos o seguinte questionamento: como propor aulas experimentais remotamente, priorizando o caráter investigativo e que permitam aos licenciandos fazer uso do Pensamento Químico? Para tal, analisamos dados de uma atividade experimental referente ao conteúdo densidade, seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo, por meio de categorias definidas *a priori*. A atividade proposta foi eficaz para engajar os estudantes no uso do Pensamento Químico, uma vez que pelo menos uma das Variáveis de Progresso esperada foi encontrada nas respostas de todos os estudantes. Além disso, a atividade possibilitou que os estudantes utilizassem aspectos do Pensamento Químico para estabelecer causas para as mudanças químicas e relações entre benefícios, custos e riscos da utilização de diferentes materiais na produção de embalagens.

Palavras-chave: experimentação; Pensamento Químico; ensino remoto.

EXPLORING THE CHEMICAL THINKING OF UNDERGRADUATES IN REMOTE EXPERIMENTAL CLASSES

Abstract: With the coronavirus pandemic, the educational scenario became even -formmore challenging, due to the suspension of in-person classes and the condition of remote classes. Faced with this new challenge, we present the following question: how to propose remote experimental classes, prioritizing the investigative character and that allow undergraduates to make use of chemical thinking? To this end, we analyzed data from an experimental activity referring to content density, following the assumptions of Content Analysis, through categories defined *a priori*. The proposed activity was effective in engaging students in the use of chemical thinking, since at least one of the expected progress variables was found in the responses of all students. In addition, the activity enabled students to use aspects of chemical thinking to establish causes for chemical changes and relationships between benefits, costs and risks of using different materials in the production of packaging.

Keywords: experimentation; Chemical Thinking; remote teaching.

INTRODUÇÃO

Desde março de 2020 vivemos em estado de pandemia devido ao vírus SARS-CoV2, causador da doença Covid-19. Segundo dados disponibilizados pela Organização Mundial da Saúde, até o dia 19 de setembro de 2021 foram confirmadas 4.644.740 mortes pela doença. No Brasil, aproximadamente na metade do ano de 2021, atingiu-se a marca de 500 mil mortes causadas pela doença. A fim de minimizar a propagação do vírus, o Ministério da Saúde apresentou uma série de recomendações a serem seguidas, dentre elas, o isolamento social

(OMS, 2020; REGUEIRO *et al.*, 2020; BRASIL, 2020a). Como consequência disso, o Ministério da Educação (MEC) publicou uma medida autorizando a substituição das disciplinas presenciais por aulas que pudessem ser realizadas utilizando Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) (BRASIL, 2020b). Frente a esta situação, as instituições de ensino precisaram buscar outras formas para dar continuidade em suas atividades, adotando, portanto, a modalidade de ensino remoto.

Atualmente, encontram-se publicadas diversas pesquisas relacionadas à essa temática visando compreender as implicações desta nova modalidade de ensino e os seus desafios (FIORI; GOI, 2020; SILVA *et al.*, 2020a; CANTONI *et al.*, 2021; ALMEIDA; ARRIGO; BROIETTI, 2020; IMBERTI *et al.*, 2021).

Diante de tais considerações, tecemos o seguinte questionamento: Como propor aulas experimentais remotamente, priorizando o caráter investigativo e que permitam aos estudantes fazer uso do Pensamento Químico? Nesse sentido, estabelecemos alguns objetivos específicos: i) elaborar e desenvolver atividades experimentais investigativas, de forma remota, para estudantes de um curso de licenciatura em química; ii) avaliar o uso do Pensamento Químico por estudantes nestas aulas.

3.1 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS E O ENSINO REMOTO

De acordo com Camillo e Graffunder (2021), as atividades experimentais podem ser facilitadoras para a compreensão do conhecimento, principalmente, por articular teoria e prática, gerar curiosidade, criatividade e criticidade. Os autores ainda abordam que estas podem ser ponto de partida para discussões, reflexões e cooperação, devendo levar em consideração os conhecimentos prévios dos estudantes e aproximando o conhecimento científico do mundo a sua volta (CAMILLO; GRAFFUNDER, 2021).

De acordo com Souza e colaboradores (2013) uma atividade experimental não deve se limitar a desenvolver habilidades manuais dos estudantes, ela deve, além disso, permitir uma participação intelectual ativa, para que o estudante, refletindo acerca dos fenômenos, formule hipóteses e estabeleça relações entre fatos observados e explicações, resultando na construção do conhecimento (SOUZA *et al.*, 2013).

Assim, podemos destacar as atividades experimentais de caráter investigativo como uma alternativa para desconstruir a visão tecnicista que ainda permeia as atividades experimentais, uma vez que em tal modalidade o trabalho experimental está centrado no estudante, tornando-o sujeito ativo no processo de aprendizagem e abrindo espaços para

discussão e tomada de decisão (SUART e MARCONDES, 2008; FERREIRA *et al.*, 2009; SANTOS; MENEZES, 2020).

De modo geral, as atividades experimentais investigativas se iniciam com situações problemas contextualizadas nas quais os estudantes participam ativamente refletindo acerca do problema, formulando hipóteses, coletando e interpretando dados, debatendo, propondo soluções e aplicando em novas situações. Tais atividades possibilitam que os estudantes relacionem os conhecimentos químicos para interpretar fenômenos que fazem parte da sua realidade, desenvolvendo dessa forma seu Pensamento Químico. A compreensão de Pensamento Químico, abordada neste estudo, será melhor explicitada em uma seção própria (SUART e MARCONDES, 2008; FERREIRA *et al.*, 2009).

Durante a suspensão das aulas presenciais, outras possibilidades tiveram que ser pensadas a fim de se trabalhar a partir de experimentos. Santos, Freitas e Lopes (2020) abordam sobre o uso de laboratórios virtuais, explicitando que esse tipo de abordagem vem ganhando destaque no Ensino à Distância. Neste trabalho, em específico, foi utilizada a plataforma PhET, que permite simulações em diferentes áreas, como física, química e matemática. O simulador é gratuito e encontra-se disponível no site: <https://phet.colorado.edu/pt/>. Os autores abordam que, fazendo o uso do laboratório virtual de aprendizagem, houve uma notável participação dos alunos na aula síncrona, o que demonstra ser uma ferramenta que incentivou e motivou os alunos. Contudo, destacam que alguns alunos não realizaram o questionário avaliativo e que alguns foram resistentes frente ao uso de mais uma plataforma diferente, com a justificativa de falta de tecnologias apropriadas para manusear o PhET (SANTOS; FREITAS; LOPES, 2020).

Ainda sobre laboratórios virtuais, Gomes, Bilessimo e Silva (2020) integraram laboratórios online a uma sequência didática investigativa para abordar o conteúdo densidade. Os autores afirmam que a junção dos laboratórios remotos com as sequências didáticas investigativas contribuiu para um melhor entendimento sobre o conceito de densidade, motivando e facilitando a aprendizagem, além de aproximar a escola de situações do cotidiano. Contudo, os autores abordam que os bons resultados nesta proposta pedagógica foram influenciados pelo contexto dos alunos participantes, que apresentam um bom domínio e acesso aos recursos tecnológicos e também da infraestrutura da instituição, salientando que infelizmente essa não é uma realidade geral da educação básica (GOMES; BILESSIMO; SILVA, 2020).

Silva e Silva (2020) abordam o uso de simuladores computacionais para auxiliar os conceitos de volumetria em aulas remotas durante a pandemia. Nesse estudo, o professor

apresentou aos estudantes alguns exercícios e os estudantes, ao interagirem com o software, buscaram resolvê-los (SILVA; SILVA, 2020).

Sousa e Valério (2021) também realizaram um trabalho sobre a química experimental no ensino remoto em tempos de Covid-19. Neste trabalho os autores utilizaram vídeos de experimentos gravados e uso de um simulador para abordar os conteúdos de gases, equilíbrio e eletroquímica. Dentre alguns dos resultados, os autores abordam que os estudantes compreenderam o conteúdo com maior facilidade com os recursos aplicados. Entretanto, os autores também destacam que muitos alunos apresentaram dificuldades frente ao ensino remoto e com carência de tecnologias.

Em outro estudo, Silva, F. e colaboradores (2020) investigam sobre as concepções dos professores dos cursos de química sobre atividades experimentais e o ensino remoto. Em uma das questões os professores deveriam dizer se consideravam ser possível ministrar disciplinas experimentais no formato remoto, sendo ainda questionados como as realizariam. Como resultado, em 61,5% das respostas os professores mencionam o uso de vídeos de experimentos e softwares, propondo a gravação audiovisual dos experimentos que os estudantes realizariam nos laboratórios ou recorrendo a vídeos já disponíveis. Para esses professores, as maiores dificuldades que os alunos encontraram se associam a questões de internet e de autonomia frente aos seus estudos (SILVA, F. *et al.*, 2020).

Diante deste contexto, neste estudo, foram elaboradas e desenvolvidas atividades experimentais investigativas para estudantes em uma disciplina, ministrada de forma remota, de um curso de Licenciatura em Química. Assim, neste trabalho, apresentamos resultados das análises de uma das atividades, que aborda o conteúdo densidade, objetivando avaliar o uso do Pensamento Químico nesta atividade.

3.2 PENSAMENTO QUÍMICO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Banks e Colaboradores (2015) apontam que avaliar opções e tomar decisões frente a um fenômeno pautados nos conhecimentos químicos levando em consideração aspectos de âmbito social, econômico e ambiental, são atitudes que devem ser praticadas em todos os níveis educacionais. Contudo, o uso do conhecimento químico tanto para fazer julgamentos quanto na tomada de decisões ainda é pouco discutido nas aulas convencionais, nos mais diferentes níveis de ensino (BANKS *et al.*, 2015).

Em um contexto norte americano, muitos dos cursos universitários de química mais antigos apresentavam um currículo pautado na exposição dos tópicos por progressão linear de

conceitos. Esta organização, na maioria das vezes, não possibilitava que os estudantes estabelecessem conexões entre as etapas sucessivas e nem entre os diferentes níveis conceituais. Além disso, observava-se também que esses currículos tendiam a apresentar os tópicos de forma isolada e focado na resolução de problemas algorítmicos desvinculados da prática, dos modos de pensar e das aplicações das pesquisas em química e educação (TALANQUER; POLLARD, 2010; SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Na tentativa de minimizar os problemas identificados nesse currículo, no ano de 2007, os pesquisadores Vicente Talanquer e John Pollard desenvolveram e iniciaram a implementação de uma nova organização para o curso introdutório de química para graduandos em Ciências e engenharia na universidade do Arizona, nos Estados Unidos. Essa nova estrutura foi denominada “Chemical Thinking”, e tinha por objetivo a promoção de uma compreensão conceitual mais aprofundada de um núcleo mínimo de ideias fundamentais, ao contrário de uma cobertura superficial de vários tópicos.

Esta nova organização buscava conectar as ideias centrais entre as unidades do curso, seguindo progressões de aprendizagem bem definidas, ou seja, sequência de ideias ou práticas com níveis sucessivamente mais altos de compreensão sobre um tópico; apresentar aos estudantes formas contemporâneas de pensamento e resolução de problemas em química; e envolver os estudantes em atividades realistas de tomada de decisão e solução de problemas (TALANQUER; POLLARD, 2010; SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Volkova (2019) aborda que o sucesso do domínio do conhecimento químico está intimamente relacionado com o desenvolvimento do Pensamento Químico. Podemos perceber que, neste contexto, os termos “conhecimento químico” e “Pensamento Químico” são empregados com sentidos diferentes. Essa diferença também pode ser evidenciada em artigos do pesquisador Vicente Talanquer e seus colaboradores, ao proporem uma definição para o termo “Pensamento Químico”. Encontramos em seus artigos que o Pensamento Químico é o desenvolvimento e a aplicação de conhecimentos e práticas químicas com o objetivo principal de analisar, sintetizar, e transformar a matéria para fins práticos (BANKS *et al.*, 2015; SJÖSTRÖM; TALANQUER, 2018; SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Corroborando ainda para a compreensão da ideia do Pensamento Químico, Talanquer (2019) aborda que o Pensamento Químico envolve uma série de outras atividades, como: analisar, discutir, refletir e propor explicações e soluções razoáveis para problemas e fenômenos relevantes.

A partir dessas leituras, podemos destacar que os autores utilizam o termo conhecimento químico no sentido de conceitos adquiridos. Ao passo que, ao colocar esse

conhecimento em movimento para analisar, discutir, refletir e propor explicações para problemas, o que está sendo exercitado e desenvolvido é o Pensamento Químico. Nesse sentido, quanto mais desenvolvido for o Pensamento Químico do estudante, significa que mais domínio do conhecimento químico ele terá, mais saberá utilizar os conceitos para fins práticos na interpretação de fenômenos.

Podemos correlacionar o termo “Pensamento Químico” com o termo “pensamento matemático”, já bem explorado na literatura brasileira. A respeito da ideia de pensamento matemático, Klaiber (2019) aborda que:

De acordo com as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, “a forma de trabalhar os conteúdos deve sempre agregar um valor matemático” (BRASIL, 2006, p. 69), ou seja, as situações de aprendizagem devem valorizar a argumentação, a dedução, a elaboração e a verificação de conjecturas, a generalização e a abstração (KLAIBER, 2019, p. 17).

Podemos evidenciar que o pensamento matemático, da forma como também entendemos o Pensamento Químico, transcende a aquisição de conceitos, englobando o uso do conhecimento para realizar uma série de tarefas como argumentação, dedução e elaboração de hipóteses.

Schnetzler e Antunes-Souza (2019) e Wenzel (2018) abordam sobre a importância da linguagem química para a construção do Pensamento Químico. A química é uma Ciência repleta de símbolos utilizados em diferentes situações, por exemplo, letras são utilizadas para representar elementos químicos; setas para representar reações e indicar os seus sentidos, as letras A e Z para representar massa e número atômico, respectivamente. Assim, para aprender química é necessário atribuir significados a esses símbolos, para que não se tenha seu uso de forma mecânica.

Desta forma, por meio da linguagem química, vão sendo criadas estruturas de pensamento a partir de significações compartilhadas das simbologias. Nesse sentido, quando um aluno estabelece relações corretas entre palavras, símbolos ou equações específicas da química para explicar um fenômeno, ele demonstra atribuir significados a tais símbolos, indicando indícios da formação do Pensamento Químico. Assim, a formação do Pensamento Químico requer que o sujeito tenha a capacidade de compreender os aspectos históricos que são importantes para a elaboração dos conhecimentos químicos, as especificidades da linguagem química e saber estabelecer relações entre tais aspectos ao seu contexto social, tendo em vista a compreensão sobre o mundo (WENZEL, 2018; SCHNETZLER; ANTUNES-SOUZA, 2019).

A partir dessas leituras e interpretações, assumimos a seguinte definição para o termo “Pensamento Químico”, a saber: uso do conhecimento químico e da linguagem química na interpretação de fenômenos e tomada de decisões em diferentes contextos do mundo real, articulando fatores sociais, econômicos e ambientais.

A estruturação do Pensamento Químico se baseia em seis conceitos disciplinares transversais que são considerados essenciais para que se compreenda e realize atividades práticas de análise, síntese e transformação química. Estes conceitos são, nos pressupostos teóricos do Pensamento Químico, propostos como lentes para que sejam analisadas as compreensões de aspectos essenciais do conhecimento de química, por exemplo, ligações químicas e teoria atômica (SEVIAN; TALANQUER, 2014). Tais conceitos são:

- Identidade química (O que é esta substância?)
 - Relações estrutura–propriedades (Quais propriedades esta substância possui?)
 - Causalidade química (O que faz com que esta substância mude?)
 - Mecanismo químico (Como essa substância muda?)
 - Controle químico (Como podemos controlar a mudança?)
 - Benefícios-custos-riscos (Quais são as consequências de mudar a matéria?)
- (Adaptado e traduzido de BANKS *et al.*, 2015).

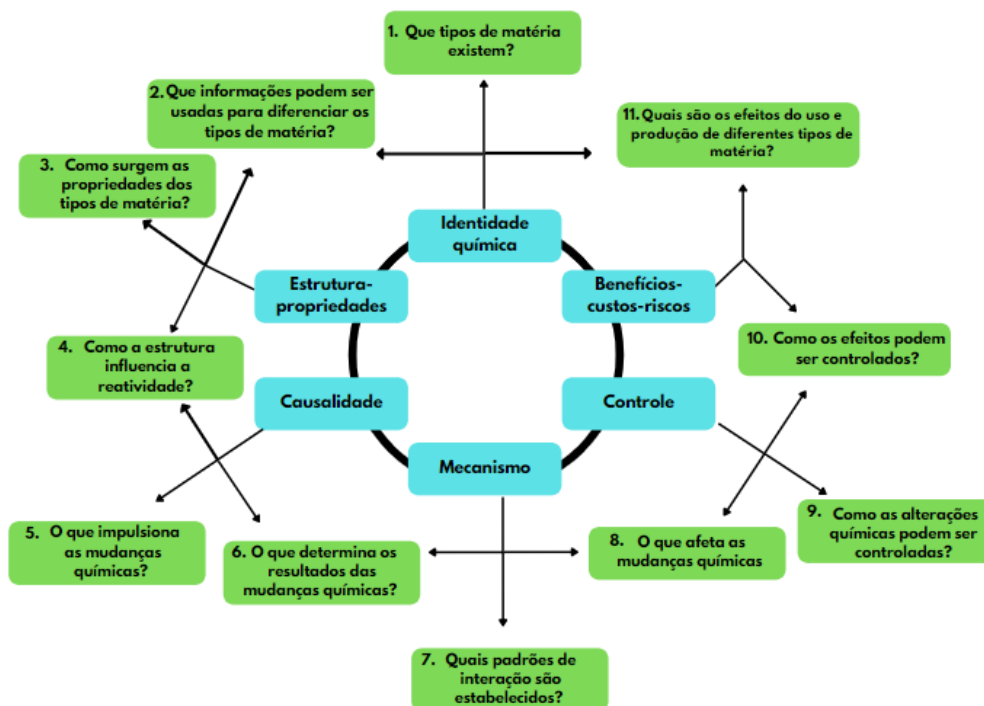
Segundo Talanquer (2013), aprender neste contexto não deve ser entendido simplesmente como aquisição de mais conhecimentos e habilidades, mas como um progresso em direção a níveis mais elevados de competência em áreas bem definidas (TALANQUER, 2013).

Dessa forma, desses conceitos transversais derivam perguntas mais específicas, chamadas de Variáveis de Progresso (VP), que impulsionam o Pensamento Químico e que perpassando por elas, espera-se que a aprendizagem dos estudantes progrida. Essas são questões essenciais no trabalho do cientista e químicos à medida que analisam materiais, sintetizam substâncias ou transformam a matéria, a saber:

- Que tipos de matéria existem? (VP1)
 - Que informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria? (VP2)
 - Como surgem as propriedades dos tipos de matéria? (VP3)
 - Como a estrutura influencia a reatividade? (VP4)
 - O que impulsiona as mudanças químicas? (VP5)
 - O que determina os resultados das mudanças químicas? (VP6)
 - Quais padrões de interação são estabelecidos? (VP7)
 - O que afeta as mudanças químicas? (VP8)
 - Como as alterações químicas podem ser controladas? (VP9)
 - Como os efeitos podem ser controlados? (VP10)
 - Quais são os efeitos do uso e produção de diferentes tipos de matéria? (VP11)
- (Adaptado e traduzido de BANKS *et al.*, 2015)

A Figura 1 apresenta o modo como cada variável de progresso se relaciona com os conceitos transversais.

Figura 1 - Relação entre conceitos transversais e Variáveis de Progresso.



Fonte: Adaptado e traduzido de Sevian e Talanquer (2014).

A partir da Figura 1, podemos notar que um mesmo conceito disciplinar transversal (azul) pode associar-se a mais de uma variável de progresso (verde), do mesmo modo que uma variável de progresso também pode estar relacionada a mais de um conceito disciplinar transversal. As relações que se estabelecem são indicadas na figura pelas setas. Como exemplo, ao conceito disciplinar transversal identidade química se relacionam a VP1 (que tipos de matéria existem?), a VP2 (que informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria?) e a VP11 (quais são os efeitos do uso e produção de diferentes tipos de matéria?), ao passo que a VP2 também se liga ao conceito disciplinar transversal de estrutura-propriedades e a VP11 se liga a benefícios-custos-riscos.

No que tange a experimentação, na estrutura do Pensamento Químico, as atividades experimentais podem ser organizadas como projetos nos quais os estudantes trabalham de forma colaborativa em pequenos grupos para investigar a respeito de determinado sistema. Ao longo das atividades, os estudantes têm a possibilidade de aplicar o Pensamento Químico para analisar ou sintetizar diversos produtos. As atividades experimentais se estruturam em torno

de tarefas que os estudantes devem cumprir, sendo tais tarefas contextualizadas e com caráter investigativo (TALANQUER; POLLARD, 2010).

Propostas de atividades experimentais nesta perspectiva podem tomar como base a abordagem Heurística da Escrita Científica. De acordo com Burke e Greenbowe (2006), neste tipo de abordagem combina-se a investigação, o trabalho colaborativo e a escrita, fornecendo uma estrutura para professores e estudantes realizarem atividades experimentais eficazes.

A abordagem Heurística da Escrita Científica é estruturada pensando em promover a participação dos estudantes no trabalho de laboratório, solicitando-os que identifiquem as questões do problema, proponham métodos práticos para abordar essas questões e realizem investigações apropriadas. É solicitado também que os estudantes compartilhem suas descobertas com os demais estudantes, ou comparem com dados da literatura. Esta abordagem leva o estudante a formular hipóteses e inferências, buscar meios de verificar suas hipóteses com evidências experimentais e refletir durante todo o processo (BURKE; GREENBOWE, 2006).

O quadro abaixo apresenta uma comparação do formato de relatórios na abordagem Heurística da Escrita Científica e dos relatórios de laboratórios tradicionais.

Quadro 1 - Comparação entre o formato de relatórios tradicionais e relatórios na abordagem Heurística da Escrita Científica

Formato de relatório na abordagem experimental tradicional	Relatório na abordagem experimental da Heurística da Escrita Científica
Título, propósito	Perguntas iniciais - Quais são minhas perguntas?
Esboço do procedimento	Testes - o que eu devo e posso fazer?
Dados e observações	Que dados eu posso obter?
Equações balanceadas, cálculos e gráficos	Provas - como posso saber? Por que estou fazendo essas afirmações? Reflexões - como minhas ideias se comparam a outras ideias? Como minhas ideias mudaram?

Fonte: Adaptado e traduzido de Burke e Greenbowe (2006).

Como se observa no Quadro 1, a abordagem heurística da escrita científica permite que o estudante desempenhe um papel mais ativo no seu processo de aprendizagem, interpretando o problema em questão, formulando hipóteses e buscando meios experimentais para verificá-la, enquanto no modelo tradicional algumas informações já estão prontas para o estudante apenas executar, sem explorar seu Pensamento Químico.

As ideias acima apresentadas fundamentaram a organização das atividades experimentais ministradas remotamente para os estudantes de um curso de licenciatura em Química. Na próxima seção apresentamos em detalhes o encaminhamento metodológico adotado no decorrer da pesquisa.

3.3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Este estudo foi realizado em uma disciplina ministrada para o último ano de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região do Sul do Brasil. Trata-se de uma disciplina em que se discute aspectos referentes à experimentação para o ensino de Química, em outras palavras, o estudante tem a oportunidade de vivenciar e propor experimentos compreendendo-os como uma ferramenta pedagógica útil na construção de conhecimentos químicos. A disciplina tem uma carga horária de 72h, que foram ministradas de forma remota. A disciplina ocorreu ao longo do primeiro semestre do ano de 2021, com a participação de 8 acadêmicos, sendo cinco homens e três mulheres.

Foram desenvolvidas ao todo sete atividades experimentais que abordavam assuntos tais como, acidez e basicidade das substâncias, densidade dos materiais, conservação de massa em processos químicos, chuva ácida, solubilidade, cinética química e equilíbrio químico.

Para este trabalho nos limitamos a analisar dados referentes a atividade experimental, que abordava o conteúdo de densidade dos materiais. De acordo com Broietti, Ferracin e Arrigo (2018), durante as aulas de Ciências, é nítida a dificuldade dos estudantes na compreensão do conceito de densidade, as autoras mencionam que, muitas vezes, há a memorização da fórmula ($d=m/v$), o que não condiz com a utilização correta do conceito em situações cotidianas. Neste sentido, escolhemos esta atividade, como foco de investigação, a fim de analisarmos como os licenciandos, futuros professores, lidam com este conceito.

A coleta de dados ocorreu por meio de questões pré e pós-experimento que foram inspiradas na abordagem Heurística da Escrita Científica (BURKE; GREENBOWE, 2006). Inicialmente, os estudantes recebiam por meio da plataforma Google Classroom® as questões pré-experimento, para serem respondidas como atividades assíncronas. A partir destas questões buscava-se identificar entendimentos iniciais dos estudantes sobre a situação-problema abordada, bem como a elaboração de hipóteses. A situação-problema, neste estudo, pode ser entendida como um problema relacionado ao contexto dos estudantes, que para ser

solucionado requer um diálogo, uma discussão em torno das hipóteses por eles manifestadas (ZANON; FREITAS, 2007).

Na aula síncrona, após os alunos responderem as questões, o professor mediava uma discussão fornecendo espaço para que os alunos apresentassem suas respostas e debatessem sobre elas, coletivamente.

Uma vez que não foi possível utilizar o laboratório para realizar as atividades experimentais presencialmente com os estudantes, foram selecionados vídeos de experimentos disponibilizados gratuitamente na internet, os quais foram editados e disponibilizados para os estudantes. Como uma segunda atividade, os estudantes recebiam o vídeo experimental e algumas questões pós-experimento para serem respondidas como atividade assíncrona. Para esta aula foi selecionado um vídeo experimental no qual diferentes plásticos foram separados, em um béquer com água, em dois grupos, os que afundavam na água e os que flutuavam, dependendo de sua densidade. O vídeo fornecido aos estudantes foi editado para que apresentasse apenas a execução do experimento. O vídeo original, antes da edição, encontra-se disponível em: <https://gepeqiusp.wixsite.com/gepeq/experimentos>.

Consideramos que a atividade proposta apresentou características de uma atividade experimental demonstrativa de caráter investigativo. Demonstrativa pois os estudantes não realizaram atividades manuais, eles observaram o experimento realizado e fizeram anotações. Investigativa uma vez que teve início com uma situação-problema permitindo que os estudantes relacionassem seus conhecimentos prévios com o que foi observado no experimento para elaborar hipóteses referente ao problema proposto (OLIVEIRA; SOARES; HERBERT, 2010).

As questões pós-experimento buscavam repensar questões conceituais suscitadas no momento pré-experimento, sistematizar os conceitos; e tecer algumas considerações que relacionavam o experimento e a problematização. Por fim, em um momento síncrono posterior, realizava-se a discussão das questões pós-experimento, coletivamente, novamente mediada pelo professor.

As respostas dos estudantes para as questões pré e pós-experimento constituíram o *corpus* deste estudo. Vale mencionar que a pesquisa faz parte de um projeto maior, e que teve a aprovação no Comitê de Ética da Universidade em questão. A metodologia empregada para análise dos dados foi embasada nos pressupostos da Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2011).

Segundo a autora, a análise de conteúdo se organiza em três etapas: pré-análise, exploração do material, e tratamento dos resultados, inferência e interpretação. A primeira

etapa consiste na escolha dos documentos a serem analisados, considerando os objetivos do estudo. A segunda etapa, exploração do material, consiste na codificação e categorização. No processo de codificação usamos os códigos de A1 até A8, para identificar os estudantes, com o intuito de preservar o anonimato dos sujeitos de pesquisa. Durante a categorização as unidades de análise foram agrupadas tematicamente em categorias, as quais permitem as inferências. As categorias podem ser definidas *a priori*, de acordo com um referencial teórico, ou *a posteriori*, que emergem no decorrer da análise. Nesse estudo, visando identificar o uso do Pensamento Químico por parte dos licenciados, na aula experimental analisada, adotamos categorias *a priori*, sendo estas as 11 Variáveis de Progresso (Figura 1). Na última etapa realizaram-se as inferências e interpretações do fenômeno em estudo, etapa apresentada na próxima seção.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados serão apresentados, organizados em dois momentos. Primeiramente referente ao momento pré-experimento e na sequência os dados referentes ao momento pós-experimento.

Para a atividade analisada, a situação-problema convidava o estudante a se colocar no papel de um químico de uma indústria de embalagens plásticas, a fim de averiguar e entender o porquê de a indústria estar recebendo reclamações de que as embalagens, de um último lote, estavam mais finas e moles. As questões propostas antes e após o vídeo experimental estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Questões presentes nos momentos pré e pós-atividade experimental

Questões pré-experimento	Questões pós-experimento
1. Qual a questão principal do texto?	1. O que você observou?
2. Porque você acha que as embalagens apresentam aspectos físicos diferentes das embalagens utilizadas pela empresa em momentos anteriores?	2. Com base em suas observações, avalie o procedimento que você elaborou na questão pré-experimento número 3. Sua explicação para a questão 3 pré-experimento se mantém?
3. Você, sendo o químico encarregado de verificar a qualidade dessas embalagens, faria quais testes rápidos com as embalagens para verificar suas hipóteses levantadas na questão anterior?	3. 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 que os materiais de cada grupo

	apresentam em comum que possibilitou essa separação?
4. Que tipos de informações e dados seriam importantes que os testes realizados lhe fornecessem? Porque?	4. O que aconteceria se fosse utilizado outro líquido no lugar da água na realização do experimento?
	5. Dispondo de uma solução de etanol com densidade igual a 0,9215 g/cm ³ , uma solução de NaCl com densidade de 1,15 g/cm ³ , óleo com densidade de 0,89 g/cm ³ , acetona com densidade de 0,80 g/cm ³ , água com densidade de 1,0 g/cm ³ e glicerina com densidade de 1,26 g/cm ³ , proponha uma separação para conseguir identificar todos os plásticos. Explique seu raciocínio.
	6. Retornando ao texto inicial e após realizar o experimento, porque você acha que as embalagens apresentam aspectos diferentes, mais “finos” e “moles”?

Fonte: a autora.

3.5 MOMENTO PRÉ-EXPERIMENTO

A questão 1 do momento pré-experimento tinha o objetivo de identificar se os estudantes conseguiam, a partir da leitura da situação-problema, identificar qual o assunto abordado. Os oito estudantes conseguiram identificar o tema abordado se expressando de diferentes formas, como apresentado abaixo.

A qualidade das embalagens de plástico. [A1]

As diferenças das embalagens do primeiro lote e dos demais lotes. [A3]

A qualidade dos polímeros, uma vez que os clientes estavam reclamando. [A6]

Nesta questão buscava-se a compreensão dos estudantes sobre a temática da situação-problema. Dessa forma, para essa questão, não identificamos as Variáveis de Progresso (Figura 1). A partir das respostas foi possível evidenciar que os estudantes conseguiram identificar, sem grandes dificuldades, a temática abordada, contudo, ainda não identificaram que a situação problema e a atividade experimental estariam relacionados com o conteúdo químico densidade.

A questão 2 examinava a causa da diferença entre as embalagens, podendo ser compreendida sob dois aspectos. Primeiro, podemos compreender que os aspectos diferentes apresentados pelas embalagens podem ser devidos as diferentes matérias primas utilizadas no processo de produção. Assim, materiais diferentes apresentam propriedades diferentes, mais especificamente debatido nesse experimento, a densidade, logo apresentam aspectos físicos

diferentes. Nesse olhar, a questão se enquadra na VP1 que questiona quais são os tipos de matéria que existem, relacionando-se com a identidade química.

Na segunda possibilidade de resposta compreendemos que os aspectos diferentes apresentados pelas embalagens podem ser devido a mudanças no processo de fabricação ou ainda a reações ou deformações químicas, que neste caso, não se relacionam com a identidade química. Assim, pode-se pensar acerca do que ocasiona tais mudanças, o que determina o resultado da mudança e o que a afeta, dessa forma classificamos as Variáveis de Progresso 5, 6 e 8, que se relacionam com a causa, mecanismo e controle, respectivamente. Mais especificamente, a VP5 se relaciona com a causalidade, uma vez que questiona o que impulsiona as mudanças químicas. A VP6 se relaciona com a causalidade e mecanismo, uma vez que questiona o que determina o resultado das mudanças químicas e, por sua vez, a VP8 se relaciona com o mecanismo e controle, uma vez que questiona o que afeta as mudanças químicas.

Dos oito estudantes participantes, um deles apresentou resposta na qual foi possível encontrar características da VP1, a saber:

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

O estudante A3 responde mencionando que os aspectos físicos diferentes das embalagens se devem aos tipos de plásticos utilizados na fabricação, identificando dessa forma que existem uma variedade de materiais pelos quais as embalagens podem ser fabricadas.

Dois estudantes apresentaram respostas na qual foi possível identificar a VP5. Como exemplo temos a resposta da estudante A1:

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

A estudante menciona como causa da embalagem estar mais fina, o fato de ser composta por menos material, ou seja, a quantidade de material utilizado no processo de fabricação. Respostas neste sentido foram classificadas na VP5 uma vez que expressam as causas relacionadas a alteração do aspecto da embalagem.

Outros dois estudantes apresentaram respostas nas quais foi possível identificar a VP5 e VP8. Como exemplo temos a resposta do A6:

Talvez houvesse ocorrido uma mudança na produção destes polímeros, algum problema com o maquinário ou algo do tipo. [A6]

O estudante A6 atribui o fenômeno a uma possível mudança no processo de produção, de acordo com a segunda possibilidade de resposta esperada. Assim, além de buscar causas para essa mudança (VP5), o estudante atribui mais especificamente a fatores que podem interferir no processo de produção da embalagem, como quebra de maquinário, caracterizando a VP8.

O estudante A5 apresenta resposta que pode caracterizar a VP1, VP5 e VP6:

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

Em sua resposta, o estudante A5 busca por possíveis causas para a mudança observada, caracterizando a VP5. Além de buscar causas, o estudante atribui de forma mais específica que a mudança observada pode ser devida a uma mudança na matéria-prima utilizada durante a produção, caracterizando uma visão de identidade química (VP1). O estudante apresenta também, de forma mais específica, que alterações no processo industrial podem ser a razão da mudança observada. Sob essa visão, o estudante demonstra compreender que o processo industrial pode interferir no resultado, ou seja, processos industriais diferentes resultam em um produto diferente, o que caracteriza a VP6.

Por fim, um dos estudantes apresentou em sua resposta a VP5, VP6 e VP8, a saber:

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

O estudante A2 justifica as diferenças entre as embalagens, devido a possíveis mudanças no processo de produção. Dessa forma, identificamos a VP5 nos momentos em que o estudante propõe possíveis causas para essas mudanças. De forma mais específica, o estudante atribui que tais mudanças podem ter ocorrido tanto no processo de síntese, ou seja, que a rota sintética pode gerar produtos diferentes (VP6), quanto relacionadas a fatores que podem interferir ao longo do processo de fabricação (VP8), como exemplo exposição à luz e reações com o refrigerante.

Percebemos que nenhum dos estudantes abordou, conjuntamente, as quatro variáveis (VP1, VP5, VP6 e VP8) em sua resposta, entretanto, todos os estudantes apresentaram

respostas contendo pelo menos uma VP esperada e 4 estudantes apresentaram respostas englobando duas ou mais VP, apresentando uma visão química ampla do problema.

A questão 3 convida o estudante a pensar em como investigar, na prática, as hipóteses levantadas na questão anterior. Dessa forma podemos inferir que a questão permite ao estudante explorar a VP2, que questiona quais informações seriam relevantes para diferenciar os tipos de materiais.

Na resposta dos oito estudantes foi possível identificar a VP2, uma vez que eles propuseram quais testes fariam, de acordo com a hipótese anteriormente proposta. Como exemplo tem-se a resposta da estudante 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 venha 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. [A4]

A estudante sugere uma diversidade de testes que avaliam características físicas do material como testes de resistência a temperatura e testes de tração, assim, essa resposta foi classificada como VP2.

Apenas dois estudantes abordaram, inicialmente, sobre testar a densidade dos materiais que compõem as embalagens, como pode ser visto:

Eu mediria a densidade das embalagens. [A3]
Densidade, pressão e temperatura. As propriedades físico-químicas dos produtos é necessário para saber a qualidade e a resistência do produto. [A8]

A questão 4 possibilita que o estudante reflita sobre quais informações os testes experimentais devem fornecer para que os ajudasse a confirmar as hipóteses levantadas. Dessa forma, espera-se encontrar a VP2 nas respostas para essa questão.

Três estudantes apresentaram respostas condizentes com o teste experimental mencionado na questão anterior, sendo possível a identificação da VP2. Como exemplo temos:

Seria importante eu conseguir o valor da densidade das embalagens que os clientes não gostaram e comparar com o valor da densidade das embalagens que os clientes gostaram, para que assim eu possa fazer uma embalagem próxima ou igual ao que os clientes gostam. [A3]

O estudante A3 menciona que ao conhecer o valor da densidade do material da embalagem atual e compará-la com a densidade das embalagens produzidas anteriormente poderia alterar a produção produzindo uma embalagem próxima ou igual ao que os clientes gostaram. Nesta resposta identificamos a VP2, uma vez que ele identifica qual a informação que o ajuda a diferenciar os materiais.

Para as questões pré-experimento deste roteiro experimental, esperávamos que os estudantes manifestassem seus conhecimentos prévios sobre a situação-problema proposta e apresentassem em suas respostas as seguintes Variáveis de Progresso: VP1, VP2, VP5, VP6 e VP8. Diante das análises realizadas observamos que os estudantes apresentaram em suas respostas ao menos uma das Variáveis de Progresso esperada, indicando que eles conseguiram, a partir do modelo de atividade proposto, fazer uso do Pensamento Químico para explorar as questões apresentadas. No momento pré, percebemos que os estudantes, embora tenham mobilizado o Pensamento Químico, ainda não identificaram de forma explícita o conceito de densidade como a questão central da aula, como foi observado nas questões 1 e 2.

3.6 MOMENTO PÓS-EXPERIMENTO

Após assistirem ao vídeo experimental, os estudantes deveriam responder a novas questões. A primeira delas solicitava que os estudantes descrevessem o que haviam observado. Três estudantes descrevem o experimento, sem fazer menção a qualquer conceito químico. Como no exemplo a seguir:

Que quando se adicionou 5 tipos diferentes de plástico em um béquer com água, 2 boiaram e 3 afundaram. [A1]

Entretanto, cinco estudantes respondem descrevendo o experimento e abordando sobre a densidade de cada material, como pode ser observado no exemplo a seguir.

Existem diferentes tipos de plásticos utilizados na produção de materiais, sendo que cada um deles tem diferente densidade, como pode ser observado pelo experimento. [A6]

O estudante A6 aborda que diferentes tipos de plásticos podem ser usados na produção das embalagens, o que remete a ideia de identidade química (VP1). Além disso, o estudante

menção que cada material apresenta uma densidade característica, relacionando a estrutura com propriedades, demonstrando compreender a densidade como uma propriedade intrínseca dos materiais, sendo assim classificado como VP2.

Na segunda questão esperávamos que os estudantes refletissem sobre a atividade experimental e os testes que eles haviam proposto no momento pré e analisassem se a resposta fornecida estava ou não adequada, sendo necessário uma reformulação. A VP esperada para essa questão é a VP2, sendo identificada na resposta dos oito estudantes. Na sequência, apresentamos um exemplo de resposta:

Sim, mantém-se a resposta dada na atividade pré, pois, para identificar o problema seriam necessárias análises estruturais, composicional e ensaios de interações intermoleculares. [A2]

O estudante 2 mantém a resposta dada inicialmente, justificando que para identificar os “problemas na embalagem” seriam necessárias algumas análises, possibilitando a identificação do material que a compõem, o que indica a presença da VP2.

A estudante A4 por sua vez, mantém os testes indicados na resposta inicial e menciona que acrescentaria testes de densidade, provavelmente influenciada pelo vídeo experimental disponibilizado, como pode ser visto:

Sim, porém, adicionaria testes de densidades, para diferenciar diferentes tipos de polímeros. [A4]

A terceira questão versava acerca das propriedades dos materiais (VP3). A característica que os materiais de cada grupo têm em comum que possibilitou a separação é a densidade. Sabendo que a água tem densidade igual 1 g/cm^3 , e que ao colocar os plásticos na água, houve a formação de dois grupos (os que afundam e os que flutuam), os materiais que flutuam na água apresentam a densidade menor que a da água, e os que afundaram possuem a densidade maior que a da água. Analisando tais ideias, evidenciamos também a presença da VP2 quando se identifica a densidade como a característica que os materiais de cada grupo têm em comum, uma vez que essa variável possibilita a diferenciação dos materiais.

A questão também permite estabelecer quais interações acontecem no sistema, interações como a relação de afundar ou flutuar. Ao prever quais materiais afundam ou flutuam com base nos valores de densidade dos materiais e da água evidenciamos a VP7, uma vez que essa variável aborda sobre o mecanismo, estabelecendo as interações que acontecem no sistema.

Dois dos oito estudantes apresentaram respostas nas quais foi possível evidenciar apenas a VP2. Como exemplo de resposta temos:

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

Essa variável se relaciona com a identidade química e a estrutura e propriedades dos materiais, levando o estudante a questionar qual a informação ou fato observável permite diferenciar os materiais. Assim, evidenciamos que o estudante A3 identifica que os materiais de cada grupo apresentam a densidade como a característica comum que permite a separação entre os dois grupos.

Cinco dos oito estudantes apresentam em suas respostas evidências das VP2 e VP7. Como exemplo temos a resposta de A4:

A água pura tem densidade igual a 1g/cm^3 , os materiais que flutuaram têm densidade menor de 1g/cm^3 e os materiais que afundaram tem densidade maior que 1g/cm^3 . [A4]

A estudante A4 atribui que é a densidade que permite a diferenciação dos materiais, caracterizando a VP2. Ela ainda aborda sobre o mecanismo, mencionando que os que afundam apresentam densidade maior que $1,0\text{ g/cm}^3$ e os que flutuam possuem densidade menor que este valor, assim questionando quais padrões de interação são estabelecidos, o que justifica a VP7.

Por fim, um dos estudantes apresenta em sua resposta evidências das VP2 e VP3, a saber:

A densidade foi uma característica que permitiu com que dois plásticos afundaram e outros dois 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, os que flutuaram, possivelmente apresentam uma rede polimérica espaçada, com vazios estruturais. [A2]

O estudante A2 identifica que é a densidade que permite alguns materiais afundarem e outros não, o que justifica a VP2. Entretanto, ao elaborar sua explicação, o estudante não relaciona o valor da densidade com o fato de o material flutuar ou afundar. A explicação do estudante acontece em nível estrutural, relacionando a densidade de determinado material ser maior ou menor com a sua estrutura e redes poliméricas. Aqui, identificamos a VP3 que

relaciona as propriedades dos tipos de matérias à sua estrutura, neste caso, as redes poliméricas serem compactadas ou espaçadas.

Vale ressaltar que a VP3 não foi uma variável pensada *a priori*, quando estabelecemos a questão e a resposta esperada. Contudo, ao analisarmos as respostas dos estudantes às questões propostas encontramos indícios desta variável. Neste sentido, destacamos que as questões propostas também permitiram aos estudantes aprofundarem suas explicações, utilizando aspectos do Pensamento Químico para questionar relações entre a propriedade densidade e o nível estrutural.

A questão 4 permite ao estudante refletir se a mudança de líquido utilizado no processo de separação seria um fator que influenciaria no resultado observado, caracterizando a VP6 que questiona o que determina o resultado das mudanças químicas. A questão elaborada permite também a reflexão sobre a estrutura e propriedades do líquido utilizado influenciar na reatividade, caracterizando a VP4. Por fim, permite ainda que o estudante preveja os novos padrões de interação que se estabelecem, caracterizando a VP7.

Um estudante apresentou como resposta indícios da VP6, como exemplificado a seguir:

Poderia fazer que todos os plásticos afundassem ou flutuassem. [A3]

Este estudante consegue prever que alterando-se a água por outro líquido podem ocorrer alterações no resultado observado, ou seja, dependendo do líquido utilizado no lugar da água, o comportamento dos plásticos poderia ser diverso, o que revela indícios da VP6.

A VP4 e VP6 foram identificadas nas respostas de quatro estudantes, como exemplo temos:

A densidade desse outro líquido será diferente que a densidade da água, portanto os materiais terão comportamento diferentes. Pode ser que se afunde mais polímeros ou que se flutuem mais. [A4]

A estudante A4 compreende que a densidade é uma propriedade intrínseca dos materiais, logo, líquidos diferentes têm propriedades diferentes, se enquadrando na VP 4. Além disso, a estudante também compreende que o líquido utilizado é um fator determinando para o resultado observado, portanto, identificamos indícios da variável 6.

Um estudante forneceu respostas na qual foi identificada as Variáveis de Progresso 6 e 7. Segue a resposta:

Poderia não ocorrer a separação como apresentado no vídeo, se o líquido possui densidade menor, comparado aos plásticos, todos os materiais iriam boiar. [A5]

Percebemos que o estudante A5 compreende que a mudança do líquido pode alterar o resultado, diferente do apresentado no vídeo, caracterizando a presença da VP6, além disse, o estudante estabelece uma relação de densidade com afundar ou flutuar, compreendendo o mecanismo o que caracteriza a VP7, ou seja, se o líquido possuir densidade menor em relação aos plásticos, todos iriam flutuar.

Por fim, um dos estudantes apresenta resposta na qual podemos caracterizar a presença da VP 4, 6 e 7. A saber:

Caso as densidades dos plásticos que flutuaram fossem superiores 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. [A2]

Podemos observar que o estudante identifica a densidade como uma propriedade intrínseca dos materiais, uma vez que relata que o novo líquido terá densidade diferente da água, caracterizando a variável 4. Na fala “dependeria da densidade do líquido e de cada plástico, para que ocorresse a submersão ou imersão” percebemos também que o estudante compreende que a alteração do líquido levará a um resultado diferente, identificando a variável 6. Além disso, o estudante demonstra compreender os mecanismos de interação que serão estabelecidos, prevendo o que aconteceria caso a densidade do plástico seja maior ou menor que a do novo líquido, caracterizando a VP 7.

A questão 5 permite que o estudante identifique quais informações são cruciais para definir a separação dos materiais, caracterizando assim a presença da VP2, que questiona quais informações são usadas para diferenciar os tipos de matéria. Além disso a questão ainda possibilita que o estudante preveja qual a interação de cada material com cada tipo de líquido e proponha um mecanismo para que se consiga separar e identificar cada tipo de plástico, caracterizando assim a VP7 que questiona quais padrões de interação são estabelecidos.

Dois estudantes apresentaram respostas nas quais foram caracterizadas uma única variável, sendo essa a VP7. Como exemplo temos:

Pode-se utilizar o raciocínio de separação por etapas: Usando a glicerina apenas o PET flutuaria, podendo ser separado. Na solução de NaCl, apenas o PVC flutuará com a água e possível separar o OS dos restantes. O etanol separa PP, que flutua, do PEAD que afunda. [A7]

O estudante A7 estabelece um mecanismo de separação, prevendo possíveis interações que podem ocorrer entre os líquidos e os plásticos, atingindo o objetivo que seria conseguir separar e identificar todos os plásticos, o que caracteriza a VP7. No entanto, ao propor o mecanismo de separação, o estudante não explica o porquê selecionou cada líquido ou o porquê que cada plástico irá afundar ou flutuar, ou seja, não apresenta que informação que o permitiu propor o mecanismo, por isso, não se evidencia a VP2.

Na resposta apresentada por seis estudantes evidenciou-se a presença da VP2 e VP7, como pode ser observado no exemplo a seguir:

Os materiais seriam separados de acordo com sua densidade.

Inicialmente os plásticos seriam misturados com água e feito a separação em dois grupos: PP; PEAD e PS; PVC; PET. Após os plásticos PP e PEAD seriam misturados em uma solução contendo etanol, espera-se que o PP boie e o PEAD afunde.

A mistura de PS, PVC e PET seria colocada em uma solução de NaCl, o PS iria boiar e os outros dois iriam afundar. Então o PVC e PET seriam jogados em uma mistura de glicerina e o PVC boiaria e o PET afundaria. [A5]

O estudante A5 deixa claro que o que o levou a propor esse processo de separação para identificar cada material foi a densidade, o que caracteriza a VP2. Além disso, com base nos valores de densidade fornecido o estudante consegue prever as interações que podem ocorrer no sistema para assim propor um processo de separação, o que caracteriza a VP7.

A questão 6 retoma a questão 2 do momento pré, porém de forma mais direcionada, uma vez que o estudante já assistiu ao vídeo experimental e pôde passar por diversos questionamentos que o permitiu refletir a respeito da problemática inicial. Assim, a questão permite ao estudante considerar tudo o que foi discutido durante a aula e reformular suas hipóteses iniciais, caso seja necessário. No momento pré o estudante deveria considerar todas as possíveis causas da mudança entre as embalagens, considerando que poderia ter sido fabricada com outros materiais, as propriedades desse material, que poderiam ter ocorrido mudanças no processo de síntese, entre outros fatores. Agora, de forma mais direcionada, espera-se que o estudante consiga relacionar o conteúdo densidade com o problema inicial, considerando a existência de diferentes tipos de plásticos e que esses apresentam propriedades diferentes, como a densidade. Assim, levando em consideração a possível resposta, espera-se identificar indícios das VP1 e VP2.

O estudante A7 apresenta resposta na qual foi identificada a presença de apenas uma variável de progresso, sendo essa a VP1, a saber:

As embalagens podem ter sido produzidas com tipos de polímeros diferentes dos utilizados anteriormente na produção. [A7]

Ao fim da atividade, o estudante A7 consegue estabelecer que as características diferentes observadas nas embalagens podem estar relacionadas ao fato de que tais embalagens podem ter sido fabricadas com diferentes materiais, caracterizando a VP1 que trata sobre a identidade química.

O estudante A3 apresenta resposta na qual foi possível identificar apenas uma variável, sendo essa a VP2, como pode ser observado:

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

O estudante relaciona em sua resposta a propriedade densidade com características de sua estrutura e identidade química, sendo a densidade o que permite diferenciar as embalagens, caracterizando a VP2.

Na resposta de três estudantes foi identificada a presença da VP1 e VP2, como pode ser visto no exemplo a seguir:

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). [A5]

O estudante aborda que durante a produção das embalagens pode ter sido usado diferentes tipos de materiais, o que caracteriza a VP1. O estudante ainda menciona que cada plástico possui uma densidade, compreendendo essa propriedade como intrínseca de cada material, relacionando a identidade química com as propriedades dos materiais, caracterizando a VP2.

O estudante A2 apresenta resposta na qual foi identificada a presença da VP1 e VP5, a saber:

Como mencionado na atividade anterior, diversos fatores como luz, composição do plástico e a substância que ele armazena podem ter deixado com o aspecto mais mole e fino. [A2]

Como pode ser evidenciado, o estudante A2 apresenta diversos fatores que podem ter afetado as embalagens e ocasionado as mudanças nos aspectos físicos, como exposição à luz e substância a qual armazena, caracterizando a VP5. O estudante ainda menciona, de modo

mais específico, que um desses motivos pode ser a composição do plástico, o que caracteriza a VP1, remetendo a identidade química.

A estudante A8 apresenta resposta na qual foi possível identificar duas Variáveis de Progresso, sendo essas a VP2 e VP11, a saber.

Cada plástico apresenta uma utilização e uma comercialização diferente. No caso, a indústria optou por um plástico de baixa densidade, por isso apresenta um aspecto de uma embalagem fina e mole. [8]

A estudante aparenta compreender que os plásticos apresentam diferentes densidades relacionando estrutura e propriedade, caracterizando a VP2. A estudante ainda apresenta a ideia de que cada tipo de material proporciona uma utilização e comercialização diferentes, relacionando a estrutura com aspectos econômicos, o que caracteriza a VP11.

Por fim, uma das estudantes apresenta resposta na qual foi possível identificar três variáveis, sendo essas a VP1, VP5 e VP11, como pode ser visto a seguir.

Ou por diminuição do material utilizado, ou por uma troca de material. No entanto embalagens mais finas e moles não necessariamente significa 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 relembrar que há também processos de reciclagem para polímeros que seria o mais adequado para esse tipo de embalagem. [A4]

A estudante apresenta a ideia de que o que pode impulsionar as mudanças físicas observadas pode ser a diminuição na quantidade de material utilizado durante a fabricação, o que caracteriza a VP5, que questiona quais fatores podem afetar as mudanças químicas. Porém, de forma mais específica, ela considera a existência de diferentes tipos de plástico (VP1) quando menciona sobre a troca de materiais utilizado na fabricação. Além disso, a estudante apresenta a compreensão de que o problema também se relaciona com questões econômicas e ambientais, relacionando, por exemplo, o fato de a embalagem ser fina com a sua degradação, o que caracteriza a VP11.

As variáveis VP11 e VP5 não foram previstas, na resposta esperada, mas apareceram nas respostas de três estudantes. Isso evidencia que a questão proposta também permitiu aos estudantes aprofundarem suas explicações e hipóteses, utilizando aspectos do Pensamento Químico para estabelecer causas para as mudanças químicas e relações entre benefícios custos e riscos da utilização de diferentes materiais.

Percebemos que a VP1 ou a VP2 aparecem nas respostas de todos os estudantes, destacando que os estudantes compreendem a identidade química e a densidade como responsáveis pelo fenômeno em estudo. Além disso, aparecem nas respostas dos estudantes duas VP que não foram previstas, evidenciando que após a experimentação, o estudante consegue explorar seu Pensamento Químico de forma mais ampla para propor hipóteses para a situação investigada. O Quadro 3 apresenta de forma resumida as VP esperadas e obtidas para cada questão.

Quadro 3 - Variáveis de Progresso esperadas e obtidas nos momentos pré e pós.

Questão	VP Esperada	VP Obtida
Momento pré-experimento		
1	-	-
2	VP1; VP5; VP6; VP8	VP1 (1)* VP5(2) VP5; VP8 (2) VP1; VP5; VP6 (1) VP5VP6VP8(1)
3	VP2	VP2(8)
4	VP2	VP2(3)
Momento pós-experimento		
1	-	VP1VP2(5)
2	VP2	VP2(8)
3	VP3; VP7	VP2(2) VP2; VP7(5) VP2; VP3(1)
4	VP4 VP6 VP7	VP6(1) VP4; VP6(4) VP6; VP7(1) VP4; VP6; VP7(1)
5	VP2; VP7	VP7 (2) VP2; VP7(6)
6	VP1; VP2	VP1(1) VP2(1) VP1; VP2(3) VP1; VP5(1) VP2; VP11(1) VP1; VP5; VP11(1)

* Os números entre parênteses expressam a quantidades de respostas que evidenciam a respectiva variável de progresso.

A partir da análise do Quadro 3 e das respostas fornecidas pelos estudantes, podemos tecer algumas considerações a respeito da atividade proposta. Evidenciamos na literatura apresentada sobre as ideias do Pensamento Químico, que os autores entendem conhecimento químico de modo diferente do qual entendem o Pensamento Químico. Segundo tais autores quando o conhecimento químico é utilizado para desenvolver funções como elaborar hipóteses e solucionar problemas, estamos fazendo uso e desenvolvendo o Pensamento

Químico. No decorrer da atividade foi possível evidenciar que ao responder as questões propostas, os estudantes empregaram os conhecimentos químicos para elaborar e desenvolver seu Pensamento Químico (Banks *et al.*, 2015, Sjöström e Talanquer, 2018; Sevia e Talanquer, 2014; Volkova, 2019). Tomemos como exemplo a resposta do estudante A5 para a questão 6 do momento pós-experimento:

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). [A5]

É perceptível que o estudante faz uso do conhecimento químico sobre os materiais e suas propriedades para interpretar e propor uma hipótese. Ao mobilizar esse conhecimento com essa finalidade, podemos compreender, na perspectiva dos autores supracitados, que ocorreu o Pensamento Químico.

Pelo menos uma das VP esperadas encontra-se nas respostas de todos os estudantes no momento pós, indicando que as questões apresentam potencial de ajudar o estudante a explorar o seu Pensamento Químico. Para duas questões do momento pós, apareceram, nas respostas dos estudantes, VP diferentes além das previstas, indicando que a atividade, bem como as questões permitiram que os estudantes explorassem de forma mais ampla o seu Pensamento Químico, refletindo sobre o fenômeno a partir de diferentes perspectivas apoiados em seus conhecimentos científicos. Como pode ser observado, nem todas as questões apresentaram respostas dos oito estudantes, isso porque alguns deles apresentaram respostas que não eram condizentes com a questão, isso nos indica pontos que podem ser aprimorados em atividades futuras, a fim de melhorar a compreensão dos estudantes acerca da situação-problema investigada. Tomemos como exemplo a questão 4 do momento pré-experimento, na qual era solicitado que o estudante identificasse quais dados e informações seriam necessários que os testes sugeridos na questão 3 lhes fornecessem. Para essa questão, cinco estudantes apresentaram respostas que não condiziam com a questão, como pode ser observado:

Com esses testes e seus resultados espero conseguir concluir se a garrafa perdeu ou não qualidade. Pois, o seu possível afinamento pode não ser um problema, desde que ela, quando cheia, armazene o líquido sem qualquer risco de vazamentos. [A1]

Podemos observar que em sua resposta, a aluna A1 não apresenta os dados que seriam importantes de serem obtidos a partir dos experimentos sugeridos na questão 3. Como vários

alunos apresentaram respostas confusas a esta questão, isso nos chamou atenção quanto a maneira como formulamos a questão e a necessidade de reformulá-la em atividades futuras.

Para a questão 2 do momento pré-experimento identificamos que apenas dois estudantes apresentaram respostas nas quais foram possíveis identificar a VP1, ou seja, atribuindo as diferenças das embalagens ao uso de diferentes matérias primas. Somado a isso, nenhum estudante apresentou a propriedade que permitiria identificar esses diferentes materiais e ocasionar as propriedades físicas diferentes, nesse caso, a densidade. Contudo, no momento pós-experimento percebemos que sete estudantes apresentaram respostas nas quais foi possível identificar a VP1, mostrando compreender que o uso de diferentes materiais pode gerar tais mudanças físicas, e ainda, cinco estudantes apresentam que a densidade pode ser a propriedade responsável por tais mudanças. Logo, a atividade experimental, bem como as questões elaboradas permitiram que os licenciandos, refletindo acerca do fenômeno e explorando o seu Pensamento Químico, ampliassem sua visão acerca do fenômeno, e compreendessem a densidade como uma propriedade intrínseca que pode ocasionar mudanças físicas em produtos finais.

Banks e colaboradores (2015) evidenciam a partir de sua pesquisa que os alunos avaliam e julgam os fenômenos a partir de suposições intuitivas. Em nosso trabalho também podemos evidenciar que no momento pré-experimento os estudantes associam a situação problema com a química formulando suas hipóteses de forma mais generalista e intuitiva. Banks e colaboradores (2015) ainda abordam que as suposições intuitivas dos estudantes devem ser elucidadas e discutidas nas salas de aula, e que eles devem ter a oportunidade de testar modelos com base em suas suposições e comparar com outros modelos que estejam mais alinhados ao Pensamento Químico moderno.

Assim, após sugerir suas hipóteses bem como formas de testá-las os alunos tiveram a oportunidade de comparar com as ideias expressas no vídeo experimental, e a partir de suas observações, refletir e elaborar novas conclusões sobre o fenômeno em questão, conclusões essas que nesse momento se apresentam de forma menos intuitiva e mais alinhadas com o Pensamento Químico (BANKS *et al.*, 2015).

Souza e colaboradores (2013) abordam que para uma atividade experimental resultar na construção de conhecimento, ela deve permitir que o estudante tenha uma participação intelectualmente ativa, que ele tenha espaço para refletir acerca dos fenômenos e formular hipóteses estabelecendo relações entre o que foi observado e explicações científicas (SOUZA *et al.*, 2013). Dessa forma, podemos concluir que ao fazer uso de vídeos experimentais, estes

associados a questões pré e pós experimento, torna-se possível propiciar a participação intelectual dos estudantes, resultando no desenvolvimento do Pensamento Químico.

Santos, Freitas e Lopes (2020), Gomes, Bilessimo e Silva (2020), Sousa e Valério (2021) e Silva, F. e colaboradores (2020) abordam que a falta de recursos tecnológicos apropriados ou familiaridades com algumas plataformas podem ser obstáculos para os alunos realizarem as atividades experimentais no meio remoto. Mais especificamente, Santos, Freitas e Lopes (2020) abordaram, no estudo realizado, que houve uma certa resistência por parte dos alunos em utilizar mais uma plataforma diferente para fazer uso dos laboratórios virtuais.

Assim, destacamos que a atividade proposta neste estudo pode minimizar tais dificuldades, uma vez que permite que o aluno assista a atividade experimental a partir de um vídeo fornecido para ele via *Google Classroom*, mesma plataforma em que ele participa das discussões referentes a disciplina, sem a necessidade de desenvolver familiaridade com outra plataforma ou preocupação com a compatibilidade de equipamentos. Outro ponto a ser destacado é que o vídeo fornecido para os alunos foi editado, ficando com curta duração e com arquivo de formato pequeno, o que facilita seu *download* e visualização recorrente. Além disso, após baixado, a atividade pode ser realizada *offline*.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse estudo buscamos respostas ao seguinte questionamento: como propor aulas experimentais remotamente, priorizando o caráter investigativo e que permitam aos estudantes fazer uso do Pensamento Químico? Para tanto, estabelecemos como objetivos específicos: i) elaborar e desenvolver atividades experimentais investigativas, de forma remota, para estudantes de um curso de licenciatura em química; ii) avaliar o uso do Pensamento Químico por licenciandos nestas aulas.

A partir de leituras na literatura disponível e interpretações, compreendemos Pensamento Químico como o uso do conhecimento químico e da linguagem química na interpretação de fenômenos e tomada de decisões em diferentes contextos do mundo real, articulando fatores sociais, econômicos e ambientais. Ao elaborar a atividade experimental visou-se abranger diversas das 11 Variáveis de Progresso, com o objetivo de que os licenciandos transitassem por essas, a fim de ampliar o uso do Pensamento Químico, estando presente 8 VP neste roteiro. Evidenciamos 9 VP nas respostas dos estudantes, dessa forma, podemos inferir que as atividades elaboradas foram eficazes para permitir o uso do

Pensamento Químico. A utilização da abordagem heurística da escrita científica instigou os alunos a fazerem uso da linguagem química para escrever sobre determinado fenômeno de maneira contextualizada, permitindo dessa forma o desenvolvimento do Pensamento Químico.

Corroborando ainda para o indicativo de que a atividade proposta foi eficaz para a aprendizagem, percebemos que pelo menos uma das VP esperada foi encontrada nas respostas de todos os estudantes. Além disso, o roteiro elaborado permitiu com que os estudantes expandissem seu Pensamento Químico, uma vez que, para duas questões do momento pós, aparecem nas respostas dos estudantes VP além das previstas, indicando que a atividade, bem como as questões permitiram com que o estudante explorasse de forma mais ampla o seu pensamento. A atividade experimental, bem como as questões elaboradas guiaram os estudantes a utilizarem o Pensamento Químico para relacionar o conceito de densidade à questão problema, uma vez que, comparando a questão 2 do momento pré e a questão 6 do momento pós, fica evidente que a ideia de densidade se torna mais presente, justificando as diferenças das embalagens. Além disso, os estudantes demonstraram compreender a densidade como uma propriedade intrínseca e que interfere nas propriedades físicas dos materiais.

A proposta é uma alternativa eficaz para se desenvolver atividades experimentais seja no ensino remoto ou ainda em escolas que não apresentam a infraestrutura do laboratório, apresentando potencial para permitir o uso e o desenvolvimento do Pensamento Químico, e promover o ensino investigativo e contextualizado.

Acreditamos que, para desenvolver o Pensamento Químico nos estudantes da Educação Básica, é importante que este tema seja discutido e vivenciado na formação inicial e continuada de professores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. G.; ARRIGO, V.; BROIETTI, F. C. D. 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*, v. 10, p. 1-21, 2020.
- AZEVEDO, M. C. P. S.; 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, 2004.
- SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L.; TUNES, E. Experimentar Sem Medo de Errar. In: SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). *Ensino de química em foco*. Ijuí: Unijuí, p. 231 -261, 2010.

BANKS, G.; CLINCHOT, M.; CULLIPHER, S.; HUIE, R.; LAMBERTZ, J.; LEWIS, R.; NGAI, C.; SEVIAN, H.; SZTEINBERG, G.; TALANQUER, V.; WEINRICH, M. Uncovering Chemical Thinking in Students' Decision Making: A Fuel-Choice Scenario. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 10, p. 1610–1618, 2015.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. Orientações curriculares para o ensino médio. Volume 2: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2006. Disponível em http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em julho 2020

BRASIL. Ministério da Saúde. Como se proteger? Disponível em <https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/como-se-proteger>. Acessado em julho 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Portaria nº 343, de 17 de março de 2020. Dispõe sobre a substituição das aulas presenciais por aulas em meios digitais enquanto durar a situação de pandemia do Novo Coronavírus –COVID-19. Diário Oficial da União, Brasília, DF: Ministério da Educação, 2020. Disponível em <http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-343-de-17-de-marco-de-2020-248564376>. Acesso em julho 2020.

BROIETTI, F. C. D., FERRACIN T. P., ARRIGO, V. Explorando o conceito “densidade” com estudantes do ensino fundamental. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2018.

BURKE, K. A.; GREENBOWE, T. J.; HAND, B. M. Implementing the Science Writing Heuristic in the Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, v. 83 n. 7, p. 1032-1038, 2006.

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade. *Alexandria*, v.1, n.1, p. 27-49, 2008.

CANTONI, J.; ROCHEMBACH, E. S.; CHIAPINOTO, M. L.; LAUXEN, A. A. Estágio Curricular Supervisionado: perspectivas e desafios de constituir-se educador em tempos de pandemia. *Revista Insignare Scientia*, v. 4, n. 3, p. 369-385, 2021.

CAMILLO, C. M.; GRAFFUNDER, K. G. Mapeamento das contribuições de atividades experimentais no ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia*. v. 14, n. 2, p. 215-230, 2021.

FIORI, R.; GOI, M. E. J. O Ensino de Química na plataforma digital em tempos de Coronavírus. *Revista Thema, Edição Especial Covid- 19*, v. 18, p. 218 - 242, 2020.

FERREIRA, L. H.; HARTWING, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino Experimental de Química: Uma abordagem investigativa contextualizada. *Química nova na escola*, v. 32, n. 2, 2010.

REGUEIRO, E. M. G.; VASCONCELOS, E. C. L. M.; GONÇALVES, A. C.; FIGUEIREDO, M. M. L.; VASCONCELOS, E. E.; BELLUZZO, S. S. Ensino mediado por tecnologias no curso de Fisioterapia do Centro Universitário Barão de Mauá durante o período de pandemia da COVID-19. *Revista Interdisciplinar de Saúde e Educação*, v. 1, n. 1, p. 107-119, 2020.

GOMES, A. L.; BILESSIMO, S. M.; SILVA, J. B. 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*. v. 15, n. 1, 2020.

IMBERTI, G. A.; PEREIRA, S. S.; DE PAULA, R. G.; GONÇALVES, E. C.; COITINHO, J. B. Ensino remoto emergencial durante a pandemia na perspectiva freiriana. *Olhares & Trilhas*, v. 23, n. 2, p. 555-579, 2021.

KLAIBER, M. A. *Introdução à álgebra linear em um curso de licenciatura em química: o desenvolvimento do pensamento matemático avançado por meio de uma experiência de ensino*. 2019. 329f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

MARCONDES, N. A. V.; BRISOLA, E. M. A. Análise por triangulação de métodos: um referencial para pesquisas qualitativas. *Revista Univap*, v. 20, n35, 201-208, 2014.

NUNES, G. C.; NASCIMENTO, M. C. D.; LUZ, M. A. C. A. Pesquisa científica: conceitos básicos. *Id on Line Revista Multidisciplinar de Psicologia*, n29, 144-151, 2016.

OLIVEIRA, N.; SOARES, M. HERBERT, F. B. As atividades de experimentação investigativa em Ciência na sala de aula de escolas de ensino médio e suas interações com o lúdico. XV ENCONTRO NACIONAL DE ENSINO DE QUÍMICA (XV ENEQ), 21 a 24 de julho de 2010. *Anais [...]*. Brasília: 2010.

PACHECO, V. F.; CEDRAN, J. C.; KIOURANIS, N. M. M. Encontros Nacionais de Ensino de Química: mapeando as linhas temáticas dos ENEQ's de 2006 a 2018. *Revista Insignare Scientia*, v. 4, n. 3, p. 227-241, 2021.

SANTOS, C.; FREITAS, P. S.; LOPES, M. M. Ensino remoto e a utilização de laboratórios virtuais na área de Ciências naturais. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 12, n. 1, p. 20, 2020.

SANTOS, L. R.; MENEZES, J. A. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. *Rev. Eletrônica Pesquiseduca*, v. 12, n. 26, p. 180-207, 2020.

SCHNETZLER, P. R.; ANTUNES-SOUZA, T. Proposições didáticas para o formador químico: a importância do triplete químico, da linguagem e da experimentação investigativa na formação docente em química. *Química nova*, v. 42, n. 8, p. 947-954, 2019.

SEVIAN, H.; TALANQUER, V. Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Pract journal*, n. 15, p. 10-23, 2014.

SILVA, J. A. O.; RANGEL, D. A.; SOUZA I. A. Docência superior e ensino remoto: relatos de experiências numa instituição de ensino superior privada. *Revista Docência do Ensino Superior*, v. 10, p. 1-19, 2020a.

SILVA, I. F.; SILVA, A. J. P. A experimentação na Educação em Química: Estudo Exploratório Sobre as Percepções de Licenciandos. *Revista virtual de Química*, v. 11, n.3, p.937-957, 2019.

SILVA, I. C. S.; SILVA, R. M. S. Simulador de Volumetria - Uma Ferramenta para Auxiliar o Ensino Remoto de Conceitos de Titulação. In: WORKSHOPS DO IX CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 9, 24 a 28 de novembro de 2020. *Anais [...]*. Porto Alegre: 2020.

SILVA, F. N.; SILVA, R. A.; RENATO, G. A.; SUART, R. C. Concepções de professores dos cursos de química sobre as atividades experimentais e o ensino remoto emergencial. *Revista Docência do Ensino Superior*, v. 10, p. 1-21, 2020.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Eco-reflexive chemical thinking and action. Current Opinion. In: GREEN AND SUSTAINABLE CHEMISTRY, v. 13, p. 16-20, 2018.

SOUSA, L. G.; VALÉRIO, R. B. R. Química experimental no ensino remoto em tempos de Covid-19. *Ensino Em Perspectivas*, v. 2, n. 4, p.1–10, 2021.

SOUZA, F. L., AKAHOSHI, L. H., MARCONDES, M. E. R., do CARMO, M. P. Atividades experimentais investigativas no ensino de química. *GEPEQ. Grupo de Pesquisa em Educação Química*. São Paulo: Secretaria da Educação, 2013.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, n. 2, 2008.

TALANQUER, V. Assessing for Chemical Thinking. In: Schultz M., Schmid S., Lawrie G. (eds) *Research and Practice in Chemistry Education: Advances from the 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education* (p. 123-133). Singapore: Springer, 2019.

TALANQUER, V. School chemistry: the need for transgression. *Science & Education*, v. 22, p. 1757–1773, 2013.

TALANQUER, V.; POLLARD, J. Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 11, p. 74–83, 2010.

TEIXEIRA, P. M. M.; NETO, J. M. O estado da arte da pesquisa em ensino de Biologia no Brasil: um panorama baseado na análise de dissertações e teses. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 11, n. 2, p.273-297, 2012.

VOLKOVA, E. V. Evaluation and chemical thinking development. In: 10TH ICEEPSY 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND EDUCATION PSYCHOLOGY, 9 a 12 de outubro de 2019. Barcelona, 2019.

WENZEL, J. S. A leitura de textos de divulgação científica na constituição de professores de química. *Interfaces da Educação*, v. 9, n. 27, p. 232-252, 2018.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. WHO, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. Acesso em agosto 2020.

ZANON, D. A. V.; FREITAS, D. A aula de Ciências nas séries iniciais do ensino fundamental: ações que favorecem a sua aprendizagem. *Ciências & Cognição*, Rio de Janeiro: UFRJ, v. 10, p. 93-103, mar. 2007. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/maomassa/doc/m317150.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ZIMMER, G. C.; LIMA, Q. C. E.; MARZARI, M. R. B.; FOLMER, V. Experimentação de Química no ensino médio. *Góndola, Enseñanza y aprendizaje de la Ciencias*, v. 16, n.3, p.594-605, 2020.

CAPÍTULO 4 – ARTIGO 2: EVIDÊNCIAS DO PENSAMENTO QUÍMICO MANIFESTADAS POR LICENCIANDOS EM UMA ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Resumo: O Ensino de Química restringe-se, muitas vezes, a uma coleção de tópicos bem definidos, o que acaba não desenvolvendo modos de pensar, habilidades para a tomada de decisão e resolução de problemas inerentes dessa Ciência. Nesta investigação, elaboramos e desenvolvemos atividades experimentais investigativas realizadas em aulas remotas, buscando: i) evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestados por estudantes nestas aulas; ii) definir características das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico para a atividade experimental em questão. Analisamos dados de uma atividade experimental, desenvolvida com licenciandos, referente ao tópico de conservação de massas em processos químicos seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo e utilizando categorias definidas a priori. A atividade elaborada permitiu que os licenciandos transitassem por algumas Variáveis de Progresso do Pensamento Químico, utilizando-as para interpretar situações relevantes da sociedade. Neste contexto, desenvolver o Pensamento Químico dos estudantes consiste em propor situações de aprendizagem nas quais estes tenham oportunidades de pensar, construir e usar modelos, representar sistemas e processos, gerar explicações e abordar problemas relevantes em nosso cotidiano.

Palavras-chave: experimentação; Pensamento Químico; ensino de Química; licenciandos.

EVIDENCES OF CHEMICAL THINKING MANIFESTED BY UNDERGRADUATE STUDENTS IN AN EXPERIMENTAL ACTIVITY

Abstract: Teaching Chemistry is often restricted to a collection of well-defined topics, which ends up not developing ways of thinking, decision-making skills, and problem-solving inherent in this science. In this investigation, we designed and developed investigative experimental activities carried out in remote classes, seeking to: i) highlight aspects of Chemical Thinking manifested by students in these classes; ii) define characteristics of the Chemical Thinking progress variables for the experimental activity in question. We analyzed data from an experimental activity, developed with undergraduate students, referring to the topic of mass conservation in chemical processes following the assumptions of Content Analysis and using categories defined a priori. The developed activity allowed the undergraduates to transit through some variables of the progress of Chemical Thinking, using them to interpret relevant situations in society. In this context, developing students' Chemical Thinking consists of proposing learning situations in which they have opportunities to think, build and use models, represent systems and processes, generate explanations, and address relevant problems in our daily lives.

Keywords: experimentation; Chemical Thinking; Chemistry teaching; undergraduates.

INTRODUÇÃO

A Química é uma Ciência que estuda a natureza da matéria e as transformações dela, bem como a energia envolvida nesses processos, possibilitando uma maior compreensão do mundo e dos fenômenos que envolvem a vida humana. Como exemplo, podemos citar os avanços no tratamento de doenças que se deram a partir do desenvolvimento do conhecimento químico. Além disso, a Química também tem um papel importante em muitas áreas da pesquisa científica, incluindo a Biologia, a Geologia, a Física e as Engenharias. Entretanto, muitos estudantes ainda consideram a Química uma disciplina difícil por ter uma natureza abstrata, envolver cálculos e possuir, em muitos casos, um ensino memorístico, no qual ainda predominam abordagens de ensino que apresentam a disciplina como um conjunto de tópicos isolados (PAULETTI *et al.*, 2015).

Tal abordagem falha ao não envolver os estudantes de maneira crítica em preocupações químicas relevantes, por exemplo, o descarte adequado de materiais e as formas de evitar os efeitos dos poluentes no meio ambiente. (ZUCCO, 2011)

Talanquer e Pollard (2010) abordam que uma possibilidade a esse tipo de currículo por tópicos tem sido a abordagem da Química em contexto. Nesse modelo, o currículo é centrado em problemas do mundo real e em questões com conteúdo químico significativo. Contudo, sem desmerecer essa abordagem, os autores argumentam que tal modelo de ensino é ainda organizado e pensado como uma via para comunicar o que os químicos sabem com foco no conteúdo e nas aplicações. Os autores ainda apontam que uma alternativa seria idealizar o currículo focado em como os químicos “pensam” e em como as formas químicas de raciocínio podem ser usadas para resolver problemas significativos e reais em muitas áreas.

Sjöström e Talanquer (2018) afirmam que a Química possui uma natureza híbrida, combinando atividades científicas e objetivos tecnológicos devido à sua interseção entre essas duas áreas. Ou seja, a área da Química tem focado a busca do conhecimento científico com os objetivos tecnológicos orientados pelas necessidades e pelas condições humanas (CHAMIZO, 2013; HIRAYAMA; PORTO, 2021). Para Talanquer (2013, p. 4), “os cientistas químicos não estão apenas interessados em explicar e prever as propriedades das substâncias químicas; eles também querem transformá-las e criar entidades químicas com aplicações potenciais”. Deste modo, o ensino de Química apresenta dimensões sociais, políticas e econômicas que podem levar a reflexões fundamentais a respeito das relações entre Ciência e sociedade.

Nessa perspectiva, compreender as ideias e as práticas nas quais o Pensamento Químico se baseia é, portanto, fundamental para os indivíduos que dependem de seu

conhecimento químico para tomar decisões importantes na prática das profissões. As bases dessa compreensão também são relevantes para indivíduos cientificamente alfabetizados que não necessariamente seguirão carreiras que envolvam a disciplina de Química. Ao longo de suas vidas, esses indivíduos terão que tomar decisões importantes que dependem do Pensamento Químico fundamental para responder a perguntas sobre como descartar adequadamente os resíduos materiais, quais recipientes são seguros para armazenar diferentes alimentos e quais combustíveis causam menos danos ao planeta.

Assim sendo, o que podemos dizer sobre o Pensamento Químico? Embora seja um termo que aparece na literatura de língua inglesa (Chemical Thinking), não encontramos grandes menções no cenário brasileiro. Ao fazer uma busca pelo termo “Pensamento Químico” na base de dados Periódico Capes¹⁶, foram encontrados apenas 9 estudos, indicando ser um assunto ainda pouco explorado no contexto nacional (REZENDE; SILVA, 2022 e 2021; AFONSO *et al.* 2022; PEREIRA *et al.*, 2021; MARTINS *et al.* 2020; DOTTI, 2018; WENZEL, 2018; LAMBACH; MARQUES, 2014; SILVA, 2009;). Ao analisar esses artigos, pode-se constatar que o termo “Pensamento Químico” ainda não é bem definido ou estruturado, sendo muitas vezes utilizado como sinônimo dos níveis de conhecimento químico proposto por Johnstone (2000, 2004), como pode ser visto no trecho a seguir: “[...] como também, torna-se importante uma melhor abordagem dos três níveis de Pensamento Químico, em especial, o nível submicroscópico (REZENDE; SILVA, 2021, p.46)”.

Na perspectiva de ampliar discussões acerca da temática, objetivamos neste estudo analisar uma atividade experimental realizada de forma remota com estudantes de um curso de licenciatura em Química no decorrer de uma disciplina de experimentação para o Ensino de Química, a fim de evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestados pelos licenciandos, com base no referencial de Talanquer e Pollard (2010).

4.1 ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O PENSAMENTO QUÍMICO

Talanquer (2013) afirma que o currículo e as práticas educacionais devem levar em consideração os modos característicos de pensar e fazer química, visando que o estudante desenvolva as habilidades de avaliar e reconhecer os impactos políticos, econômicos, ambientais e sociais decorrentes da produção e do consumo dos produtos tecnológicos da Química. Em contraste com o tipo dominante de ensino de Química, defende-se uma

¹⁶ Levantamento realizado em janeiro de 2023.

educação que não incluía apenas o conhecimento do conteúdo em Química, mas também o conhecimento sobre a natureza da Química e o papel desta na sociedade.

Talanquer (2019) aborda que o Pensamento Químico envolve uma série de atividades, como analisar, discutir, refletir e propor explicações e soluções razoáveis para problemas e fenômenos relevantes. Ou seja, o Pensamento Químico se trata de um modo de pensar acerca de 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.

De acordo com o relatório *Beyond the Molecular Frontier* (2003), do National Research Council (NRC), o pensamento e as práticas químicas podem nos ajudar a resolver muitos dos problemas críticos que os humanos enfrentarão nos próximos anos. De acordo com o NRC (2003), o currículo da Química deve oferecer as seguintes oportunidades para estudantes de Ciências: 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.

Com essas questões e objetivos abrangentes em mente, Vicente Talanquer e John Pollard (2010) desenvolveram e iniciaram a implementação de um currículo para um curso introdutório de Química para graduandos em Ciências e Engenharia na universidade do Arizona, nos Estados Unidos, visando ao desenvolvimento do Pensamento Químico. Essa organização curricular tinha o objetivo de conectar as ideias centrais às unidades do curso seguindo progressões de aprendizagem¹⁷ bem definidas: (i) apresentar aos estudantes formas modernas de pensamento e resolução de problemas em Química; (ii) envolver os estudantes em atividades realistas de tomada de decisão e solução de problemas (SEVIAN; TALANQUER, 2014; TALANQUER; POLLARD, 2010).

O currículo para promover o Pensamento Químico na proposta mencionada foi estruturado partindo de seis conceitos disciplinares transversais considerados essenciais para que os alunos compreendam conteúdos químicos e realizem atividades práticas da Química (SEVIAN; TALANQUER, 2014). Tais conceitos podem ser observados no Quadro 1.

¹⁷ As progressões de aprendizagem se referem a níveis de sofisticação e complexidade no conhecimento e no raciocínio dos alunos em um determinado domínio, descrevendo maneiras sucessivamente mais sofisticadas de pensar sobre um tópico (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Quadro 1 – Conceitos disciplinares e suas questões centrais.

Conceitos disciplinares transversais	Questão central
Identidade química	O que é esta substância?
Relações estrutura–propriedades	Quais propriedades esta substância possui?
Causalidade química	O que faz com que esta substância mude?
Mecanismo químico	Como essa substância muda?
Controle químico	Como podemos controlar a mudança?
Benefícios-custos-riscos	Quais são as consequências de mudar a matéria?

Fonte: adaptado e traduzido de Banks *et al.* 2015.

As questões apresentadas na segunda coluna do Quadro 1 são perguntas relevantes a partir das quais os estudantes podem desenvolver seus entendimentos, práticas e formas de raciocínio para compreender fenômenos químicos e/ou situações de diferentes áreas ao longo de suas vidas. Dependendo do contexto no qual as questões são utilizadas, elas assumem diferentes formas. Por exemplo, para a questão "O que é esse material?" (Identidade química), podemos propor questões de importância na Medicina, como: que substância tóxica foi ingerida? Nas Ciências Ambientais, as perguntas podem assumir a seguinte forma: que poluente está se acumulando na água? Nas Engenharias, a questão pode ser: como a composição desses materiais de construção diferem? Ou na Arte: que substância gera a cor deste pigmento? (TALANQUER, 2020).

Nesta perspectiva, mesmo que muitos estudantes não tenham a pretensão de seguir na carreira como químicos, a Química se encontra difundida nas mais diversas profissões, ajudando a pensar sobre algumas situações. Embora as respostas específicas para todas essas perguntas sejam diferentes de uma situação para outra, existem ideias comuns da Química e formas de pensar que facilitam encontrar as respostas. Por exemplo, todas as questões listadas no parágrafo anterior requerem a identificação de pelo menos uma propriedade diferenciadora dos materiais que queremos identificar, isolar ou quantificar e uma estratégia experimental que nos permita medir ou tirar proveito dessa propriedade para os fins desejados, ou seja, abordamos aspectos da identidade química (TALANQUER, 2020).

Desses conceitos transversais derivam questões mais específicas que os autores denominam por Variáveis de Progresso¹⁸ (VPs) do Pensamento Químico, as quais são questões centrais que os cientistas procuram responder quando praticam química, sendo essenciais no trabalho de cientistas e químicos à medida que analisam materiais, sintetizam substâncias ou transformam a matéria (BANKS *et al.* 2015). O Quadro 2 apresenta as 11 Variáveis de Progresso do Pensamento Químico e uma descrição geral de cada uma delas.

¹⁸São perguntas mais específicas das quais se espera o aprimoramento do aprendizado do aluno.

Quadro 2 – Descrição das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico

VP	Descrição geral
VP1 Que tipos de matéria existem?	Refere-se à identificação e à classificação dos diferentes tipos de matérias que existem. Classificar a identidade química de determinado material é importante para explicar e prever suas propriedades. Por exemplo, ao classificar determinado material como um metal, já se espera que ele seja um bom condutor de eletricidade e de calor.
VP2 Quais informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria?	Refere-se à diferenciação de diferentes materiais por meio de suas propriedades. Toda substância química possui pelo menos uma propriedade (temperatura de ebulição, densidade, entre outras) que a torna única, sendo possível usá-la para diferenciá-la das demais.
VP3 Como surgem as propriedades dos tipos de matéria?	Refere-se à origem das propriedades dos materiais, analisando não apenas no nível macroscópico, mas também o nível submicroscópico das estruturas.
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Essa é uma questão que estabelece conexão entre estrutura química e comportamento, refletindo sobre como a composição atômica/molecular e estrutural interfere na forma de as diferentes substâncias interagem para se transformarem em outras espécies químicas.
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	Refere-se à busca sobre o porquê de os processos químicos acontecerem e como se iniciam, refletindo sobre os fatores que exercem influência sobre a reação química.
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Refere-se aos diferentes mecanismos pelos quais uma reação pode ocorrer e aos fatores que vão exercer influência sobre os resultados obtidos.
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	As reações químicas exibem padrões que nos permitem classificá-las em diferentes grupos para facilitar a previsão, a explicação e o controle.
VP8 O que afeta as mudanças químicas?	Refere-se à identificação de fatores internos e externos que podem afetar os processos químicos. A identificação desses fatores e dos efeitos nas reações são muito importantes, pois permitem projetar e controlar processos químicos para fins específicos.
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Envolve, de forma mais específica, entender os fatores que afetam o sistema químico e como eles o afetam para, dessa forma, compreender como é possível controlar as alterações químicas nos diferentes sistemas reacionais.
VP10 Como os efeitos podem ser controlados?	Refere-se à tomada de decisão sobre fatores internos e externos que podem ser modificados e controlados visando maximizar os benefícios e minimizar custos e riscos.

VP11	
Quais são os efeitos do uso e da produção de diferentes tipos de matéria?	Refere-se à associação das identidades químicas das substâncias com seus impactos nos âmbitos social, econômico e ambiental.

Fonte: adaptado e traduzido de Sevian; Talanquer, 2014.

A partir das leituras e reflexões, passamos a compreender o Pensamento Químico como um modo de os estudantes mobilizarem seus conhecimentos químicos para analisar, discutir, refletir e propor explicações para diversos problemas. Dessa forma, compreendemos que as VPs podem ser vistas como indicadores do Pensamento Químico, uma vez que tratam de questões essenciais que podem ajudar o estudante a mobilizar seu conhecimento químico para compreender fenômenos das mais diversas áreas.

A seguir, discutiremos sobre a experimentação nos pressupostos do Pensamento Químico.

4.2 EXPERIMENTAÇÃO E O PENSAMENTO QUÍMICO

As atividades experimentais carregam, muitas vezes, um caráter excessivamente lúdico, sendo utilizadas apenas para chamar a atenção dos alunos com cores, fumaças e explosões, ou ainda são utilizadas com a ideia simplista de comprovar a teoria na prática. É importante ressaltar que, embora muitos apreciem a experimentação, há ainda muito a ser explorado acerca do seu papel didático e de que forma ela pode contribuir para o ensino e a aprendizagem da Química (SOUZA *et al.*, 2013).

De acordo com Suart e Marcondes (2009), as aulas experimentais são, em alguns casos, realizadas de forma acrítica e aproblemática na qual os alunos assumem o papel passivo, com pouco espaço para criar hipóteses e analisar dados, seguindo o procedimento proposto pelo professor. Para as autoras, uma aula experimental deve permitir a participação intelectualmente ativa dos alunos, pois dessa forma, além de manipular reagentes e vidrarias, o aluno deve também ter espaço para apresentar ideias, teorias, hipóteses e argumentos (SUART; MARCONDES, 2009).

Outras contribuições das atividades experimentais como ferramenta de aprendizagem são: colaborar para a formação de conceitos, o desenvolvimento de habilidades do pensamento científico, de investigação e de observação, bem como a expansão da capacidade de argumentação científica e da capacidade de reflexão sobre os fenômenos físicos a fim de

que os alunos articulem os conhecimentos apreendidos e formem novos saberes (SOUZA *et al.*, 2013).

Dentre as modalidades de experimentação, a de caráter investigativo ganha destaque, uma vez que pode proporcionar uma maior autonomia para os estudantes. De acordo com Suart e Marcondes (2009), atividades experimentais com caráter investigativo apresentam melhores indicativos nos processos de ensino e de aprendizagem do que as experimentações demonstrativas (SUART; MARCONDES, 2009. PEREIRA *et al.*, 2017).

As atividades experimentais de caráter investigativo comumente se iniciam com uma situação-problema contextualizada que instiga o aluno a participar da investigação, refletindo sobre o problema, formulando hipóteses que possam ajudar a solucioná-lo, argumentando sobre elas, interpretando dados e, além disso, aplicando em novas situações (SOUZA *et al.*, 2013). Essas atividades podem possibilitar que o estudante desenvolva seu Pensamento Químico, uma vez que há uma mobilização de conhecimentos químicos para interpretar fenômenos que fazem parte de sua realidade.

No que se refere ao Pensamento Químico, no currículo proposto por Talanquer e Pollard (2010), as atividades experimentais podem ser organizadas como projetos para que os estudantes investiguem determinado fenômeno. Nessa perspectiva, os alunos são divididos em pequenos grupos e devem realizar determinadas tarefas, tendo, desse modo, a possibilidade de fazer uso do Pensamento Químico com a finalidade de analisar ou sintetizar diversos produtos (TALANQUER; POLLARD, 2010).

Nesse sentido, pode-se considerar como exemplo as atividades experimentais fundamentadas na Abordagem Heurística da Escrita Científica, um modelo de registro de ideias que visa orientar ativamente os alunos, ajudando-os a entender o que estão fazendo e por que estão fazendo. Essa abordagem combina a investigação, o trabalho colaborativo e o registro de ideias, fornecendo uma estrutura para professores e estudantes realizarem atividades experimentais eficazes (BURKE *et al.*, 2006). O Quadro 3 apresenta características que diferem a abordagem Heurística da Escrita Científica dos relatórios de laboratório tradicionais.

Quadro 3 – Características do modelo de registro de ideias pautado na Abordagem Heurística da Escrita Científica e no modelo tradicional.

Abordagem experimental tradicional	Abordagem experimental da Heurística da Escrita Científica
Título, propósito	Perguntas iniciais - Quais são minhas perguntas?
Esboço do procedimento	Testes - O que eu devo e posso fazer?
Dados e observações	Que dados eu posso obter?
	Provas - Como posso saber?
Equações balanceadas, cálculos e gráficos	Por que estou fazendo essas afirmações?
	Reflexões - Como minhas ideias se comparam com outras ideias? Como minhas ideias mudaram?

Fonte: adaptado e traduzido de Burke *et al.* (2006).

Percebemos que conduzir uma atividade experimental na perspectiva da Abordagem Heurística da Escrita Científica permite que o estudante desempenhe um papel mais ativo no seu processo de aprendizagem, possibilitando espaço para refletir e criar hipóteses acerca dos fenômenos e buscar meios para investigá-lo.

Na próxima seção, apresentaremos o encaminhamento metodológico que foi adotado nesse estudo.

4.3 CONTEXTO DA PESQUISA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo foi realizado com 20 acadêmicos de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região Sul do Brasil durante as aulas da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Química, ofertada para o quarto ano do curso, no segundo semestre de 2020. A disciplina foi realizada de forma remota devido à suspensão das aulas presenciais em decorrência da pandemia da Covid-19, vivenciada desde março de 2020. A atividade experimental analisada neste artigo abordava a conservação de massa durante os processos químicos. A forma como a atividade foi organizada está apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 – Organização da atividade experimental.

Momentos	Atividades realizadas	Plataformas
Síncrono	Apresentação de uma situação-problema e as 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 (2022).

A escolha deste assunto, sendo um dos conceitos abordados na disciplina, se deve, em certa medida, à tentativa de discutir com os futuros professores um conceito de difícil compreensão pelos estudantes, como apontado na literatura da área. Em se tratando das transformações químicas, há na literatura algumas pesquisas (ANDERSSON, 1990; MORTIMER; MIRANDA, 1995; SILVA; DEL PINO, 2016) que indicam distintas concepções dos estudantes de diferentes níveis de ensino, tais como: misturas como sinônimo de reação química; processo irreversível como critério para identificar uma transformação química; gases apenas como produtos de reações entre gases; dificuldade de compreender que há interação entre substâncias (reagentes), adotando-se a ideia de que uma substância específica (agente ativo) atua sobre outra (agente passivo); dificuldades envolvendo o raciocínio de conservação da massa.

A coleta de dados ocorreu por meio das respostas dadas pelos estudantes para as questões pré e pós-experimento. Na sequência apresentamos a situação-problema, as questões pré-experimento e as Variáveis de Progresso esperadas para cada questão (Quadro 5).

Quadro 5 – Situação-problema proposta e questões pré-experimento.

Ao queimar a madeira, podemos notar a formação de cinzas. Essas cinzas são compostas por uma grande quantidade de nutrientes, o que permite o uso como fertilizantes para o solo. Miguel é dono de uma pizzaria famosa pelo sabor diferenciado de suas pizzas assadas em forno à lenha. Devido ao grande número de pizzas assadas por dia, Miguel queima em seus fornos uma grande quantidade de lenha, o que resulta em uma grande quantidade de cinzas. Ao saber que as cinzas podem ser utilizadas como fertilizantes, Miguel resolveu vendê-las para um agricultor local por 5 reais o quilograma de cinza. Dessa forma, para cada quilograma de lenha queimado, Miguel espera produzir 1 quilograma de cinza. Porém, não foi isso que ele obteve. Com base nessas informações, responda às seguintes perguntas pré-experimento:

Questões pré-experimento

VPs esperadas

1. Qual a questão principal do texto?	VP6
2. Por que você considera que Miguel não obteve a mesma quantidade de cinzas para cada quilograma de lenha queimada?	VP6; VP4
3. Imagine a seguinte situação: em uma balança simples (culinária), queima-se 10g de determinados materiais e monitora-se simultaneamente o que acontece com o valor de massa medido. O que você acha que aconteceria com o valor da massa caso os materiais fossem: a) papel; b) algodão; c) esponja de aço. Explique.	VP4; VP7
4. Há alguma possibilidade de realizar a queima de um material e não observar diminuição ou aumento do valor medido pela balança? Justifique.	VP9

Fonte: Autores (2022).

O Quadro 5 contém as Variáveis de Progresso esperadas nas respostas dos estudantes para cada questão. Como exemplo, para a questão 3 do momento pré-experimento, esperava-se encontrar as VP4 e VP7. Dessa forma, para responder essa questão, almejava-se que os estudantes considerassem as diferentes matérias que constituem o papel, o algodão e a palha de aço e como elas podem influenciar na reatividade (VP4) e que apontassem as interações que ocorrem com os diferentes materiais (VP7).

Na continuidade da aula, as respostas para as questões pré-experimento foram discutidas no coletivo. Em seguida, foi sugerido um vídeo de um experimento científico juntamente a outras questões pós-experimento. As questões e as Variáveis de Progresso esperadas são apresentadas no Quadro 6. O vídeo, disponível para livre acesso no YouTube¹⁹, foi editado, deixando apenas a execução do experimento. O experimento apresentado no vídeo consistia em uma balança de dois pratos na qual eram colocados, dos dois lados, de modo a manter o equilíbrio, diferentes materiais, sendo estes o papel, o algodão e a palha de aço. Após a balança ser equilibrada, queimava-se o material presente em um dos lados para observar o que acontecia com o equilíbrio da balança.

Quadro 6 – Questões pós-experimento

Questões pós-experimento	VPs esperadas
1. O que você observou no vídeo com o experimento?	-
2. Por que o papel e o algodão apresentam comportamentos iguais quando queimados?	VP4
3. Como você justificaria o comportamento diferente da palha de aço em relação ao papel e ao algodão?	VP4; VP7
4. Com base no que foi observado no vídeo experimental, você mudaria sua resposta dada para a questão 4 do momento pré-experimento?	VP9
5. Com base no que você observou no vídeo experimental, mudaria sua resposta dada para a questão 2 do momento pré-experimento?	VP4; VP6

Fonte: Autores (2022).

As respostas dos estudantes para as questões pré e pós-experimento constituíram o *corpus* deste estudo. Os dados foram analisados seguindo os pressupostos da Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2011), metodologia que se divide em três etapas: (i) pré-análise; (ii) exploração do material; e (iii) tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Na pré-análise, tendo em vista os objetivos do estudo, são escolhidos os

¹⁹O vídeo pode ser acessado no seguinte site:

https://www.youtube.com/watch?time_continue=17&v=qQGSniZ4e3k

documentos a serem analisados. Durante a exploração do material, ocorre a codificação e a categorização. Em nosso estudo, usamos códigos de A1 até A20 para nos referirmos às respostas dos estudantes. Em respostas nas quais foram identificadas VPs diferentes, os trechos foram fragmentados da seguinte forma A1.1, A1.2, A1.n... Na etapa de categorização, as unidades de análise são agrupadas em categorias, as quais permitem as inferências. Neste estudo, ao buscar por aspectos do Pensamento Químico manifestados pelos estudantes por meio da realização da atividade experimental e caracterizar as Variáveis de Progresso para a atividade em questão, adotamos como categorias *a priori* as 11 Variáveis de Progresso pertencentes ao referencial teórico do Pensamento Químico. Por fim, a última etapa consistiu na realização de inferências e interpretações do fenômeno em estudo, etapa apresentada na próxima seção.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Organizamos nossas análises em quadros distintos, analisando as respostas dos estudantes para cada uma das questões propostas. Cada quadro é composto por quatro colunas, sendo que na primeira coluna apresenta-se a variável de progresso do Pensamento Químico evidenciada nas respostas dos estudantes; na segunda coluna há uma descrição de cada VP; na terceira coluna apresentam-se alguns exemplos de respostas; e na última coluna a ocorrência da VP nas respostas dos estudantes para determinada questão. A soma das ocorrências não totaliza o número de respostas dadas, uma vez que foram identificadas mais de uma VP na mesma resposta. Apresentamos no Quadro 7 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 7 – VP identificada nas respostas para a Questão 1 pré-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam a questão principal do texto e possíveis causas para a problemática.	[A7] O processo de combustão da lenha e a frustração do Miguel em não conseguir o rendimento esperado na queima (VP6).	20

Fonte: Autores (2022).

A primeira questão do momento pré-experimento questionava os estudantes sobre qual era a questão principal abordada. Identificamos a VP6 na resposta de todos os estudantes, uma vez que, em suas respostas, eles buscam identificar o problema apresentado e possíveis causas

para o fenômeno descrito na situação-problema, identificando, dessa forma, o assunto principal abordado. Os estudantes indicaram compreender que a situação-problema abordava aspectos de uma reação de combustão e o seu rendimento, contudo não mencionaram o princípio da conservação das massas, fato esperado por haver, até o momento, respostas mais gerais e menos específicas.

Para a segunda questão [*Por que você considera que Miguel não teve a mesma quantidade de cinzas para cada quilograma de lenha queimada?*], foram evidenciadas, nas respostas dos estudantes, as seguintes Variáveis de Progresso: VP4, VP6, VP7 e VP8.

Na Questão 2, questionava-se sobre o processo de queima da madeira e hipóteses sobre o porquê a massa das cinzas obtidas ao final serem diferentes da massa inicial de lenha queimada. A respeito dessa questão, consideramos que o processo de queima pode ocorrer por meio de dois mecanismos: aberto ou fechado. Nesse viés, evidenciamos a VP6, que diz respeito à causalidade e ao mecanismo, questionando o que determina o resultado das mudanças químicas. Outro ponto a ser considerado é a composição da madeira. Uma vez que o material é composto por matéria orgânica, a queima resultará na liberação de gases, como CO₂ e vapor de água. Dessa forma, evidenciam-se características da VP4, que questiona como a estrutura influencia a reatividade. Apresentamos no Quadro 8 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 8 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 2 pré-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Respostas em que os estudantes se reportam à composição da madeira, identificando a composição como um fator que justifica a diferença de massa obtida.	[A9.1] A lenha pode ter sido de matérias-primas diferentes, pois cada madeira tem sua composição química [...]	2
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam o mecanismo reacional, buscando possíveis causas que afetam os resultados obtidos em um processo químico.	[A12] Porque, ao ser queimada, a madeira sofre um processo químico, e suas propriedades são modificadas. Consequentemente, tem-se a alteração da massa (VP6). [A4] Porque a lenha também libera gás carbônico e água em sua queima, e quanto mais CO ₂ e H ₂ O liberado, menos cinzas é obtido]	18
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes apontam sobre possíveis interações que ocorrem no sistema.	[A5.1] Miguel não terá a mesma quantidade [de massa], pois, ao queimar a madeira, o carbono reage com o oxigênio do ar, liberando	3

$\text{CO}_{2(g)}$			
VP8	Trechos em que os	[A9.2] [...]também pode ter tido um	1
O que afeta as mudanças químicas?	estudantes elencam outros fatores que podem interferir no processo de queima, como algum problema no forno ou controle de temperatura durante a queima	problema no forno, como algum desgaste ou rachadura, que implicaria a diferença de calor exposto na lenha ou também a falta de uma regulagem de temperatura para o controle da queima dessa lenha.	

Fonte: Autores (2022).

A VP6 foi a mais identificada, sendo evidenciada nas respostas de 18 estudantes, quando estes apontam o mecanismo reacional ao buscar possíveis causas que afetem os resultados obtidos em um processo químico. Identificamos respostas que apontam diferentes causas, como: o processo de combustão ocorrer por meio de mecanismos distintos, sendo este um processo completo ou incompleto. Encontramos também respostas pautadas na ideia de que a madeira passa por uma transformação química, sendo esta a causa de a massa obtida ser diferente antes e após a queima. Ainda identificamos respostas se referindo à formação de produto gasoso na reação, sendo um fator determinante para o resultado obtido, ou seja, a variação da massa final quando comparada à massa inicial.

A VP7 foi identificada nas respostas de 3 estudantes quando eles apontam sobre possíveis interações que ocorrem no sistema. Assim, ao mencionar a interação entre o carbono e o oxigênio, identifica-se a VP7, que questiona quais padrões de interação são estabelecidos.

A VP4 aparece nas repostas de 2 estudantes que constroem seus raciocínios mencionando a composição da madeira e identificando a composição como um fator que justifica a diferença de massa obtida, caracterizando a VP4. Além disso, um estudante elenca outros fatores que podem interferir no processo de queima, como algum problema no forno ou no controle de temperatura durante a queima, caracterizando a VP8.

Percebemos que, para essa questão, foram encontradas respostas sobre estrutura química e comportamento, interações presentes no sistema, fatores que podem interferir no processo em questão e modos de controlar determinados processos químicos. Nesse primeiro momento, evidenciamos que apenas dois estudantes abordaram sobre a composição dos materiais para responder a situação-problema, sendo esperado um aumento da ocorrência dessa variável (VP4) no decorrer da atividade. Evidenciamos ainda nas respostas dos estudantes outras VPs, além das esperadas para essa questão, sendo essas a VP7 e VP8.

A Questão 3 versava sobre o que aconteceria com a massa do sistema ao queimar diferentes materiais, sendo estes o papel, o algodão e a palha de aço.

Apresentamos no Quadro 9 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 9 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 3 pré-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o aumento ou a diminuição da massa.	[A3.1] O papel e o algodão vão perder peso, porque são feitos de carbono, hidrogênio e oxigênio [...] [A13.1] Papel e algodão as massas diminuem, pois são compostos de origem orgânica [...]	8
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A1] Os valores das massas dos materiais a), b) e c) dependeriam da quantidade de carbono disponível e do tipo da queima realizada neles. Uma maior quantidade de carbono e uma queima incompleta iriam proporcionar mais cinzas e fuligens [...]	14
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A3.2] [...] Já a esponja de aço vai aumentar a massa [do sistema] devido à reação que o ferro vai fazer com o oxigênio e à formação de óxido de ferro, que tem massa molecular maior que o ferro.	5

Fonte: Autores (2022).

Foi possível identificar 3 diferentes Variáveis de Progresso do Pensamento Químico, nas respostas dos estudantes para a Questão 3, sendo estas a VP4, a VP6 e a VP7.

A Questão 3 possibilita que o estudante reflita sobre como a composição do material a ser queimado influenciará o produto formado, remetendo à VP4, que questiona como a estrutura influencia a reatividade. Para além disso, essa questão também permite explorar as possíveis interações que se estabelecem no sistema, como a reação entre o gás oxigênio e o ferro para formação de óxidos, remetendo à VP7, que questiona quais interações são estabelecidas.

A maioria das respostas apresenta aspectos da VP6, por exemplo, quando os estudantes abordam que a diminuição de massa para o papel e o algodão se dá pela liberação de gases e que ocorrerá aumento de massa para a palha de aço devido à formação de óxido, ou seja, a VP6 é evidenciada quando os estudantes apontam uma causa. Em oito respostas, encontramos aspectos da VP4, quando os estudantes relacionam a perda de massa no sistema contendo papel e algodão devido às composições. A VP7 também foi identificada em 5

respostas, quando os estudantes apresentam as interações que se estabelecem no sistema, por exemplo, mencionando que o aumento da massa no sistema contendo palha de aço se deve à reação entre o ferro e o oxigênio, formando óxido.

A Questão 4 aborda a possibilidade de realizar a queima de um material e não observar variação na massa medida por uma balança. Desse modo, a questão possibilita que o estudante reflita se há formas de controlar o processo e não identificar mudança no valor medido na balança, caracterizando a VP9, que questiona como as alterações químicas podem ser controladas. Apresentamos no Quadro 10 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 10 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 4 pré-experimento.

VP	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a variação da massa.	[A10] A queima do material irá resultar em um aumento ou uma perda de matéria devido à decomposição dos componentes que não ficam no sistema ou que apresentam maior massa em relação aos componentes iniciais.	1
VP8 O que afeta as mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes elencam fatores que podem interferir no processo químico.	[A9.2] Então, dispondo de um forno correto, feito de material ideal favorável para o processo, de controle de temperatura, de exposição específica do material ao calor e de um material livre de contaminantes ou qualquer outra substância conjunta em sua estrutura que interfira neste processo	1
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema.	[A4] Sim, em um sistema fechado, a massa anterior à combustão e a posterior à combustão deve ser a mesma. [A6] Segundo a lei de Lavoisier, a massa sempre é conservada durante as reações, [...] se estivéssemos em um sistema fechado e soubéssemos a quantidade de oxigênio presente no mesmo, se queimássemos papel e conseguíssemos pesar esse sistema todo inicialmente e após a reação, teríamos a conservação da massa.	16

Fonte: Autores (2022).

Para essa questão, um estudante (A18) respondeu não saber explicar, e outro (A8) apresentou equívocos conceituais ao justificar que, com a lei de conservação de massas, não é possível realizar uma reação e não observar variação de massa. Entretanto, segundo essa lei, não se deve observar mudanças no valor das massas, dos reagentes e dos produtos, durante um processo desde que a reação seja realizada em um sistema fechado (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2008).

Dezesseis estudantes apresentam respostas mencionando que há meios de realizar a queima sem observar variação de massa, sendo possível identificar a VP9. Respostas que apresentam esta variável mencionam como controlar o sistema, uma vez que, em sistemas fechados, em que não há trocas com o meio externo, a massa deve ser conservada.

Para esta questão, também identificamos aspectos da VP6 em uma resposta, quando o estudante menciona que a variação de massa ocorrerá devido à decomposição de componentes do sistema, relacionando-se à causalidade. Também foi identificada uma resposta com indícios da VP8, em que o estudante menciona fatores mais específicos que podem interferir no processo químico, como a temperatura e o forno correto.

Nas respostas para as questões pré-experimento, observou-se que os estudantes transitaram por diferentes VPs do Pensamento Químico, mencionando em suas respostas aspectos relacionados à estrutura química e ao comportamento do material; causas que provocam a variação na conservação das massas em transformações químicas; fatores que exercem influência nos processos de combustão; padrões de interação que se estabelecem nas reações de combustão e controle dos processos químicos. Evidenciamos que em 16 trechos de respostas os estudantes mencionam sobre como controlar o sistema, contudo enfatizamos que apenas um dos estudantes aborda explicitamente sobre a lei de Lavoisier (A6), sendo esse um resultado esperado, visto que discussões prévias sobre o assunto não foram realizadas. Evidenciamos também a presença de VPs além das previstas para essa questão, sendo essas as VP6 e VP8, indicando que a questão permite que o estudante explore outras variáveis do Pensamento Químico.

Na sequência, passamos a discutir as respostas dos estudantes para as questões pós-experimento. Vale considerar que, para responderem a essas questões, eles já haviam discutido coletivamente as respostas do momento pré e assistido ao vídeo com o experimento proposto pela docente.

Na Questão 1 do momento pós-experimento, os estudantes deveriam se manifestar sobre as suas observações em relação ao vídeo do experimento. Para essa questão, dezenove dos vinte estudantes descrevem o observado, e um dos estudantes apresentou resposta na qual foi possível identificar, além da descrição, evidências da VP6, apontando causas que provocam a variação da massa nos sistemas analisados, como pode ser visto no Quadro 11.

Quadro 11 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 1 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
-	Estudantes apresentam respostas descritivas.	[A5] Que os materiais, ao entrarem em combustão, podem ter sua massa aumentada ou diminuída. O papel e o algodão, ao entrarem em combustão, têm a massa diminuída, a balança “sobe”. E a palha de aço tem sua massa aumentada, a balança “desce”.	19
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que o estudante aponta causas que provocam a variação da massa nos sistemas analisados.	[A6] Ao queimar o papel, a balança perdia seu equilíbrio. O lado com o papel sendo queimado foi elevado, pois a massa diminuiu. Ademais, para o algodão ocorreu o mesmo processo, o lado queimado diminui a massa e eleva-se. Porém, para a queima da palha de aço, em que há a formação de um óxido por meio do processo de queima, a massa aumenta e esse lado desce, representando um aumento da massa final.	1

Fonte: Autores (2022).

A Questão 2 abordava o porquê de o papel e o algodão apresentarem comportamentos semelhantes quando queimados. Assim, a questão possibilitava que os estudantes relacionassem a composição desses materiais para propor uma explicação ao observado.

Apresentamos no Quadro 12 uma descrição das VPs e exemplos de respostas. Foi possível identificar quatro diferentes variáveis, sendo estas VP4, VP5, VP6 e VP7. A VP6 e a VP4 foram as variáveis mais identificadas nas respostas, em 80% delas, quando os estudantes identificam que houve a liberação de gases (CO_2 e H_2O) e que isso é um fator determinante para a diminuição da massa do sistema final, caracterizando, assim, a VP6. Quando os estudantes identificam semelhanças entre a composição dos materiais e as consideram para elaborar sua resposta, justificando o aumento ou a diminuição da massa do sistema, evidencia-se a VP4. A VP5 foi identificada em uma resposta no momento em que o estudante demonstra compreender que o fogo é o componente que inicia a reação de combustão. A VP7 foi evidenciada em trechos das respostas nos quais os estudantes abordam a reação dos materiais com o gás oxigênio do ar, refletindo sobre as interações que ocorrem no sistema.

Quadro 12 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 2 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento do sistema analisado.	[A5.1] Ambos [algodão e papel] são constituídos, principalmente, de carbono.	16
VP5	Trechos em que os estudantes	[A5.2] Assim, em contato com	1

O que impulsiona as mudanças químicas?	mencionam fatores que exercem influência sobre a reação química.	o fogo, há a reação de queima e a liberação de CO ₂ e H ₂ O, além de sobrar cinzas na balança.	
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A5.3] Por isso que a balança “sobe”, a massa do que sobrou no recipiente é menor do que no momento inicial. [A6.2] [...] de forma que parte de sua massa seja perdida em forma de CO ₂ .	16
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A6.1] Porque ambos [algodão e papel] reagem com o oxigênio presente na atmosfera.	2

Fonte: Autores (2022).

A terceira questão aborda o comportamento diferente da palha de aço em relação ao papel e ao algodão ao serem queimados. Essa questão possibilita pensar sobre a composição dos materiais e como essa composição influencia a reatividade, caracterizando a VP4. Permite também que o estudante pense sobre quais interações são estabelecidas nesse sistema, caracterizando a VP7. Apresentamos no Quadro 13 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 13 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 3 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento do sistema analisado.	[20.1] O papel e o algodão são constituídos predominantemente de compostos de carbono.	11
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes mencionam fatores que exercem influência sobre a reação química.	[A2] O oxigênio é um oxidante. A palha de aço, ao ser queimada, sofre um processo de oxidação acelerada, pois o fogo é a ignição para acelerar o processo oxidativo.	1
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A20.3] [...] os gases liberados no ambiente, tornando a massa do sistema menor.	11
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A20. 2] assim, em uma reação de combustão, os átomos de carbono reagem com o oxigênio, produzindo	14

estabelecidos?	estabelecem no sistema.	CO ₂ .
----------------	-------------------------	-------------------

Fonte: Autores (2022).

Para essa questão, apenas três estudantes não apresentaram respostas nas quais foi possível identificar alguma das VPs esperadas. No decorrer da análise para essa questão, foram identificadas quatro Variáveis de Progresso, sendo estas VP4, VP5, VP6 e VP7.

Na resposta do estudante A20, identificamos VP4, VP6 e VP7. O estudante menciona a diferença entre as composições dos materiais, relacionando-as ao comportamento observado durante a queima, caracterizando a VP4. Ideia semelhante foi evidenciada em trechos de respostas de outros 10 estudantes. O mesmo estudante (A20) também menciona mecanismos da reação de combustão, caracterizando a VP7, ideia também presente em outras 13 respostas, e, por fim, o estudante relaciona que a natureza do produto formado (neste caso, gases ou óxidos) é um fator determinante para o que se observa na balança, caracterizando a VP6, raciocínio semelhante ao de outros 10 estudantes. Por fim, a VP5 aparece em apenas 1 resposta, quando o estudante identifica o fogo como o fator que impulsiona a mudança química observada, formulando sua resposta a partir desse raciocínio.

A Questão 4 se refere a uma autoavaliação da resposta fornecida para a Questão 4 do momento pré-experimento. Apresentamos no Quadro 14 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 14 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 4 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Trechos em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento do sistema analisado.	[A2.2] Para materiais constituídos de carbono, hidrogênio e oxigênio [haverá diminuição da massa após a queima] e aumento da massa para metais facilmente oxidantes.	1
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A10.1] [...] em uma combustão, ocorrerá perda devido à formação de gases ou ganho de massa devido à formação de produtos com massa maior.	6
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A10.2] Como no caso da incorporação do oxigênio do ar nos metais, formando óxidos.	1
VP9 Como as alterações químicas podem	Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema.	[A18] Acredito que, após analisar o experimento, só será possível não observar o aumento ou a	15

ser controladas?	diminuição do valor medido na balança se o sistema em que ocorre a reação for fechado.
------------------	--

Fonte: Autores (2022).

O estudante A18 havia respondido inicialmente não saber explicar como seria possível realizar um processo químico e não observar variação da massa, contudo, para a questão pós-experimento, demonstra compreender a ideia de conservação de massa em reações químicas, desde que esta seja realizada em um ambiente fechado. Trechos em que os estudantes mencionam como controlar o sistema reacional (VP9) foram identificados em 75% das respostas analisadas.

A VP6 foi evidenciada em respostas nas quais os estudantes abordam que a variação da massa medida pode ocorrer devido à formação de gases ou de produtos com maior massa (referindo-se aos óxidos), uma vez que os estudantes apontam possíveis causas para explicar o fenômeno investigado. A VP4 e a VP7 foram identificadas em apenas uma resposta cada, quando os estudantes se referem à composição dos materiais e quando mencionam as interações que se estabelecem no sistema, respectivamente.

A Questão 5 também se refere a uma autoavaliação das repostas fornecidas para a Questão 2 do momento pré-experimento [*Por que você considera que Miguel não teve a mesma quantidade de cinzas para cada quilograma de lenha queimada?*].

Apresentamos no Quadro 15 uma descrição das VPs e exemplos de respostas.

Quadro 15 – VPs identificadas nas respostas para a Questão 5 pós-experimento.

VPs	Descrição	Exemplos de resposta	Ocorrência
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	Respostas em que os estudantes se reportam à composição do material, justificando o comportamento ao ser queimado.	[A1.1] [...] o experimento possibilitou que identificássemos que em uma reação de combustão um material comburente contendo carbono em sua composição tem massa menor [após ser queimado].	7
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Trechos em que os estudantes apontam causas que provocam a diminuição ou o aumento da massa.	[A1.3] por ter como um dos produtos o gás carbônico “perdido” para o ambiente.	18
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Trechos em que os estudantes mencionam as interações que se estabelecem no sistema.	[A20.1] Um dos materiais quando queimado reage com o oxigênio do ar, formando compostos óxidos.	3
VP9	Trechos em que os	[A1.2] e o experimento sendo	7

Como as alterações químicas podem ser controladas?	estudantes mencionam como controlar o sistema.	executado em um ambiente aberto.
--	--	----------------------------------

Fonte: Autores (2022).

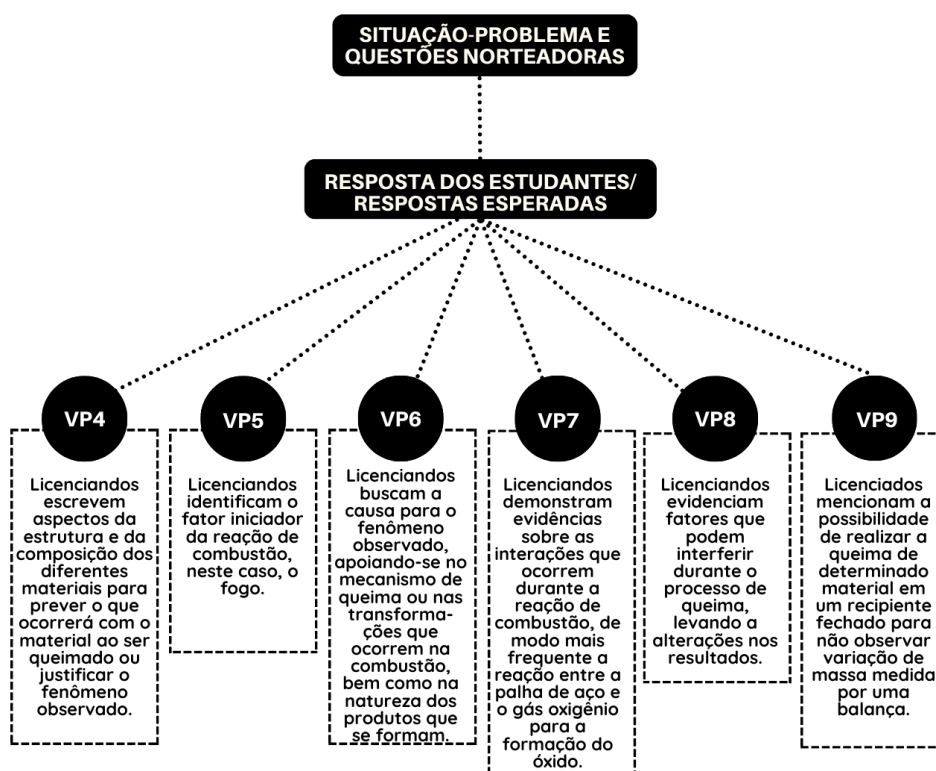
Em 18 respostas, encontramos indício da VP6, trechos em que os estudantes buscam explicitar as causas do fenômeno observado, seja pela formação de produtos gasosos ou formação de óxidos. Em sete respostas, os estudantes citam a composição do material como determinante para o que se observa, caracterizando a VP4.

A VP9 é evidenciada em sete respostas, quando os estudantes mencionam fatores que podem controlar o sistema, ou seja, o fato de o experimento ser realizado em ambiente aberto ou fechado. Além disso, alguns estudantes abordam as interações que ocorrem no sistema, o que caracteriza a VP7.

Analisando as informações expostas, é possível inferir que a atividade elaborada permitiu que os estudantes transitassem por algumas Variáveis de Progresso, mobilizando aspectos do Pensamento Químico. Dentre eles, destacam-se aspectos relacionados à composição dos materiais; a fatores que exercem influência sobre a reação química; a possíveis causas que afetam os resultados obtidos em um processo químico; a interações que ocorrem no sistema; a fatores externos que podem interferir no processo químico e a como controlar o sistema reacional. Além disso, podemos também inferir que as questões elaboradas na atividade permitiram que os estudantes explorassem de forma mais ampla o seu Pensamento Químico, uma vez que foram encontradas nas respostas dos estudantes VPs além das previstas, permitindo-os refletir sobre o fenômeno a partir de diferentes perspectivas.

A Figura 1 apresenta, de maneira esquemática, a forma como o estudo foi organizado de modo a evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestadas por estudantes em uma atividade experimental envolvendo reações de combustão e o conceito de conservação de massa.

Figura 1 – Esquema representativo da organização do estudo buscando evidenciar e caracterizar aspectos do Pensamento Químico.



Fonte: Autores (2022).

As Variáveis de Progresso do Pensamento Químico foram utilizadas como lentes que nos ajudaram a evidenciar aspectos para analisar química e criticamente determinado fenômeno, levando em consideração não apenas conteúdos químicos, mas maneiras de pensar e de fazer dos químicos, não se restringindo a explicar como a matéria muda, mas ampliando para os processos de sintetizar novas substâncias ou como controlar processos em nosso ambiente (TALANQUER, 2013). A partir da identificação das Variáveis de Progresso nas respostas analisadas, foi possível constatar características em comum entre os diferentes trechos nos quais foram identificadas as variáveis, o que amplia nosso entendimento sobre aspectos do Pensamento Químico.

O Quadro 16 apresenta a ocorrência de cada variável de progresso nas respostas dos estudantes.

Quadro 16 – Ocorrência das VPs identificadas ao longo da atividade.

VP	Descrição	Pré-experimento	Pós-experimento	Ocorrência
VP4	Licenciandos escrevem aspectos acerca da estrutura e	10	35	45

influencia a reatividade?	composição dos diferentes materiais para prever o que ocorrerá com o material ao ser queimado ou justificar o fenômeno observado.			
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	Licenciandos identificam o fator iniciador da reação de combustão, neste caso, o fogo.	-	2	2
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	Licenciandos buscam a causa para o fenômeno observado, apoiando-se no mecanismo de queima ou nas transformações que ocorrem na combustão, bem como na natureza dos produtos que se formam.	53	52	105
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	Licenciandos demonstram evidências sobre as interações que ocorrem durante a reação de combustão, de modo mais frequente a reação entre a palha de aço e o gás oxigênio para a formação do óxido.	8	20	28
VP8 O que afeta as mudanças químicas?	Licenciandos evidenciam fatores que podem interferir durante o processo de queima levando a alterações nos resultados.	2	-	2
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	Licenciandos mencionam sobre a possibilidade de realizar a queima de determinado material em um recipiente fechado para não observar variação de massa medida por uma balança.	16	22	38

Fonte: Autores (2022).

Evidenciamos que o roteiro proposto permitiu que os estudantes explorassem distintas VPs, sendo a variável de progresso VP6 a que apareceu com maior frequência nas respostas dos licenciandos, seguida da VP4, VP9 e VP7. Dessa forma, inferimos que no decorrer da atividade os estudantes tiveram a oportunidade de buscar causas que explicassem o fenômeno descrito na situação-problema, relacionando com a natureza dos materiais e suas propriedades, bem como refletir sobre as interações que ocorreram no sistema e sobre formas de controlar o sistema. Destacamos que a disciplina na qual foi desenvolvida esta atividade também contava com outras atividades experimentais elaboradas neste formato, explorando

distintas VPs, como apresentado no trabalho de Almeida e Broietti (2023), no qual as autoras apresentam resultados da análise de uma atividade experimental a respeito do conceito químico de densidade, em que os estudantes exploraram as VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, VP6, VP7, VP8 e VP11.

O roteiro proposto também permitiu que os estudantes explorassem de forma ampla o Pensamento Químico, visto que, para as diversas questões, evidenciam-se em suas respostas VPs além das previstas. Além disso, no momento pós-experimento, percebe-se que os estudantes apresentam um maior número de VP em suas respostas, como pode ser evidenciado na VP4 e a VP7, sendo este um indicativo de que a atividade e as discussões realizadas permitiram que os estudantes relacionassem a estrutura e as propriedades dos materiais com a problemática inicial, bem como as interações que ocorrem no sistema. Destacamos que, por se tratar de um curso de nível superior, os estudantes, no momento pré-experimento, já apresentaram respostas em que foi possível evidenciar aspectos do Pensamento Químico, apresentando-os de forma mais articulada nas respostas para as questões pós.

Banks e colaboradores (2015) evidenciam que, muitas vezes, os estudantes avaliam e julgam os fenômenos a partir de suposições intuitivas. Os autores ainda abordam que tais suposições devem ser elucidadas e discutidas nas salas de aula a fim de que o estudante tenha a oportunidade de alinhá-las ao Pensamento Químico moderno.

No decorrer da atividade proposta, observamos que no momento pré-experimento muitos estudantes ainda apresentaram respostas com características intuitivas, ou seja, não relacionam a situação-problema com o conhecimento de processos químicos e de conservação de massas. Contudo, ao longo das aulas, com a discussão coletiva das respostas iniciais e com o recurso do vídeo do experimento, bem como a proposição das questões ao longo da atividade, notou-se que os estudantes conseguiram fazer uso do Pensamento Químico para relacionar o conceito de conservação de massas à questão-problema, uma vez que, no momento pós, aparecem nas respostas dos estudantes menções relativas ao raciocínio da conservação de massa, bem como a formação de gases, justificando a diminuição da massa no sistema após a queima e a interação entre o metal e o oxigênio do ar, formando óxidos, justificando o aumento da massa, no caso da combustão da palha de aço.

Neste sentido, concordamos com Talanquer (2013, p. 1766) ao mencionar que devemos “compreender a química como uma maneira poderosa de pensar sobre o mundo material e transformar a natureza”, sendo este um dos objetivos centrais da aprendizagem da Química escolar.

O mesmo autor ainda ressalta que a abordagem da Química escolar não implica ensinar Química como um ofício no qual os alunos simplesmente aprendem um conjunto de procedimentos ou técnicas para resolver problemas práticos, sem muita compreensão significativa das ideias centrais subjacentes ou reflexão sobre os processos reais. Nesta perspectiva, conceitos, ideias e modelos químicos centrais devem ser analisados e discutidos no contexto de abordar os diferentes tipos de desafios para os quais o Pensamento Químico constitui a melhor abordagem para resolver os problemas.

Destacamos que a proposta é uma alternativa profícua para desenvolver atividades experimentais não apenas no ensino remoto, mas também em escolas que não apresentam recursos de laboratório, apresentando potencial para permitir o uso e o desenvolvimento do Pensamento Químico e promover o ensino investigativo.

Em seus estudos a respeito do desenvolvimento de um currículo pautado na promoção do Pensamento Químico, Talanquer e colaboradores ainda abordam a necessidade de entender de modo mais aprofundado como se dá a progressão do Pensamento Químico ao longo do tempo de escolaridade. Os autores destacam que a avaliação da progressão do Pensamento Químico pode ser feita a partir de duas dimensões principais: a sofisticação conceitual e os modos de raciocínio (BANKS *et al.*, 2015; SEVIAN; TALANQUER, 2014). A sofisticação conceitual pode ser entendida como a natureza das suposições dos alunos sobre a estrutura e as propriedades das entidades e fenômenos químicos. Os modos de raciocínio relacionam-se a complexidade do raciocínio do aluno em termos da sua capacidade de conectar ideias, construir justificativas, tomar decisões e construir explicações sofisticadas. Destacamos que compreender acerca de como as VP podem ser classificadas em termos de profundidade faz parte do nosso interesse de pesquisas futuras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta investigação, buscamos responder ao seguinte questionamento: como identificar evidências do Pensamento Químico manifestadas por licenciandos ao longo de atividades experimentais investigativas realizadas em aulas remotas? Nesse sentido, estabelecemos alguns objetivos específicos: i) evidenciar aspectos do Pensamento Químico manifestadas por estudantes nestas aulas; e ii) definir características das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico para a atividade em questão. Para tal, analisamos dados de uma atividade experimental referente ao tópico de conservação de massas em processos químicos, seguindo

os pressupostos da Análise de Conteúdo e utilizando categorias definidas *a priori*, sendo estas as 11 Variáveis de Progresso estabelecidas por Banks e colaboradores (2015).

Diante das análises realizadas, observamos que a atividade desenvolvida permitiu que os estudantes transitassem por distintas Variáveis de Progresso do Pensamento Químico ao responderem às questões propostas, utilizando o conhecimento, o raciocínio e as práticas da Química para comunicarem suas compreensões acerca do fenômeno em questão, neste caso, o estudo da conservação de massa em reações químicas.

As atividades experimentais, nesta perspectiva, são planejadas para que os estudantes não apenas apliquem, mas aprofundem e expandam a compreensão das ferramentas intelectuais e de práticas que os químicos modernos usam para analisar, sintetizar, transformar e modelar substâncias químicas que desempenham papéis importantes em nossas vidas diárias.

Neste sentido, consideramos que aprender Química envolve muito mais que tratar do equilíbrio de equações, resolver problemas de estequiometria, construir configurações eletrônicas ou escrever estruturas de Lewis. Compreender a Química é uma busca por revelar a identidade das substâncias, compreender a diversidade no mundo material e biológico, explicar semelhanças e diferenças e transformar a natureza (NRC, 2003). Por esta razão, além das múltiplas aplicações e da relevância da Química na sociedade moderna — que certamente os estudantes devem reconhecer, compreender e apreciar —, possibilitar o desenvolvimento do Pensamento Químico consiste em promover situações que coloquem nossos estudantes frente a outras maneiras de olhar e de pensar sobre o mundo.

Assim, defendemos uma aprendizagem em Química com foco no desenvolvimento do Pensamento Químico, ou seja, em possibilitar aos estudantes desenvolver os principais entendimentos, práticas e formas de raciocínio da Química. Para tornar isso possível, faz-se necessário planejar atividades que oportunizem aos estudantes se engajarem ativamente na busca de respostas para perguntas significativas, tornando o pensamento deles visível ao manifestar suas ideias.

Destacamos ainda que, discutir tais potencialidades das atividades experimentais na formação de professores pode contribuir para que os futuros docentes atuem de forma crítica, fomentando modos de pensar específicos da Química para interpretar situações relevantes da sociedade. Nesse sentido, torna-se necessário que os licenciandos tenham a oportunidade, no decorrer de sua formação, de participar e planejar atividades que permitam o desenvolvimento de tais habilidades. Dessa forma, a disciplina na qual essa pesquisa foi desenvolvida foi organizada em dois momentos. No primeiro, foram discutidos com os licenciandos os

fundamentos teóricos e epistemológicos que estruturam as atividades experimentais, além de serem realizadas sete atividades experimentais baseadas nos pressupostos do currículo para promover o Pensamento Químico. No segundo semestre da disciplina, foi proposto que os próprios licenciandos elaborassem roteiros experimentais e os desenvolvessem com os colegas da turma e com a professora-formadora, simulando uma aula do Ensino Médio. Os dados coletados e analisados referentes às atividades elaboradas pelos estudantes serão apresentados em um artigo futuro.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, A. F.; SILVA, A. C. A.; REIS, R. C.; FLORENTINO, J. V. Um estudo das habilidades relacionadas ao conhecimento químico presentes na Base Nacional Comum Curricular. *Revista e-Curriculum*, v. 20, n. 2, p. 629-645, 2022.
- ALMEIDA, F. G.; BROIETTI, F. C. D. Explorando o Pensamento Químico de licenciandos em aulas experimentais remotas. *Revista Química Nova na Escola*, v. 45, n. 1, p. 69-84, 2023.
- ANDERSSON, B. Pupils' Conceptions of Matter and its Transformations (age 12-16). *Studies in Science Education*, v.18, p. 53-58, 1990.
- BANKS, G.; CLINCHOT, M.; CULLIPHER, S.; HUIE, R.; LAMBERTZ, J.; LEWIS, R.; NGAI, C.; SEVIAN, H.; SZTEINBERG, G.; TALANQUER, V.; WEINRICH, M. Uncovering Chemical Thinking in Students' Decision Making: A Fuel-Choice Scenario. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 10, p. 1610–1618, 2015.
- BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BROWN, T. L.; LEMAY JR., H. E.; BURSTEN, B. E.; BURDGE, J. R. *Química a Ciência central*. 9ª ed.; Pearson Prentice Hall do Brasil, 2008.
- BURKE, K. A.; GREENBOWE, T. J.; HAND, B. M. Implementing the Science Writing Heuristic in the Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, v. 83 n. 7, p. 1032-1038, 2006.
- CHAMIZO, J. A. Technochemistry: one of the chemists' ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, v.15, n.2, p.157-170, 2013.
- CHEMICAL EDUCATION XCHANGE. *Chemical Thinking*. 2020. Disponível em: <<https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking>>. Acesso em: 20 de jun. de 2022.
- DOTTI, M. Analogia e mediação docente no processo de ensino e aprendizagem de equilíbrio químico. *Educação em ponto de vista*, v. 2, n. 2, p. 125-141, 2018.
- HIRAYAMA, P.; PORTO, P. A. Elementos de História e Filosofia da Química Segundo Professores do Ensino Médio: relações química/sociedade. *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química*, v.2, n.1, p.1-27, 2021.

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: Logical or psychological? *Chemical Education: Research and Practice in Europe*, v. 1, n.1, p. 9 -15, 2000.

JOHNSTONE, A. H. The Future Shape of Chemistry Education. *Chemistry Education: Research and Practice*, v. 5, n. 3, 2004.

LAMBACH, M.; MARQUES, C. A. 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*, v. 14, n. 1, p. 9-30, 2014.

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

NRC. National Research Council. *Beyond the molecular frontier: challenges for chemistry and chemical engineering*, Washington, D.C.: National Academy Press, 2003.

MARTINS, I. P.; MALAQUIAS, I.; OLIVEIRA, J. Tabela periódica, Mendeliev e educação CTS – o caso de uma exposição pública. *Indagatio Didactica*, v. 12, n. 4, p. 57-72, 2020.

PAULETTI, F.; FENNER, R. D. S.; ROSA, M. P. A. Contextualizando o ensino da química nas raízes históricas da evolução do conhecimento. *Revista HISTEDBR On-line*, Campinas, SP, v. 15, n. 63, p. 14–32, 2015.

PEREIRA, A. S.; VITURINO, J. P.; ASSIS, A. O uso de indicadores naturais para abordar a experimentação investigativa problematizadora em aulas de Química. *Educação Química em Punto de Vista*, v. 1, n. 2, 2017.

PEREIRA, L. L. S.; CURADO, T. C.; BENITE, A. M. C. A elaboração conceitual de Química em uma perspectiva bilíngue: Um estudo a partir da educação de surdos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 22, p. 1-26, 2021.

REZENDE, B. de P.; SILVA, A. C. A. da. Análise das representações em experimentos químicos de livros didáticos. *Revista Educação em Foco*, v. 27, p.1-29, 2022.

REZENDE, B. de P.; SILVA, A. C. A. da. Análise dos roteiros de atividades experimentais nos livros didáticos de Química: um estudo das representações e dos níveis do Pensamento Químico. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 17, n. 39, p. 46-60, 2021.

SEVIAN, H.; TALANQUER, V. Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. *Chemistry Education Research and Practice Journal*, n. 15, p. 10-23, 2014.

SILVA, R. M. G. Conhecimentos químicos no ensino de Ciências das séries iniciais do ensino fundamental: uma forma de desenvolver o Pensamento Químico. *Ensino em Re-vista*, v. 16, n. 1, p. 91-103, 2009.

SILVA, R. S.; DEL PINO, J. C. Transformações químicas: as noções dos estudantes a explicarem fatos de uma história. *Pesquisa em Foco*, v.21, n.1, p.67-78, 2016.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Eco-reflexive chemical thinking and action. *Current Opinion*. In: GREEN AND SUSTAINABLE CHEMISTRY, v. 13, p. 16-20, 2018.

SOUZA, F. L., AKAHOSHI, L. H., MARCONDES, M. E. R., do CARMO, M. P. *Atividades experimentais investigativas no ensino de química*. GEPEQ. Grupo de Pesquisa em Educação Química. São Paulo: Secretaria da Educação, 2013.

SUART, R. C.; MARCONDES, M. E. R. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, n. 2, 2009.

TALANQUER, V.; POLLARD, J. Let's teach how we think instead of what we know. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 11, p. 74–83, 2010.

TALANQUER, V. School chemistry: the need for transgression. *Science & Education*, v. 22, p. 1757–1773, 2013.

TALANQUER, V. Assessing for Chemical Thinking. In: SCHULTZ M., SCHMID S., LAWRIE G. *Research and Practice in Chemistry Education: Advances from the 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education*. Singapore: Springer, 2019. p. 123-133.

WENZEL, J. S. A leitura de textos de divulgação científica na constituição de professores de química. *Interfaces da educação*, v. 9. n. 27, p. 232-252, 2018.

ZUCCO, C. Química para um mundo melhor. *Química nova*, v. 34. n. 5, p. 733, 2011.

CAPÍTULO 5 – ARTIGO 3: EXPERIMENTAÇÃO NA FORMAÇÃO INICIAL:

ASPECTOS INVESTIGATIVOS E EVIDÊNCIAS DO PENSAMENTO QUÍMICO

Resumo: A experimentação é uma estratégia que pode auxiliar na aprendizagem dos conceitos, conduzindo os estudantes a construir uma relação mais estreita com a teoria. Considerando a importância de discussões acerca da experimentação na formação inicial docente, este trabalho objetiva analisar roteiros de aulas experimentais elaboradas por licenciandos em Química no decorrer de uma disciplina a fim de encontrar indícios que caracterizem uma atividade experimental de natureza investigativa e se estas possibilitam o desenvolvimento do Pensamento Químico. Mediante as análises, foi constatado que os roteiros permitiram o envolvimento em uma série de habilidades, como a argumentação, a reflexão, a elaboração de hipóteses e a tomada de decisão, além de oportunizarem que os estudantes desenvolvam o conhecimento sobre o conteúdo além dos saberes sobre a natureza da Química e o papel desta na sociedade. Dessa forma, reforça-se a importância de discutir referenciais que fundamentam e estruturam as atividades experimentais na formação inicial docente.

Palavras-Chave: Pensamento Químico; atividade experimental; formação inicial.

EXPERIMENTATION IN INITIAL TRAINING: INVESTIGATIVE ASPECTS AND EVIDENCES OF CHEMICAL THINKING

Abstract: Experimentation is a strategy that can help in learning concepts, leading students to build a closer relationship with theory. Considering the importance of discussions about experimentation in pre-service teacher education, the present work aimed to analyze scripts of experimental classes prepared by undergraduate students in chemistry, during a discipline, looking for signs that characterize an experimental activity of an investigative nature, and if these allowed the development of chemical thinking. Through the analysis, we found that the scripts allowed the involvement in a series of skills such as argumentation, reflection, the elaboration of hypotheses, and decision-making, in addition to providing opportunities for students to develop content knowledge in addition to knowledge about the nature of chemistry and its role in society. Thus, we reinforce the importance of discussing references that underlie and structure experimental activities in pre-service teacher education.

Keywords: Chemical Thinking; experimental activity; pre-service teacher education.

INTRODUÇÃO

As tarefas de carácter prático sempre foram consideradas importantes para os estudantes como forma de potencializar o envolvimento físico com o mundo exterior. No entanto, não é a simples manipulação de objetos e de instrumentos que gera conhecimento, sendo necessário questionar, refletir, interagir com os demais, responder a perguntas, planejar maneiras de testar as ideias prévias com vistas a estabelecer o desafio intelectual de compreender fenômenos, relacionar situações, desenvolver interpretações e elaborar previsões (MARTINS *et al.* 2007).

Nessa perspectiva, pode-se mencionar as atividades de carácter investigativo, que apresentam como intenção dar resposta a uma questão-problema. Tais atividades envolvem quase sempre dois tipos de compreensão: a conceitual e a processual. Articuladas, elas conferem competências cognitivas para resolver os problemas apresentados.

No campo da formação de professores, a experimentação enquanto conteúdo formativo tem sido um tema pouco explorado, revelando entendimentos sobre a experimentação que perduram no imaginário docente de modo a “valorizar experimentos cujo objetivo se reduz à comprovação de teorias estudadas teoricamente” (GONÇALVES; MARQUES, 2012, p. 2). De tal modo, investir em processos de formação docente para enriquecer os conhecimentos dos professores de Ciências acerca da experimentação torna-se fulcral, possibilitando a compreensão de finalidades, limitações e âmbitos de aplicação.

De acordo com Gonçalves (2009), percebe-se que, dentre os estudos que investigam as atividades experimentais, boa parte dos artigos publicados priorizam aspectos referentes à educação básica, havendo poucas produções que pesquisam sobre a experimentação no nível superior. Complementando essa ideia, Souza e Broietti (2017) mencionam que um pequeno número de pesquisas discute aspectos didáticos, pedagógicos e teóricos das atividades experimentais diretamente relacionados à formação docente, características que estão relacionadas ao modo de futuros professores pensarem e planejarem aulas experimentais.

Nesse sentido, este trabalho objetivou analisar roteiros de aulas experimentais elaboradas por licenciandos em Química no decorrer de uma disciplina, buscando por indícios que caracterizam uma atividade experimental de natureza investigativa e se tais atividades possibilitam o desenvolvimento do Pensamento Químico.

5.1 A NATUREZA E O PENSAMENTO QUÍMICO: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES

Por mais que muitas vezes não percebamos, vivemos cercados por objetos que são constituídos por substâncias desenvolvidas por químicos. A Química é uma das Ciências fundamentais para a nossa sociedade, sendo indispensável para o desenvolvimento de várias áreas do mundo, por exemplo, na saúde, alimentação, agricultura e no desenvolvimento de novos materiais (SANTOS, 2011).

Como visto em Chamizo (2013) e em Sjôström e Talanquer (2018), a natureza da química relaciona-se tanto com aspectos científicos quanto tecnológicos. Ou seja, essa Ciência tem contribuído com o desenvolvimento do conhecimento científico para alcançar os objetivos tecnológicos orientados pelas necessidades e pelas condições humanas. Os químicos não estão interessados apenas em prever e compreender propriedades das diferentes substâncias, mas também na transformação e na descoberta de novas substâncias com aplicações potenciais para a sociedade (SEVIAN; TALANQUER, 2014). Compreende-se, dessa forma, que o ensino de Química apresenta dimensões sociais, políticas e econômicas, podendo levar a reflexões fundamentais a respeito das relações entre Ciência, tecnologia e sociedade.

Contudo, quando se trata da aprendizagem dessa Ciência, nota-se certa objeção por parte dos estudantes, os quais a consideram uma disciplina difícil devido à abstração de alguns conceitos, à elaboração e à compreensão de modelos científicos e ao surgimento de concepções alternativas (SANTOS *et al.*, 2013). Castro e Costa (2011) apontam que o ensino de Química geralmente vem sendo estruturado em torno de abordagens que apresentam a disciplina como um conjunto de tópicos isolados, fazendo uso de fórmulas e de conhecimentos que mais limitam do que ampliam o aprendizado dos estudantes, não os envolvendo de maneira crítica em preocupações químicas relevantes.

Segundo Talanquer e Pollard (2010), uma alternativa a esse currículo organizado em partes pouco articuladas seria a elaboração de um currículo focado em como os químicos “pensam” e em como as formas químicas de raciocínio podem ser usadas para resolver problemas relevantes em diversas áreas.

Independentemente de alguns estudantes seguirem carreiras científicas, todos os indivíduos, em algum momento da vida, terão que tomar decisões que envolvam conceitos ou formas químicas de raciocínio, por exemplo, saber como descartar determinado resíduo ou como preservar um alimento por mais tempo. Defende-se, por conseguinte, uma educação que

não incluía apenas o conhecimento do conteúdo em Química, mas também o conhecimento sobre a natureza da Química e o papel desta na sociedade.

De acordo com Volkova (2019, p.1), o domínio do conhecimento químico está relacionado intimamente ao desenvolvimento do Pensamento Químico. Para a autora, “o Pensamento Químico é formado a partir de operações mentais como análise, síntese, comparação, classificação [...]”. Segundo Talanquer (2019), o Pensamento Químico engloba uma série de atividades, como: analisar, discutir, refletir e propor explicações e soluções razoáveis para problemas e fenômenos relevantes. Talanquer e seus colaboradores abordam que, ao aplicar conhecimentos e práticas químicas com o objetivo de analisar, sintetizar e transformar a matéria com algum intuito estabelecido, o Pensamento Químico é colocado em ação (BANKS *et al.*, 2015; SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Com base nas considerações apresentadas, compreende-se o Pensamento Químico como um modo de refletir sobre 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.

Segundo o relatório do National Research Council – Beyond the Molecular Frontier (NRC, 2003), muitos dos problemas críticos que nossa sociedade enfrenta podem ser resolvidos com a ajuda do pensamento e das práticas químicas. Talanquer e Polard (2010) mencionam que esse documento fornece um excelente modelo do que um currículo de Química deveria ser, oferecendo oportunidades para estudantes de Ciências desenvolverem as seguintes habilidades:

- 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; POLARD, 2010, p. 76)

Com esses objetivos abrangentes em mente e visando ao desenvolvimento do Pensamento Químico de seus estudantes, Vicente Talanquer e John Pollard (2010) estruturaram e implementaram um currículo para um curso de Química de uma universidade dos Estados Unidos. O currículo em questão, focado no Pensamento Químico, convida os professores a, no lugar de orientar o planejamento em termos do que se quer que os alunos saibam, primeiramente refletir e identificar as questões que se deseja que eles aprendam a responder (TALANQUER, 2020).

Quais são as questões essenciais e relevantes que guiam o conhecimento químico para que fenômenos das mais diferentes áreas sejam compreendidos? Partindo dessa questão, o currículo do Pensamento Químico, na proposta acima mencionada, foi estruturado a partir de seis conceitos disciplinares transversais (CDTs) considerados essenciais para compreender conteúdos químicos e realizar atividades práticas (TALANQUER, 2020; SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Desses CDTs derivam questões mais específicas, as quais os autores denominam Variáveis de Progresso (VPs). As VPs impulsionam o Pensamento Químico, guiando o estudante a obter uma progressão de aprendizagem em direção a níveis mais elevados de competência, desenvolvendo dessa forma o Pensamento Químico (TALANQUER, 2013).

O Quadro 01 a seguir apresenta as 11 VPs e as respectivas descrições, bem como os CDTs relacionados.

Quadro 01 - Descrição das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico e os conceitos disciplinares transversais relacionados.

VP	CDT relacionado	Descrição geral da VP
VP1 Que tipos de matéria existem?	- Identidade química	Refere-se à identificação e à classificação dos diferentes tipos de matéria que existem.
VP2 Quais informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria?	- Identidade química; - Estrutura-propriedades	Refere-se à distinção de diferentes materiais por meio de suas propriedades.
VP3 Como surgem as propriedades dos tipos de matéria?	-Estrutura-propriedades	Refere-se à origem das propriedades dos materiais, analisando não apenas o nível macroscópico, mas o nível subatômico das estruturas.
VP4 Como a estrutura influencia a reatividade?	- Estrutura-propriedades; - Causalidade	Essa questão estabelece conexão entre a estrutura química e o comportamento, refletindo sobre como as composições atômica/molecular e estrutural interferem na forma de as diferentes substâncias interagirem para se transformarem em outras espécies químicas.
VP5 O que impulsiona as mudanças químicas?	- Causalidade	Refere-se à busca sobre por que os processos químicos acontecem e como se iniciam, refletindo sobre os fatores que exercem influência na reação química.
VP6 O que determina os resultados das mudanças químicas?	- Causalidade - Mecanismo;	Refere-se aos diferentes mecanismos pelos quais uma reação pode ocorrer e aos diferentes caminhos que influenciam os resultados obtidos.
VP7 Quais padrões de interação são estabelecidos?	- Mecanismo	Refere-se à identificação da interação entre as substâncias envolvidas em determinado processo.

VP8 O que afeta as mudanças químicas?	- Mecanismo; - Controle	Refere-se à identificação de fatores internos e externos que podem afetar os processos químicos.
VP9 Como as alterações químicas podem ser controladas?	- Controle	Envolve, de forma mais específica, os fatores que afetam o sistema químico e como eles o afetam para, dessa forma, compreender como é possível controlar as alterações químicas nos diferentes sistemas reacionais.
VP10 Como os efeitos podem ser controlados?	Controle; - Benefícios-custos-riscos	Refere-se à tomada de decisão sobre fatores internos e externos que podem ser modificados e controlados visando maximizar os benefícios e minimizar custos e riscos.
VP11 Quais são os efeitos do uso e da produção de diferentes tipos de matéria?	- Identidade química; - Benefícios-custos-riscos	Refere-se à associação das identidades químicas das substâncias com seus impactos nos âmbitos social, econômico e ambiental.

Fonte: (Adaptado e traduzido de Sevia; Talanquer, 2014).

Analisando o Quadro 1, percebe-se que um mesmo CDT pode se associar a mais de uma VP, assim como uma VP também pode estar relacionada a mais de um CDT. Como exemplo, o CDT “Identidade química” se relaciona com a VP1, a VP2 e a VP11.

Ressaltamos que as questões essenciais das Variáveis de Progresso assumem formas diferentes de acordo com o contexto no qual são empregadas. Tomemos como exemplo a VP1, que se interconecta ao CDT Identidade química a partir da questão “do que é feito este material?”. Na área médica, tal questão pode assumir a forma “que material tóxico foi ingerido?”. Na área ambiental, “que poluente está se acumulando no solo?”. Na área têxtil, “como a composição dos tecidos se diferem?”. Ou ainda na arte, “que substância gera a cor neste pigmento?”. Analisando essas questões, percebemos que, embora as respostas sejam diferentes e específicas para cada área de conhecimento, existe um eixo comum que permeia os quatro exemplos: a Identidade química.

Desse modo, ensinar com foco no desenvolvimento do Pensamento Químico é direcionar os esforços educacionais para ajudar os alunos a desenvolverem os principais entendimentos, práticas e formas de raciocínio da Química que permitem que profissionais de diferentes áreas encontrem respostas para questões relevantes.

Em relação às atividades experimentais, no currículo do Pensamento Químico elas podem ser organizadas como projetos a fim de que os estudantes investiguem determinados fenômenos, atuando como sujeitos ativos no processo de aprendizagem (TALANQUER; POLLARD, 2010).

5.2 ATIVIDADE EXPERIMENTAL E A FORMAÇÃO INICIAL

Embora a experimentação seja um tópico debatido na literatura da área de Ciências e considerada uma estratégia promissora no ensino e na aprendizagem de conceitos científicos, ainda existem certas fragilidades a serem superadas. Carmel e colaboradores (2019) destacam o modo como tais atividades são empregadas pelos professores, fazendo uso muitas vezes de roteiros experimentais no estilo de “livro de receitas”, em que os alunos podem seguir e executar as instruções sem refletir acerca do objetivo maior da investigação. Outro fator elencado pelos autores diz respeito às avaliações da aprendizagem ocorridas em aulas experimentais, as quais se concentram no conhecimento do conteúdo e na capacidade de executar técnicas específicas, sendo negligenciada a compreensão dos alunos sobre as práticas científicas²⁰ e os propósitos das investigações laboratoriais.

Defende-se, desse modo, o uso de atividades experimentais de caráter investigativo, uma vez que tais atividades permitem que o aluno participe de modo intelectualmente ativo durante a atividade experimental desde a interpretação do problema até uma possível solução (GALVÃO; ASSIS, 2019). De acordo com Suart e Marcondes (2009), uma atividade experimental de caráter investigativo permite que o aluno desempenhe capacidades como refletir, discutir, testar hipóteses, relatar, propor explicações, entre outras habilidades cognitivas de alta ordem²¹.

As atividades experimentais investigativas são caracterizadas pelos seguintes aspectos: inicialmente, apresenta-se aos alunos uma situação-problema que seja de interesse deles. A partir do problema e das questões propostas, os estudantes elaboram hipóteses, as quais, por sua vez, são discutidas coletivamente. Então, segue-se com a execução da atividade experimental e a coleta de dados. Por fim, os resultados são discutidos coletivamente. Cabe ao professor realizar a mediação durante todo o desenvolvimento da atividade (CALEFI; REIS; REZENDE, 2015; SUART, 2014).

²⁰ Compreendemos as Práticas Científicas como ações docentes ou discentes associadas ao fazer ciência. Ou seja, as Práticas Científicas correspondem a uma das três dimensões da aprendizagem científica, que foram elaboradas por um comitê de pesquisadores sob a coordenação geral do *National Research Council – NRC* (2012) e descrevem as principais práticas que os cientistas empregam para investigar, construir modelos e teorias sobre o mundo.

²¹ As Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (*HOCS: Higher Order Cognitive Skills*) englobam habilidades orientadas para a investigação, como resolução de problemas, tomada de decisões, desenvolvimento do pensamento crítico e avaliativo.

Nesse sentido, considera-se necessária a discussão dos aspectos que permeiam as atividades experimentais nos cursos de formação docente, uma vez que, de acordo com Borges (2002, p. 301), “os licenciandos precisam exercitar o planejamento, a preparação e a execução de atividades mais abertas, se desejamos que eles venham a adotá-las em suas aulas no futuro”.

5.3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

Os dados analisados neste estudo são oriundos de tarefas propostas para licenciandos em Química durante uma disciplina ministrada para o quarto ano em uma universidade da região do Sul do Brasil. A disciplina em questão foi ministrada parte de forma remota²² e parte presencialmente e ocorreu ao longo do último semestre de 2021 e do primeiro semestre de 2022.

No decorrer do primeiro semestre da disciplina, foram discutidos os fundamentos teóricos e epistemológicos que estruturam as atividades experimentais e desenvolvidas sete atividades experimentais baseadas nos pressupostos do currículo do Pensamento Químico, que abordavam assuntos como acidez e basicidade das substâncias, densidade dos materiais, conservação de massa em processos químicos, chuva ácida, solubilidade, cinética química e equilíbrio químico. Todas as atividades experimentais partiam de uma situação-problema relacionada ao cotidiano dos licenciandos, além de conter questões pré e pós-experimento que possibilitavam a eles refletir acerca das Variáveis de Progresso do Pensamento Químico.

No segundo semestre da disciplina, os licenciandos elaboraram roteiros experimentais e os desenvolveram com os colegas da turma e com a professora-formadora, simulando uma aula do Ensino Médio. Participaram da disciplina 14 licenciandos, sendo 3 mulheres e 11 homens. Os temas sorteados e a relação dos microensinos ministrados seguem apresentados no Quadro 02.

Quadro 02 - Dados, temas e conteúdos dos microensinos de cada licenciando.

Data do microensino	Licenciando	Tema	Conteúdo químico
09/03/2022	L1	Cosméticos	Funções Inorgânicas (ácidos e bases)
16/03/2022	L2	Plásticos	Polímeros e suas aplicações
23/03/2022	L3	Combustíveis	Reação de Combustão, Entalpia de Combustão e Calorimetria

²² Em virtude da pandemia do Covid-19, a primeira parte da disciplina, que ocorreu ao longo do segundo semestre de 2021, aconteceu de forma remota. No primeiro semestre de 2022, as aulas retornaram a ser ministradas presencialmente.

30/03/2022	L4	Química e Arte	Química Orgânica, Identificação de Grupamentos Funcionais por meio de Moléculas de Corantes
06/04/2022	L5	Alimentos	pH, Acidez, Conservação dos Alimentos
13/04/2022	L6	Ar	Pressão Atmosférica, Dilatação Térmica, Variáveis de Estado, Propriedades dos Gases
20/04/2022	L7	Água	Tensão Superficial de Líquidos
27/04/2022	L8	Medicamentos	Funções Orgânicas
04/05/2022	L9	Solo	Indicadores, pH, Acidez e Basicidade
11/05/2022	L10	Indústria	Química Ambiental e Reações de Carbonização e Combustão
25/05/2022	L11	Energia	Pilha de Daniel, Reação de Oxirredução, Tipos de Pilhas e Baterias
01/06/2022	L12	Higiene	Reações Químicas Inorgânicas
08/06/2022	L13	Agricultura	Reações de Oxidação e Redução
08/06/2022	L14	Saúde	Polaridade das Moléculas

Fonte: Autor, 2023

As aulas ministradas pelos licenciandos tiveram duração de 50 minutos e foram gravadas e disponibilizadas a eles para realizarem a autoscopia²³. Para este trabalho, por conta da limitação do espaço, nos restringimos a analisar os roteiros experimentais elaborados por dois licenciandos (L5 e L12) e as respostas para as questões da autoscopia. A escolha dos roteiros ocorreu visando analisar um microensino realizado no início das atividades (roteiro de L5) e outro ao final (L12), além de serem licenciandos que demonstraram comprometimento com a disciplina desde o início. No Quadro 03, elencamos alguns indicadores utilizados para analisar as atividades elaboradas pelos licenciandos.

Quadro 3 - Indicadores utilizados na análise dos dados.

Indicadores de uma atividade experimental investigativa	Indicadores do Pensamento Químico
Apresentar uma situação problema; questões pré e pós-experimento; momento de coleta, registro e análise dos dados; apresentação de conclusões.	Transitar pelas Variáveis de Progresso (VP1 a VP11)

Fonte: Autor, 2023.

Os roteiros elaborados e desenvolvidos pelos licenciandos foram analisados considerando os pressupostos da Análise de Conteúdo descrita por Bardin (2011), contemplando as três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados,

²³ Refere-se a um procedimento de intervenção reflexiva que consiste na gravação e na análise do microensino. Tal procedimento permite diagnosticar comportamentos pedagógicos por meio do desenvolvimento da auto-observação e da autocrítica (ARRIGO; LORENCINI JR; BROIETTI, 2017).

inferência e interpretação. A pré-análise consiste na escolha dos documentos a serem analisados, considerando os objetivos do estudo. A exploração do material consiste na codificação e na categorização. Durante a categorização, adotamos categorias a priori, sendo estas os indicadores apresentados no Quadro 3. Na última etapa, foram realizadas as inferências e as interpretações do fenômeno em estudo. As respostas dos licenciandos para as questões da autoscopia também foram analisadas com o intuito de encontrar uma maior compreensão das intenções deles na elaboração dos roteiros experimentais.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Organizamos a apresentação e a discussão dos resultados em duas etapas. Primeiramente, apresentamos o roteiro experimental elaborado pelos licenciandos com uma breve descrição de como a aula foi desenvolvida. Na sequência, apresentamos nossas análises em relação aos aspectos considerados no Quadro 3.

A partir do tema “Alimentos”, o licenciando L5 elaborou sua aula abordando os seguintes conceitos: pH, Acidez e Conservação dos Alimentos. O Quadro 04 apresenta a situação-problema e as questões elaboradas pelo licenciando, bem como a categorização de cada questão de acordo com as Variáveis de Progresso identificadas.

Quadro 4 - Parte do roteiro experimental elaborado pelo licenciando L5.

Situação-problema			
O leite e os produtos lácteos há milhares de anos fazem parte da dieta humana pela riqueza em nutrientes, sendo fonte de proteínas de alto valor biológico e contribuindo expressivamente para as nossas necessidades de diversos minerais e vitaminas. Ao comprar leite (de origem bovina) no mercado, tem-se duas opções de compra: o leite com as embalagens de “caixinha” e de “saquinho”. Sabendo-se que a composição e o tempo de conservação são diferentes entre as duas opções, responda às questões pré-experimento.			
Questões pré-experimento	VP	Questões pós-experimento	VP
1. Qual dos dois produtos você escolheria para comprar? Justifique sua escolha.	VP11	1. O que você observou no experimento e nas amostras utilizadas?	-
2. Você identifica alguma diferença significativa e/ou específica entre os dois produtos?	VP2	2. De acordo com os valores de pH encontrados, qual(is) amostras estão seguindo o padrão constituído na IN51?	VP2
		3. De acordo com seus conhecimentos, o que pode estar presente nas amostras para que ocorra essa diferença de pH?	VP3
		4. De acordo com sua hipótese acima, você manteria ou mudaria sua escolha de compra do produto? Justifique sua escolha.	VP11

Fonte: Autor, 2023.

Ao analisar a estrutura das atividades propostas pelo licenciando (L5) no desenvolvimento da aula experimental, identificamos que ele inicia a aula com uma situação-problema acerca da composição e do tempo de conservação de leites embalados em caixinhas e em saquinhos, organizando a aula a partir de questões iniciais, momento da experimentação e questões pós-experimento. As questões iniciais visam identificar compreensões prévias dos estudantes acerca do tema abordado. Na parte experimental, os alunos realizaram a medição do pH de diferentes amostras de leite com fitas medidoras de pH, bem como tiveram a oportunidade de realizar testes e de coletar dados que permitiam confirmar ou refutar as hipóteses levantadas inicialmente.

No momento pós-experimento, foram propostos outros questionamentos que buscavam relacionar os fenômenos observados durante a experimentação com alguns conceitos químicos, além de possibilitar que os estudantes construíssem explicações com base em evidências científicas.

A aula elaborada pelo licenciando L12, de tema “Higiene”, abordou o conceito de Reações Químicas Inorgânicas. O Quadro 05 apresenta a situação-problema e as questões elaboradas pelo licenciando, bem como a categorização de cada questão de acordo com as Variáveis de Progresso identificadas.

Quadro 5 - Parte do roteiro experimental elaborado pelo licenciando L12.

Situação-problema			
José Roberto é um estudante do primeiro ano de Química e acorda todos os dias às 06h da manhã para ir à faculdade. Levanta, troca de roupa, toma o seu café e escova os dentes para sair. Seu irmão mais novo, Gabriel, que ainda está no Ensino Fundamental, também acorda no mesmo horário. Nesse dia, José acordou atrasado e precisou se apressar para sair, então trocou de roupa e correu para escovar os dentes. Ao chegar ao banheiro, encontrou Gabriel, mas não se importou. Enquanto escovava os dentes, viu que o seu irmão estava dando descarga sem fechar a tampa do vaso sanitário. Desesperado, gritou: “Nãooooooooo, Gabriel, você está espalhando micro-organismos por todo o banheiro!”. Gabriel apenas riu e saiu. Ao longo da manhã, José não conseguiu parar de pensar na quantidade de microorganismos espalhados pelo banheiro. Poderiam estar na escova de dentes, na pia, no chão, no azulejo, em todos os lugares. Ao chegar em casa, começou a pesquisar a melhor forma de eliminar toda aquela “sujeira” espalhada pelo banheiro. Achou um site que dizia “Vinagre e bicarbonato de sódio são desinfetantes poderosos” e logo se interessou. Então, pensou: “Se sozinhos já são poderosos, imagina juntos”. Pegou o vinagre e o bicarbonato e misturou os dois. Na hora, ele observou que começou a formar várias “bolhas” muito semelhantes àquelas formadas quando a sua mãe colocava água oxigenada no seu ferimento. José Roberto, sendo aluno de Química, ficou pensando na forma que as substâncias reagiam. Todas as reações químicas ocorrem da mesma maneira?			
Questões pré-experimento	VP	Questões pós-experimento	VP
1. Qual a questão principal do texto?	-	1. Ocorrem reações químicas em ambos os experimentos?	VP5VP7
2. Será que ocorre uma reação química entre	VP7	2. Quais são os produtos	VP1VP4

a água oxigenada e o machucado? E entre o vinagre e o bicarbonato de sódio? Como podemos verificar se são reações químicas?		obtidos nas duas reações? Quais são responsáveis pela efervescência?	
3. As bolhas liberadas são constituídas pelas mesmas substâncias?	VP1VP2	3. Todas as reações químicas ocorrem da mesma maneira?	VP7
4. Podemos ter diferentes tipos de reações químicas?	VP7	4. É possível que diferentes reagentes passem pelo mesmo tipo de reação?	VP4
5. É possível que diferentes reagentes passem pelo mesmo tipo de reação?	VP4	5. Quais são os tipos de reações que ocorrem nos experimentos?	VP7
		6. Quantos e quais são os tipos de reações químicas inorgânicas? Dê exemplos de cada uma.	VP7VP4

Fonte: Autor, 2023.

A aula inicia com uma situação-problema contextualizada, na qual João Roberto, na tentativa de eliminar microrganismos de seu banheiro, acaba misturando bicarbonato de sódio e vinagre e fica pensativo para saber como tais substâncias reagem. A partir do problema, os estudantes têm a oportunidade de refletir e de elaborar hipóteses acerca de questões relevantes do cotidiano, fazendo uso do conhecimento químico. O experimento proposto pelo licenciando se baseia na realização de duas reações químicas diferentes. A primeira reação se baseia na mistura de peróxido de hidrogênio, corante, detergente e iodeto de potássio. Para a segunda reação, os estudantes deveriam misturar vinagre, corante, detergente e bicarbonato de sódio. Ao longo do experimento, os estudantes tiveram a oportunidade de realizar os testes, fazer observações e reflexões sobre evidências de reações químicas e coletar dados que permitiam confirmar ou refutar as hipóteses levantadas inicialmente.

Ao analisar os roteiros selecionados, identificamos características investigativas, tais como: situação-problema, questões pré e pós-experimento, momento de coleta e análise de dados e apresentação das conclusões. A estrutura das atividades elaboradas pelos licenciandos remete a uma disposição que favorece um papel ativo dos estudantes, uma vez que inicialmente eles puderam elaborar hipóteses para a situação-problema proposta. Ferreira, Hartwig e Oliveira (2010) abordam que, ao elaborar uma situação-problema, é fundamental que esta permita o envolvimento dos estudantes e que seja contextualizada, partindo de fatos do cotidiano. Dessa forma, evidenciamos que as situações-problema elaboradas atendem a tais requisitos, sendo que abordam ocasiões comuns do nosso cotidiano, como decidir qual leite comprar em um supermercado (L5) e o uso de alguns produtos de limpeza na higienização de ambientes (L12).

Souza e colaboradores (2013) abordam que uma atividade experimental deve ir além da manipulação de vidrarias e reagentes, permitindo uma participação intelectualmente ativa do estudante. Nesse viés, Hofstein e Lunetta (2003) abordam que uma atividade experimental investigativa proporciona que os estudantes saiam da passividade de serem meros executores de instruções, pois, diferentemente do que ocorre em uma atividade experimental tradicional, as atividades investigativas abrem espaço para que os estudantes planejem, relacionem, proponham hipóteses, discutam e comuniquem as conclusões.

Em todos os roteiros, no momento pré-experimento é dada a oportunidade aos alunos de se manifestarem em relação à situação apresentada, elaborando hipóteses que permitam pensar em soluções. Com a parte experimental, os estudantes são instigados a testarem algumas de suas hipóteses e, a partir das observações, buscarem estabelecer relações entre os fenômenos observados e a situação-problema inicial.

No momento pós-experimento, percebemos que os licenciandos, a partir das questões propostas, instigam os alunos a refletirem sobre as respostas dadas inicialmente, considerando os testes experimentais e os dados observados. Tais organizações permitem que os alunos ponderem sobre as ideias iniciais e sobre o que foi observado no decorrer do experimento e das discussões realizadas em aula e, a partir disso, se posicionem, tendo como base as evidências científicas.

Zompero e Laburú (2011) também abordam que as atividades experimentais investigativas devem possibilitar o engajamento dos alunos para realizar as atividades; a emissão de hipóteses; a busca por informações; a comunicação dos estudos feitos pelos alunos para os demais colegas de sala. Dessa forma, podemos concluir que os roteiros elaborados pelos três licenciandos possuem elementos que caracterizam uma atividade experimental investigativa.

Em relação aos aspectos do Pensamento Químico, evidenciamos que as questões propostas possibilitam que os estudantes transitem pelas seguintes VPs (Quadro 06).

Quadro 6 - Variáveis de Progresso do Pensamento Químico encontradas nos roteiros dos licenciandos.

Roteiro	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	VP6	Vp7	VP8	VP9	VP10	VP11
L5											
L12											

Fonte: Autor, 2023.

A VP1 está relacionada à identificação e à classificação de diferentes tipos de matéria, relativa a identifica química e foi evidenciada em questões presentes no roteiro de L12. Na

questão três do momento pré, o aluno é questionado se as bolhas liberadas na reação entre o vinagre e o bicarbonato de sódio são constituídas pelas mesmas substâncias que as originaram, permitindo uma reflexão acerca da identidade química do produto formado e sobre os diferentes tipos de matéria que existem (VP1). Na questão dois do momento pós, questiona-se sobre quais produtos são obtidos nas duas reações realizadas na parte experimental, permitindo novamente a reflexão sobre os diferentes tipos de matéria (VP1).

A VP2, que está relacionada à distinção de diferentes materiais por meio de suas propriedades, foi evidenciada em questões dos dois roteiros. No roteiro de L5, encontramos evidências da VP2 quando os estudantes são solicitados a identificar, a partir de alguma propriedade ou característica específica, diferenças entre os produtos (questão 2_pré) ou quais das duas amostras de leite analisadas seguem o padrão estabelecido pela legislação (questão_2_pós).

No roteiro de L12, evidenciamos a VP2 quando os alunos são questionados se as bolhas liberadas na reação entre o vinagre e o bicarbonato de sódio são constituídas pelas mesmas substâncias, permitindo que reflitam sobre as propriedades para diferenciar as substâncias (questão_3_pré), e quando são solicitados a identificar o produto que gera a efervescência (questão_2_pós).

A VP3 está relacionada à origem das propriedades dos materiais, analisando não apenas o nível macroscópico, mas também o nível subatômico. Encontramos evidências da VP3 no roteiro de L5 ao instigar o estudante a pensar acerca da influência do pH nas características do produto e o que pode estar presente nas amostras de leite que justifica a diferença do valor de pH observado experimentalmente, ou seja, refletir sobre a propriedade de acidez e basicidade (pH) e sobre os fatores que podem alterar o valor do pH (questão 3_pós).

A VP4 busca estabelecer conexão entre a estrutura química e o comportamento, refletindo sobre como as composições atômica/molecular e estrutural interferem na forma de as diferentes substâncias interagirem para se transformarem em outras espécies químicas. Essa variável foi evidenciada em questões do roteiro de L12, quando os estudantes são questionados sobre a possibilidade de diferentes reagentes passarem pelo mesmo tipo de reação química (questão_5_pré; questão_4_pós), quando são solicitados a refletir e a definir quais são os produtos formados nas duas reações químicas realizadas na parte experimental (questão_2_pós) e quando são solicitados a avaliar a estrutura e a composição dos compostos inorgânicos para definir quais reações inorgânicas estão ocorrendo (questão_6_pós).

A VP5 se relaciona ao conceito de causalidade e se refere à busca sobre por que os processos químicos acontecem e como se iniciam, refletindo sobre os fatores que exercem influência na reação química. Encontramos indícios dessa variável no roteiro de L12 ao propor que os alunos reflitam acerca das reações químicas, por exemplo, os fatores que impulsionam as mudanças químicas, para avaliar se em determinado processo teve ou não a ocorrência de uma reação química (questão_1_pós).

A VP7 se refere à identificação de como as substâncias envolvidas em um determinado processo interagem entre si. Encontramos evidências dessa variável em questões presentes nos dois roteiros analisados. No roteiro de L12, encontramos evidências da VP7: ao questionar os alunos sobre a ocorrência de reação química entre água oxigenada e o machucado e entre o vinagre e o bicarbonato de sódio, permitindo reflexões sobre como essas substâncias interagem entre si (questão_2_pré); ao serem questionados em relação à existência de diferentes tipos de reações químicas, possibilitando a reflexão sobre os padrões de interações que se estabelecem entre as diferentes substâncias (questão_4_pré); quando os estudantes são questionados se ocorrem reações químicas no experimento realizado e quais são os tipos de reações que ocorrem (questão_1_pós e questão_5_pós); quando são instigados a refletir se todas as reações químicas ocorrem da mesma forma (questão_3_pós); e quando são questionados quais os diferentes tipos de reações químicas inorgânicas (questão_6_pós).

Por fim, a VP11 se refere à associação das identidades químicas das substâncias com os impactos nos âmbitos social, econômico e ambiental. Indícios da VP11 aparecem no roteiro do L5 quando os alunos são instigados a pensar sobre os efeitos da produção dos diferentes materiais e, a partir de benefícios, custos e riscos, a tomar uma decisão sobre qual produto adquirir (questão_1_pré e questão_4_pós).

Ao analisar as aulas experimentais elaboradas por dois licenciandos, evidenciamos que as questões presentes nos roteiros instigam que os estudantes transitem e reflitam sobre algumas das VPs, dentre elas, VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, VP7 e VP11. Ou seja, os estudantes são direcionados a pensar sobre a identidade química; a estrutura e a propriedades dos materiais; as interações estabelecidas no sistema; as relações entre estrutura e reatividade; e os benefícios, os custos e os riscos da produção de diferentes materiais.

Isso significa que os estudantes podem utilizar os conceitos disciplinares transversais, que são essenciais para a Química (TALANQUER, 2020; SEVIAN; TALANQUER, 2014), para interpretar, avaliar, criar hipóteses, tomar decisões e sugerir soluções sobre determinados fenômenos relevantes na nossa vida cotidiana. Nessa perspectiva, entende-se as VPs como lentes para desenvolver o Pensamento Químico, uma vez que, frente aos fenômenos do

mundo a sua volta, conseguem utilizar conceitos e questões fundamentais da Química para interpretá-los.

Vale ressaltar que o desenvolvimento do Pensamento Químico, mediante a transição pelas variáveis, não ocorre em apenas uma aula ou uma única atividade: distintas aulas (com atividades experimentais ou não) são necessárias para que os estudantes possam vivenciar diferentes dimensões.

Diante das análises realizadas, nota-se que, ao elaborar as aulas experimentais, os licenciandos se apropriam de determinados aspectos discutidos previamente e daqueles presentes nas atividades experimentais elaboradas pela docente formadora no primeiro semestre da disciplina. Durante a formação docente, é comum que os futuros professores se inspirem nos professores-formadores e incorporem algumas características nas práticas docentes (LYRA; CUSTÓDIO, 2021).

Ao serem questionados sobre o porquê de terem escolhido trabalhar com uma atividade experimental investigativa e com um modelo de roteiro similar aos utilizados na disciplina, os licenciandos apresentaram algumas respostas:

A ideia era fazer com que os alunos fossem os indivíduos ativos da aula e também que fosse realizada uma investigação [...], assim, optei por esse encaminhamento da aula, uma vez que na minha visão se encaixaria na proposta [...]. (L5)
É um roteiro que foi bem trabalhado ao longo da disciplina, o que proporciona um maior entendimento a respeito do seu desenvolvimento. Ter esse conhecimento me deixou mais à vontade para elaborar a minha aula nesse modelo investigativo. A escolha também está relacionada com o meu objetivo de aula, que era permitir que os alunos participem das etapas propostas, dando maior abertura para que expusessem suas opiniões e debatessem seus argumentos. (L12)

A partir das respostas dadas pelos licenciandos, evidenciamos que a escolha da abordagem experimental, bem como da organização da aula, considerou os objetivos de aprendizagem pretendidos, pois identificam que a abordagem permite ao aluno ser protagonista da aula e ao professor, ser o mediador, proporcionando uma aprendizagem significativa.

Borges (2002, p. 307) e Ferreira e colaboradores (2022, p.5) apontam que, se desejamos que os licenciandos adotem atividades mais abertas e investigativas na prática docente, é necessário que tenham contato com esse tipo de atividade no decorrer da formação inicial. Concomitante a essa disciplina, os licenciandos realizam o estágio supervisionado, no qual preparam e ministram aulas para o Ensino Médio em escolas públicas da cidade. Nossos dados corroboram as ideias mencionadas acima, uma vez que, em umas das respostas fornecidas durante a autoscopia, o licenciando (L12) menciona ter empregado uma proposta

semelhante no seu estágio supervisionado, como pode ser visto em “Em meus roteiros preparados para o estágio, eu utilizei da mesma proposta [...]” (L12).

Nesse sentido, compreendemos que referenciais que fundamentam e estruturam as atividades experimentais devem ser discutidos nos cursos de formação inicial, assim como inseridos em propostas desenvolvidas pelos futuros professores, possibilitando que os licenciandos integrem as discussões teóricas em momentos da prática docente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, analisamos roteiros de aulas experimentais elaboradas por licenciandos em Química no decorrer de uma disciplina a fim de encontrar indícios que caracterizam uma atividade experimental de natureza investigativa e se estas possibilitam o desenvolvimento do Pensamento Químico. Para tal, selecionamos alguns roteiros experimentais elaborados e desenvolvidos por licenciandos como uma das tarefas propostas em uma disciplina de um curso de formação docente em Química.

Mediante as análises, os roteiros analisados apresentam evidências de atividades experimentais de caráter investigativo, possibilitando aos estudantes o envolvimento em uma série de habilidades, como a argumentação, a reflexão, a elaboração de hipóteses e a tomada de decisão. Além disso, evidenciamos que as atividades propostas oportunizam o desenvolvimento do Pensamento Químico, pois as questões elaboradas pelos licenciandos nos roteiros experimentais permitem que os estudantes transitem por distintas VPs para respondê-las, pensando acerca da identidade química, da estrutura e das propriedades, dos mecanismos e dos benefícios-custos-riscos.

Contatamos também que, ao elaborar as aulas experimentais, os licenciandos se apropriam de alguns aspectos presentes nas atividades experimentais propostas pela docente formadora no primeiro semestre da disciplina. A partir da autoscopia, percebeu-se que a escolha da abordagem experimental, bem como a organização da aula, foi estruturada conforme os objetivos de aprendizagem pretendidos.

Dessa forma, reforçamos a importância de discutir referenciais que fundamentam e estruturam as atividades experimentais no decorrer da formação inicial docente e de possibilitar espaços para que os licenciandos integrem tais discussões teóricas em momentos da sua prática docente.

REFERÊNCIAS

- ARRIGO, Viviane; LORENCINI JÚNIOR Alvaro.; BROIETTI, Fabiele Cristiane Dias. A autoscopia bifásica integrada ao microensino: uma estratégia de intervenção reflexiva na formação de professores de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 22, p. 1-22, 2017.
- BANKS, Gregory; CLINCHOT, Michael; CULLIPHER, Steven; HUIE, Robert; LAMBERTZ, Jennifer; LEWIS, Rebecca; NGAI, Courtney; SEVIAN, Hannah; SZTEINBERG, Gabriela; TALANQUER, Vicent; WEINRICH, Melissa. Uncovering Chemical Thinking in Students' Decision Making: A Fuel-Choice Scenario. **Journal of Chemical Education**, v. 92, n. 10, p. 1610–1618, 2015.
- BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo, SP: Edições 70, 2011.
- BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.
- CALEFI, P. S.; REIS, M. J. F.; REZENDE, F. C. Atividade Experimental Investigativa na Formação Inicial de Professores de Química: ferramenta para o desenvolvimento de aprendizagem significativa. In: **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**. Águas de Lindóia, 2015.
- CAMEL, Justin H.; HERRINGTON, Deborah G.; POSEY, Lynmarie. A.; WARD, Joseph. S.; POLLOCK, Amy M.; COOPER, Melanie M. Helping Students to “Do Science”: Characterizing Scientific Practices in General Chemistry Laboratory Curricula. **Journal of Chemical Education**, v. 96, p. 423-434, 2019.
- CASTRO, Bruna Jamila. COSTA, Priscila Carozza Frasson. Contribuições de um jogo didático para o processo de ensino e aprendizagem de Química no Ensino Fundamental segundo o contexto da Aprendizagem Significativa. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 6, p. 25-37, 2011.
- CHAMIZO, José Antonio. Technochemistry: one of the chemists' ways of knowing. **Foundations of Chemistry**, v.15, n.2, p.157-170, 2013.
- CHEMICAL THINKING. **Chemical Education Xchange**, 2020. Disponível em: <<https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking>>. Acesso em: 30 de jan. de 2020.
- FERREIRA, Luiz Henrique; HARTWIG, Dácio Rodney; OLIVEIRA, Ricardo Castro. Ensino Experimental de Química: Uma Abordagem Investigativa Contextualizada. **Química Nova na Escola**, v. 32, n. 2, p.101- 106, 2010.
- FERREIRA, Rafael Rocha; MONTEIRO, Paula Cavalcante; BATISTA, Michel Corci; SILVA, João Ricardo Neves. Análise de uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre o tema radiação ultravioleta. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. 1-12, 2022.

GALVÃO, Idmaura Calderaro Martins; ASSIS, Alice. Atividade experimental investigativa no ensino de física e o desenvolvimento de habilidades. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 10, n.1, p.14-26, 2019.

GONÇALVES, Fábio Peres. **A problematização das atividades experimentais no desenvolvimento profissional e na docência dos formadores de professores de química**. 2009. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GONÇALVES, Fábio Peres; MARQUES, Carlos Alberto. A circulação inter e intracoletiva de conhecimento acerca das atividades experimentais no desenvolvimento profissional e na docência de formadores de professores de química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n.2, 2012.

HOFSTEIN, Avi; LUNETTA, Vicent N. The laboratory science education: Foundation for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, p. 28-54, 2003.

LYRA, Letícia; CUSTÓDIO, José Francisco. Em quem me espelhei para ser o professor formador que sou. **Vidya**, v.41, n.1, p. 1-13, 2021.

MARTINS, Isabel P.; VEIGA, Maria Luísa; TEIXEIRA, Filomena; TENREIRO-VIEIRA, Celina; VIEIRA, Rui M.; RODRIGUES, Ana V.; COUCEUIRO, Fernanda. **Educação em Ciências e Ensino Experimental**. Lisboa: 2ªed, 2007.

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

SANTOS, O.; SILVA, R. P.; ANDRADE, D.; LIMA, J. P. M. Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). **Scientia Plena**, v. 9, n. 2, p. 1-6, 2013.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira. A química na formação para a cidadania. **Educación Química**, v. 4, p. 300-305, 2011.

SEVIAN, Hannah; TALANQUER, Vicent. Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. **Chemistry Education Research and Practice**, n. 15, p. 10-23, 2014.

SJÖSTRÖM, Jesper; TALANQUER, Vicent. Eco-reflexive chemical thinking and action. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. 16-20, 2018.

SOUZA, Fabio Luiz; AKAHOSHI, Luciane Hiromi; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro; CARMO, Maria Possar. **Atividades experimentais investigativas no ensino de química**. GEPEQ. Grupo de Pesquisa em Educação Química. São Paulo: Secretaria da Educação, 2013.

SOUZA, Andriele. Coraiola.; BROIETTI, Fabiele Cristiane Dias Broeitti. Atividades Experimentais: uma análise em artigos da Revista Química Nova na Escola. In: **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** – XI ENPEC, Florianópolis, 2017.

SUART, Rita de Cássia. **A experimentação no ensino de química: conhecimentos e caminhos**. 2014. In: SANTANA, E. M.; DA SILVA, E. L. (Org.). Tópicos em Ensino de Química. 1. ed. São Carlos: Pedro & João Editores, p. 63-88.

SUART, Rita de Cássia; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, n. 2, p. 1-22, 2009.

TALANQUER, Vicent. **Assessing for Chemical Thinking**. In. SCHULTZ M., SCHMID S., LAWRIE G. Research and Practice in Chemistry Education: Advances from the 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education. Singapura: Springer, p. 123-133, 2019.

TALANQUER, Vicent. School chemistry: the need for transgression. **Science & Education**, v. 22, p. 1757–1773, 2013.

TALANQUER, Vicent.; POLLARD, John. Let's teach how we think instead of what we know. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 11, p. 74–83, 2010.

VOLKOVA, Elena. V. Evaluation and chemical thinking development. In. **10TH iceeopsy 2019 international conference on education and education psychology**. Barcelona, 2019.

ZOMPERO, Andreia Freitas.; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, v.13, n.03, p.67-80, 2011.

CAPÍTULO 6 – ARTIGO 4: PENSAMENTO QUÍMICO E AS HABILIDADES COGNITIVAS DE ESTUDANTES EM AULAS EXPERIMENTAIS

Resumo: A inclusão da experimentação nas aulas de Química representa uma estratégia promissora para aprimorar a compreensão dos conceitos, capacitando os estudantes a estabelecerem conexões entre conteúdos e práticas científicas. Por meio de atividades experimentais, é possível enriquecer a experiência de aprendizado científico 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 participarem de aulas experimentais. Também investigamos se os níveis estão relacionados com as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico. Os dados foram coletados em uma disciplina ministrada para o último ano de um curso de Licenciatura em Química de uma universidade da região Sul do Brasil. A análise dos dados foi conduzida de acordo com os princípios da análise de conteúdo. A coleta de dados para este estudo incluiu diversos documentos, como as respostas dos licenciandos às perguntas pré e pós-experimento e as questões propostas no roteiro experimental. As questões e as respostas dos estudantes foram categorizadas em diferentes níveis de habilidades cognitivas. Além disso, as respostas dos estudantes foram categorizadas de acordo com as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico. Verificamos que a atividade permitiu que os estudantes transitassem por diferentes variáveis, bem como manifestassem níveis de habilidades cognitivas de alta ordem. Identificamos conexões entre os níveis de habilidades cognitivas das respostas dos estudantes e os níveis das questões. Por fim, propusemos 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.

CHEMICAL THINKING AND COGNITIVE SKILLS OF STUDENTS IN EXPERIMENTAL CLASSES

Abstract: Including experimentation in Chemistry classes is a promising strategy to improve understanding of concepts, enabling students to establish connections between content and scientific practices. Through experimental activities, it is possible to enrich the scientific 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 participating in experimental classes. We also investigated whether the levels are related to variables of progress in chemical thinking. Data were collected in a course taught in the final year of a Chemistry Degree course at a university in the southern region of Brazil. Data analysis followed the principles of content analysis. Data collection for this study included various documents, such as students' responses to pre- and post-experiment questions and the questions proposed in the experimental script. The questions and students' responses were categorized into different levels of cognitive skills. Additionally, students' responses were categorized according to variables of progress in chemical thinking. The activity allowed students to navigate different variables and demonstrate high-order cognitive skills. We identified connections between the

levels of cognitive skills in students' responses and the questions. Finally, we proposed a model that integrates different levels of chemical knowledge, distinct cognitive skills, and variables of progress in chemical thinking, allowing teaching and learning in Chemistry to transcend mere information assimilation, encompassing a deep understanding of the nature of chemistry.

Key-words: experimentation; scientific learning; Progress Variables.

INTRODUÇÃO

As atividades experimentais desempenham um papel fundamental como estratégia pedagógica, pois criam um ambiente propício para explorar as diversas facetas do conhecimento científico. De acordo com Oliveira e colaboradores (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 observação. 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, iniciando-se, geralmente, a partir de situações-problema relacionadas ao contexto dos alunos. Por meio da problemática abordada, pode-se desenvolver habilidades como discutir, refletir, formular hipóteses, propor soluções e interpretar fenômenos que fazem parte do mundo à nossa volta (SUART; MARCONDES, 2009; AUTOR 1 *et al.*, 2020).

No contexto do ensino de Química, a experimentação investigativa emerge como uma ferramenta didática que proporciona um espaço no qual os estudantes podem se tornar participantes ativos e intelectualmente engajados. Ao se envolverem em atividades experimentais investigativas, os alunos são instigados a observar, analisar e interpretar os fenômenos. A interação com os materiais e a manipulação dos instrumentos científicos potencializam a compreensão dos conceitos teóricos e aproximam o conhecimento científico de experiências cotidianas (LEAL, SCHETINGER; PEDROSO, 2019).

Esse ciclo de investigação promove o desenvolvimento de habilidades cognitivas e de resolução de problemas, preparando os alunos não apenas para entender o mundo ao seu redor, mas também para enfrentar desafios complexos a partir de um engajamento crítico e analítico, ou seja, os estudantes são incentivados a elaborar o seu próprio entendimento por meio da exploração prática e da reflexão contextualizada (GONÇALVES; GOI, 2018).

É importante reconhecer que, em diversas situações educacionais, a implementação das atividades experimentais ainda enfrenta desafios. Em certos casos, as atividades experimentais ocorrem de maneira superficial resultando em uma aplicação mecânica de protocolos experimentais técnicos, que priorizam o resultado em detrimento do processo, transformando os experimentos em exemplos ilustrativos ou verificacionistas da teoria já discutida em sala (LEAL, SCHETINGER; PEDROSO, 2019; AUTOR 1 *et al.*, 2020).

Com o objetivo de explorar a construção do conhecimento por meio da experimentação, este estudo se propõe a analisar os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao participarem de aulas experimentais. 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), Sevia e Talanquer (2014) e Talanquer (2019).

6.1 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, dentre eles a saúde, a alimentação, a agricultura e progressos em materiais avançados (SANTOS, 2011).

A abrangência da área Química abarca 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, 2019). Os especialistas em química não estão restritos à previsão e à 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, vale ressaltar que muitos estudantes encontram certa resistência, compreendendo-a como uma disciplina difícil. Essa percepção é muitas vezes justificada pela natureza abstrata dos conceitos, pela complexidade do desenvolvimento e compreensão dos modelos científicos²⁴, bem como pelo surgimento de concepções alternativas (SANTOS *et al.*, 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, deixando de lado 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 visualizarem 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, e que enfatizam o desenvolvimento do Pensamento Químico e as estratégias de raciocínio característicos dos químicos. Isso permite aos alunos visualizarem a disciplina como um todo coeso, 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 com que o aluno empregue o conhecimento químico para resolver problemas pertinentes em várias esferas da vida.

Dessa forma, não importa se os estudantes escolhem trilhar caminhos no campo das Ciências da Natureza ou em outras áreas, pois todos os indivíduos, em algum ponto de suas trajetórias, irão se deparar com situações que requerem a aplicação de princípios químicos ou abordagens fundamentais dessa área do conhecimento, sejam relacionadas aos problemas de saúde, como a compreensão do uso de medicamentos, até decisões em relação ao 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 mera assimilação de

²⁴ A explicação e a compreensão de conceitos químicos envolvem uma elaboração conceitual em 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).

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

Talanquer (2013) afirma que o objetivo central da aprendizagem em Química está em compreender esta ciência como um modo específico de interagir com a natureza. Nesse viés, o Ensino de Química poderia ser voltado para a reflexão sobre as maneiras pelas quais a Química vem permitindo com que os humanos interajam com o ambiente e suas possíveis implicações. Para o autor, o currículo e as práticas educacionais devem levar em consideração os modos característicos de pensar e fazer Química, para que dessa forma, o estudante desenvolva 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 trata-se de um modo de pensar acerca de 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 Polard (2010) mencionam que, de acordo com 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; POLARD, 2010, p. 76).”

Ao priorizar o desenvolvimento das habilidades de pensamento crítico²⁵, análise e resolução de problemas, essa abordagem busca capacitar os alunos não apenas conceitualmente, mas também com as ferramentas intelectuais necessárias para abordar e resolver desafios complexos da vida em sociedade (TALANQUER, 2020).

Neste sentido, a estrutura do Pensamento Químico se fundamenta em seis conceitos disciplinares transversais (CDT) e questões essenciais, reconhecidos como elementos

²⁵ O pensamento crítico é um pensar ético e eficaz em vários contextos e domínios para resolver problemas e tomar decisões sobre o que acreditar ou como agir responsável e sustentavelmente (Tenreiro-Vieira e Vieira 2019).

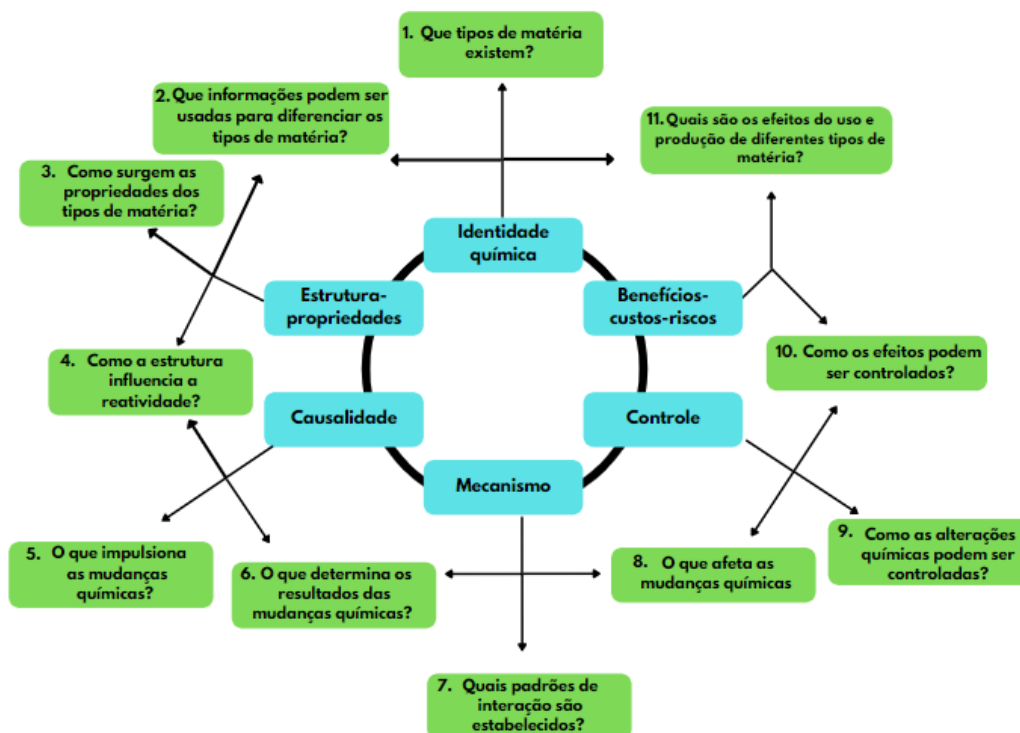
fundamentais para a compreensão de conteúdos químicos e para a execução de atividades práticas no domínio químico (TALANQUER, 2020; SEVIAN; TALANQUER, 2014). A premissa subjacente a essa abordagem é que a compreensão da química vai além do isolamento dos conceitos dentro de uma disciplina específica. Em vez disso, ela é enriquecida por meio da identificação e exploração de conexões entre a química e uma gama diversificada de áreas (TALANQUER, 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 CDTs derivam questões mais específicas, que os autores denominam por Variáveis de Progresso (VP)²⁶. As VP impulsionam o Pensamento Químico, guiando o estudante a obter uma progressão de aprendizagem²⁷ em direção a níveis mais elevados de competência, desenvolvendo dessa forma o Pensamento Químico (TALANQUER, 2013).

A Figura 1 apresenta as 11VPs, bem como o CDT relacionados a cada VP.

²⁶ As Variáveis de Progresso são perguntas mais específicas que impulsionam o Pensamento Químico e que perpassando por elas, espera-se que a aprendizagem dos estudantes progrida (BANKS *et al.*, 2015).

²⁷ As progressões de aprendizagem se referem a níveis de sofisticação e complexidade no conhecimento e raciocínio dos alunos em um determinado domínio, descrevendo maneiras sucessivamente mais sofisticadas de pensar sobre um tópico (SEVIAN; TALANQUER, 2014).

Figura 1 - Variáveis de Progresso do Pensamento Químico e os conceitos disciplinares transversais relacionados



Fonte: extraído de Autor 1 e 2.

A análise da Figura 1 revela uma dinâmica na qual um único conceito disciplinar transversal (representado em azul) pode se conectar a diversas Variáveis de Progresso (identificadas em verde). De forma análoga, as Variáveis de Progresso 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 tipos de matéria). Notavelmente, VP2 também se relaciona com o conceito disciplinar transversal "estrutura-propriedades", enquanto VP11 se relaciona a "benefícios-custos-riscos".

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 não apenas o nível macroscópico, mas também o nível subatômico das estruturas. A VP4 estabelece conexão entre a estrutura química e o comportamento, refletindo sobre como a composição atômica/molecular e estrutural interferem na forma que as diferentes substâncias interagem para se transformarem em 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 moldam a influência nas reações químicas.

A VP6 aborda os diversos mecanismos aos quais uma reação pode ocorrer e explora como essas vias distintas podem impactar os resultados alcançados. 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, de maneira mais detalhada, os elementos que impactam o sistema químico e sua influência sobre o sistema, permitindo assim uma apreensão das estratégias de gestão das mudanças químicas nos diversos sistemas reativos. A VP10 diz respeito à habilidade de tomar decisões relacionadas a aspectos tanto internos quanto externos que são passíveis de alteração e controle, com o objetivo de 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 Variáveis de Progresso adotam configurações diversas, 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 têm algo em comum relacionado à identidade química.

No contexto internacional, identificamos pesquisas nas quais aspectos do Pensamento Químico são utilizados para investigar o raciocínio de alunos acerca de causalidade e mecanismo de reações químicas (WEINRICH; TALANQUER, 2015; YAN; TALANQUER, 2015); para investigar o raciocínio de indivíduos em diferentes níveis de formação em Química quando envolvidos em uma tarefa que exigiu a avaliação dos benefícios, custos e riscos do uso de diferentes substâncias químicas (CULLIPHER *et al.*, 2015); investigar a capacidade dos alunos de tomar decisões sobre as consequências do uso e produção de produtos químicos, avaliando e explicando qual seria o melhor combustível para mover um veículo pequeno (BANKS, *et al.* 2015); e ao investigar a percepção dos professores sobre o Pensamento Químico dos alunos ao planejarem e desenvolverem projetos (STAMMEES *et al.*, 2021).

Nacionalmente a expressão ainda é pouco explorada, sendo muitas vezes utilizada sem uma definição e estruturação clara para o termo. Dos poucos artigos identificados²⁸ que usam a expressão, muitos a empregam como sinônimo de pensar sobre a Química, ou para se referir aos níveis descritos no triângulo de Johnstone (JOHNSTONE, 1982), o que justifica a relevância de outras 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 diferentes níveis. Essas categorias são designadas 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 têm a possibilidade de adotar distintas estratégias, manifestando assim uma variedade de habilidades cognitivas. Enquanto alguns optam por empregar fórmulas para estabelecer conexões, outros baseiam-se em raciocínio lógico para atingir soluções. No campo da educação, compreender como os alunos empregam o conhecimento em determinadas situações é fundamental para desenvolver abordagens de ensino eficazes.

As Habilidades Algorítmicas são comumente identificadas nos estágios iniciais das discussões sobre as atividades propostas, frequentemente percebidas como menos complexas quando comparadas 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 recorrendo à aplicação de fórmulas ou conceitos previamente adquiridos para resolver o problema investigado. A interação com os colegas é mínima ou inexistente, resultando por vezes em respostas diretas e rápidas, como "sim" ou "não". As questões ALG podem ser consideradas como uma categoria independente ou como uma subdivisão das LOCS (ZOLLER; PUSHKIN, 2007).

A categoria de Habilidades Cognitivas de Baixa Ordem (LOCS: Lower Order Cognitive Skills) engloba habilidades como conhecer, recordar/relembrar a informação ou aplicar conhecimento ou algoritmos memorizados em resolução de exercícios. Os alunos nesse nível podem identificar termos-chave, interpretar fatos e entender as ideias apresentadas, mas sua compreensão tende a permanecer no nível superficial. A categoria de Habilidades Cognitivas de Alta Ordem (HOCS: Higher Order Cognitive Skills) inclui habilidades

²⁸ Ao conduzirmos uma pesquisa nos bancos de dados de Periódico da CAPES, em meados de janeiro de 2024, identificamos apenas 5 artigos, sendo estes: AUTOR 1; AUTOR 2, 2023; AUTOR 1; AUTOR 2, 2023b; REZENDE; SILVA, 2021; LAMBACH; MARQUES, 2014; SILVA, 2010).

orientadas para investigação, como resolução de problemas, tomada de decisões, desenvolvimento do pensamento crítico e avaliativo. Os alunos que atingem esse nível são capazes de aplicar conceitos a situações reais, desmontar informações complexas, criar 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 *et al.* (2002), os pesquisadores analisaram o desempenho de estudantes universitários ao responderem questões que abrangiam três diferentes níveis de habilidades cognitivas: Baixas (LOCS), Altas (HOCS) e Algorítmicas (ALG). Para realizar a investigação, os autores elaboraram um conjunto de seis perguntas que foram distribuídas para 97 estudantes provenientes de duas instituições de ensino superior em Israel. Destes participantes, 14 foram posteriormente selecionados para serem entrevistados, visando a compreensão aprofundada das estratégias utilizadas na resolução das questões. Os resultados indicaram que os estudantes obtiveram um desempenho mais satisfatório nas questões de natureza algorítmica. Os autores justificam tal fato argumentando que as questões que exigiam habilidades cognitivas de alta ordem foram consideradas como desafios para os estudantes, uma vez que exigiam a aplicação criativa e a síntese de conhecimentos prévios, em contraste com as questões ALG, nas quais a habilidade de reproduzir conhecimentos era demandada de forma mais frequente.

Zoller *et al.* (2002) ainda argumentam que as estratégias educacionais e métodos de avaliação adotados nas instituições de ensino necessitam fomentar o avanço das habilidades cognitivas de nível elevado (HOCS) entre os estudantes. Como resultado dessa análise, os autores fazem uma recomendação enfática para a promoção de investigações aprofundadas, com o intuito de informar e direcionar práticas pedagógicas capazes de cultivar habilidades cognitivas de maior complexidade, a exemplo da capacidade de tomar decisões criteriosas, solucionar problemas complexos e potencializar o pensamento crítico.

Os níveis de habilidades cognitivas proposto por Zoller *et al.* (2002) também podem ser considerados no contexto de aulas experimentais. Nesse sentido, aulas experimentais tecnicistas, nas quais os estudantes assumem um papel passivo, não compreendem o porquê do experimento e não conseguem sintetizar o que foi proposto, mostram-se como atividades de baixo potencial cognitivo. Em atividades experimentais investigativas, tanto o professor quanto o aluno têm papéis importantes no planejamento e na realização das atividades.

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 na qual tinha por objetivo 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 por parte dos alunos.

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 dadas pelos alunos. Os resultados da pesquisa indicaram 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 devido à atividade ser pouco familiar aos alunos, o que pode exigir mais esforço cognitivo em algumas etapas.

6.2 MODELOS DE ESTRUTURAÇÃO DO CONHECIMENTO QUÍMICO

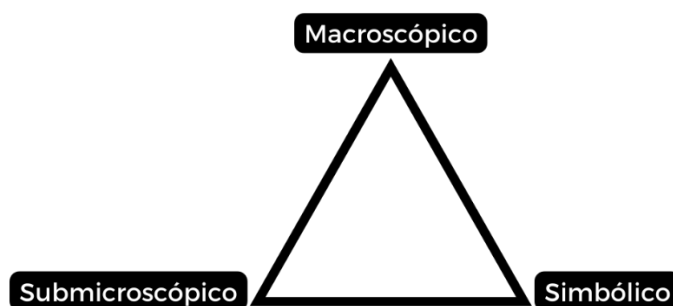
Na ciência, estamos constantemente envolvidos na construção de conceitos, modelos e teorias, aspectos fundamentais para a compreensão da atividade científica. Os modelos científicos não se tratam de representações simplificadas de fenômenos ou sistemas, mas são ferramentas que ajudam os cientistas a 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, facilitando 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 de estruturação do conhecimento que são usados para organizar informações, conceitos e relações dentro de um campo de estudo. Na área de Ensino de Química, um modelo usual é o proposto por Alex Johnstone em 1982, conhecido como triângulo de Johnstone. O modelo proposto pelo autor enfatiza que o conhecimento químico pode ser representado em três diferentes níveis: macroscópico, submicroscópico e simbólico. O nível macroscópico está relacionado com o tangível, o nível

em que os fenômenos são experimentados, observados e descritos (JOHNSTONE, 1982). Podemos entendê-lo como a parte da química que pode ser medida e/ou observada, como a massa, a temperatura, o volume, a liberação de um gás em uma reação ou a mudança de coloração em um fenômeno químico.

O nível representacional refere-se ao nível em que os signos são usados para representar e comunicar conceitos e ideias. Desta forma, esse nível está relacionado às fórmulas químicas, símbolos, equações, estequiometria e matemática. O nível submicroscópico está relacionado com a condição molecular, atômica. É o nível em que os fenômenos são explicados, abrangendo as teorias relacionadas a 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.



Fonte: adaptado de Johnstone, 1993.

Johnstone (1982; 1993) sustenta a perspectiva de 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 notáveis, 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, dado que frequentemente carecem das competências necessárias para apreender esses fenômenos em um nível que requer uma maior capacidade de abstração, como ocorre no nível submicroscópico (JOHNSTONE, 1982).

Por mais que esse modelo seja ainda utilizado e propagado pelos 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, sendo possível encontrar na literatura proposições alternativas ao modelo.

A título de ilustração, Talanquer (2011) destaca que, apesar do atrativo 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 principais componentes. O autor adicionalmente destaca que, ao analisar os próprios trabalhos publicados por Johnstone, é evidente que ele se refere aos componentes do triângulo de múltiplas formas: 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, tendo em mente 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, o autor aborda alguns artigos da literatura buscando uma maior compreensão dos vértices do triângulo. No que concerne ao âmbito submicroscópico, é amplamente aceito na literatura a relevância de 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.

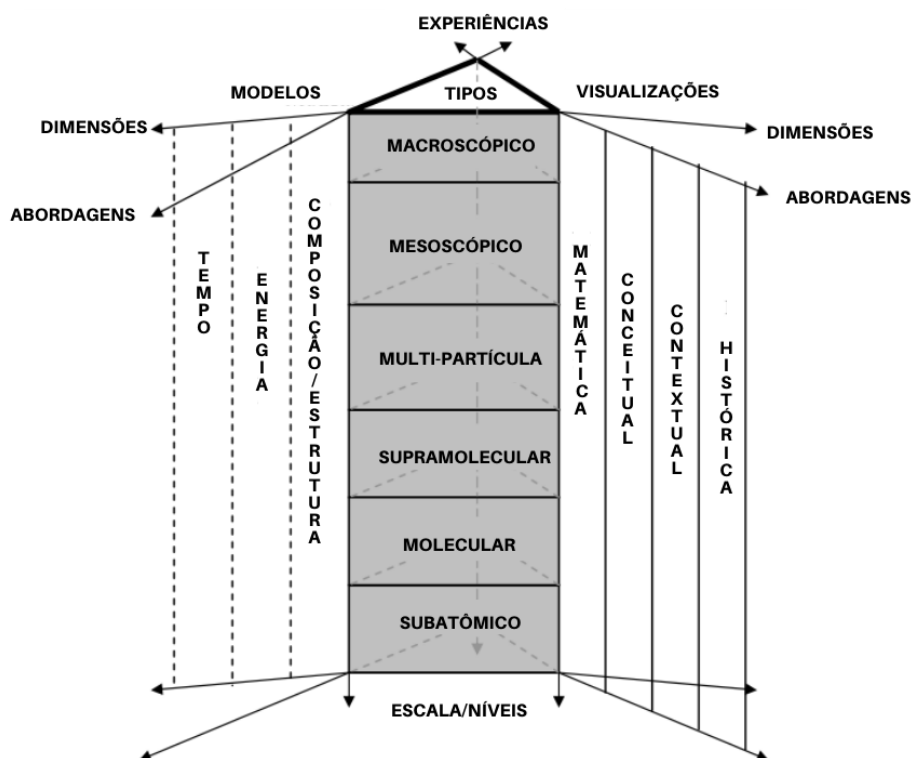
Em relação ao nível macro, também chamado de descritivo, Talanquer (2011) aborda que:

“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.

Figura 3 - Modelo “espaço do conhecimento químico”



Fonte: extraído de Talanquer, 2011.

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).

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, trazendo um caráter mais científico e explicativo sobre os fenômenos, atribuindo-lhes algum tipo de estrutura interna, composição e/ou mecanismo que servem de propósito para explicar ou prever as várias propriedades desses sistemas (TALANQUER, 2011). O terceiro, denominado nível das visualizações, engloba os símbolos e fórmulas químicas, desenhos, equações matemáticas, gráficos, modelos físicos, etc., que são usados para representar visualmente os principais componentes do modelo teórico. O uso do termo “visualizações” encerra todas as possíveis dúvidas quanto ao termo “representações”.

No que se refere às escalas ou níveis relevantes na análise das propriedades de um sistema, Talanquer (2011) aborda que dependem de sua natureza química. Percebemos que o modelo proposto pelo autor propõe seis diferentes níveis. Entretanto, o autor menciona que essas diferentes escalas não pretendem ser exaustivas, mas destacar a importância de reconhecer as diferentes escalas de descrição e explicação que podem ser necessárias a serem consideradas na análise de um determinado sistema. Outra variável presente no modelo presente na Figura 3 são as “dimensões”. Para o autor, podemos olhar para determinado 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) ainda aborda que podemos adotar diferentes “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. Poderíamos ainda usar questões pessoais e sociais relevantes para contextualizar a discussão de ideias. O modelo proposto por Talanquer (2011) amplia a maneira pela qual o conhecimento químico é construído, avançando em relação ao modelo proposto por Johnstone (1982), que enfatiza principalmente na 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) levando em conta que um mesmo fenômeno pode ser discutido por diferentes níveis, sendo estes: experiências, modelos e visualizações, e ao estudá-lo os alunos podem transitar por diferentes Variáveis de Progresso 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.

6.3 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo 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 8 estudantes. Devido à suspensão das aulas presenciais durante a pandemia do Covid-19, todas as atividades foram realizadas de forma remota. Ao longo do semestre, foram discutidos textos e desenvolvidas sete atividades experimentais que abordavam diferentes conceitos químicos. Contudo, para este trabalho nos limitamos a analisar dados referentes a uma das atividades experimentais (AE1). Essa atividade abordou o conteúdo de densidade dos materiais, a partir da separação e identificação de plásticos em diferentes solventes. 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. A atividade apresentava questões pré e pós-experimentos e um vídeo contendo a realização da atividade experimental.

Inicialmente, os alunos receberam, por meio da plataforma do Google Classroom®, um conjunto de perguntas prévias que deveriam ser respondidas de forma assíncrona (Quadro 3). Essas questões tinham o objetivo de identificar os conhecimentos iniciais dos alunos em relação à situação-problema apresentada, bem como suas hipóteses iniciais. Em seguida, em uma aula síncrona, o professor conduziu uma discussão coletiva, mediando um debate sobre as respostas e reflexões dos alunos acerca da atividade proposta.

Dado que não foi possível realizar o experimento no laboratório, por conta do isolamento social, optou-se por selecionar vídeos de experimentos disponíveis gratuitamente na internet. Esses vídeos foram editados para incluir apenas a parte da execução do experimento, permitindo que os estudantes pudessem visualizá-los e participar da atividade experimental de forma remota. Os estudantes receberam o vídeo e questões pós-experimento para serem respondidas como atividade assíncrona. As questões (Quadro 3) buscavam sistematizar os conceitos e tecer considerações que relacionavam o experimento e a problematização inicial. Por fim, uma nova discussão coletiva era mediada pelo professor em uma aula síncrona.

Os dados utilizados nesta pesquisa consistiram das questões elaboradas pelo professor, presentes no roteiro da atividade, bem como as respostas 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 A829. As unidades de análise foram agrupadas na etapa de categorização, o que possibilitou a realização de inferências. Em um primeiro momento, foram analisadas as questões propostas presentes no roteiro da atividade, e para isso, utilizaram-se categorias a priori, adaptadas de Suart e Marcondes (2009), apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Nível de cognição das questões propostas pelo professor.

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

²⁹ Vale ressaltar que este estudo faz parte de um projeto maior que foi aprovado pelo comitê de ética da universidade na qual a pesquisa está vinculada.

	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: adaptado de Suart e Marcondes (2009).

Para analisar as respostas fornecidas pelos estudantes, foram utilizados os níveis de habilidades cognitivas apresentados por Suart e Marcondes (2009), com adaptações, expressas no Quadro 2.

Quadro 2 - Níveis de habilidades cognitivas.

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: adaptado de Suart e Marcondes (2009).

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); esses subníveis referem-se às diferentes habilidades cognitivas de alta ordem que podem ser manifestadas no desenvolvimento da atividade.

Para identificar as Variáveis de Progresso nas respostas dos estudantes, nos baseamos na Figura 1.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 3, 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 Variáveis de Progresso e os níveis de

habilidades cognitivas evidenciados nas respostas dos estudantes, respectivamente. Na quinta coluna, o número de respostas nas quais foram identificadas determinada VP.

Quadro 3 - 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	ocorrência
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	P3	VP1	N4.2	2

após realizar o experimento, por que você acha que as embalagens apresentam aspectos diferentes, mais “finos” e “moles”?		VP2	N4.2	1
		VP1 e VP2	N4.2	3
		VP1 e VP11	N4.2	2

Fonte: a autora.³⁰

Com base nas informações apresentadas no Quadro 3, 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.

³⁰ Na construção do artigo 4 as análises feitas no artigo 1 foram refinadas, justificando diferentes VP presentes.

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 requirida 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 observado

(VP6), o aluno ainda identifica que a natureza/composição desse novo líquido também influenciará no resultado, 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 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 4, apresentamos o quantitativo de respostas atribuídas em cada nível de habilidade cognitiva e as respectivas porcentagens.

Quadro 4 - 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	-	8	-	25%
	N4.3	-	6	-	19%
	N4.4	8	2	32%	6%
N5		-	7	-	22%

Fonte: a autora.

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 Variáveis de Progresso, 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 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 *et al.* (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 e colaboradores (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 Autor 1 e Autor 2 (2023) 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 e colaboradores (2015) empregaram Variáveis de Progresso 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 e colaboradores (2021) também fizeram uso das Variáveis de Progresso 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 Variáveis de Progresso 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.

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: a autora.

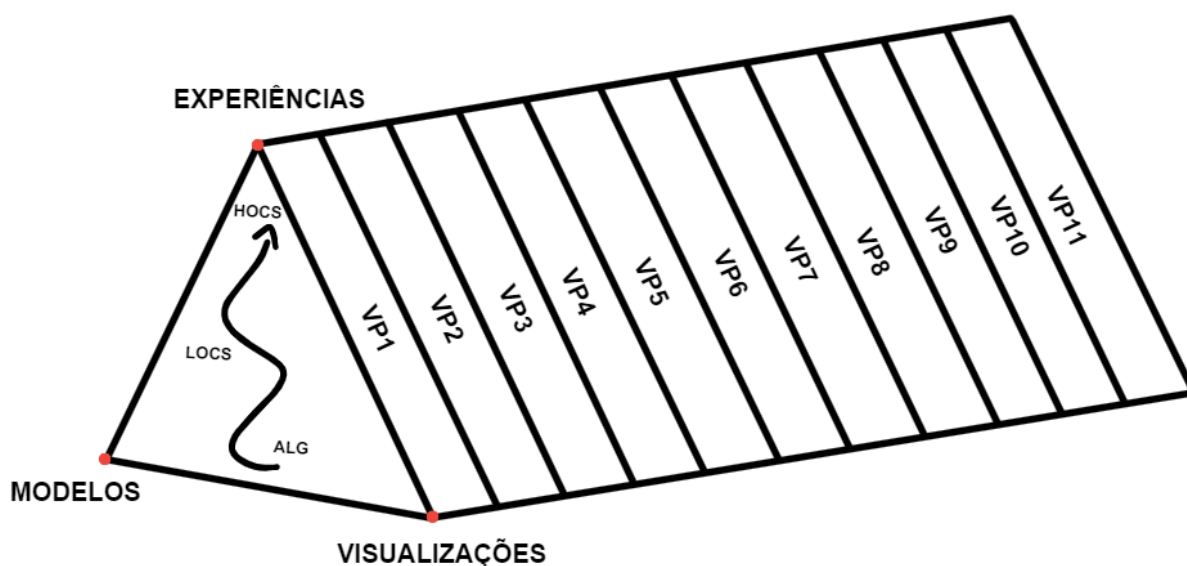
Conforme evidenciado no Quadro 5, observamos que, para resolver uma questão que explore uma mesma variável de progresso, os estudantes podem apresentar diferentes níveis de habilidades cognitivas. Por exemplo, na VP1, que se refere à identidade do material, foram encontradas respostas em diferentes níveis 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.

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 foi 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 e seus colaboradores (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, elaborou-se um modelo que busca representar os temas aqui discutidos, as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico e os níveis de habilidades cognitivas no contexto do conhecimento químico. Esse modelo (Figura 4) incorpora nossas interpretações, bem como o arcabouço teórico que foi discutido.

Figura 4 - Modelo proposto para a representação do Pensamento Químico em situações de ensino



Fonte: a autora.

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, e 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. Para o modelo proposto, a base do prisma representa conhecimento químico, que pode ser trabalhado utilizando diferentes níveis de habilidades cognitivas, perpassando por diferentes Variáveis de Progresso do Pensamento Químico.

Tomemos como exemplo a situação problema apresentada no roteiro experimental – uma empresa de refrigerantes que estava recebendo reclamações sobre a diminuição da qualidade das embalagens plásticas, estando 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 – 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 pode ser explicado 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 ainda, pode-se dizer que: os aspectos mais finos e moles das embalagens pode ser explicado devido a densidade do material utilizado no processo de fabricação das embalagens. Plásticos de menor densidade são frequentemente compostos por cadeias poliméricas longas e ramificadas, o que resulta 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, identificamos a capacidade de formular hipóteses, habilidade de alta ordem cognitiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, ao explorarmos a construção do conhecimento químico por meio da experimentação, objetivamos analisar os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstradas por estudantes de um curso de Química ao participarem de aulas experimentais. Também investigamos se os níveis estão relacionados com as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico, discutidos nos trabalhos de Talanquer e Pollard (2010), Talanquer (2013), Sevan 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 (algorítmicas), que se refere às habilidades cognitivas de ordem mais baixa (LOCS), e as de ordem mais elevada (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 de acordo com as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico.

A partir dos dados analisados, podemos inferir que a atividade experimental permitiu a participação ativa dos licenciandos em todas as etapas da investigação (questões pré e pós-experimento), uma vez que as reflexões possibilitadas tanto pelo vídeo experimental quanto 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 Variáveis de Progresso em todas as questões, tanto no momento pré-experimento quanto no momento pós-experimento, sendo esse um indicativo de que os estudantes fizeram o uso do Pensamento Químico ao longo da aula. Além disso, tanto a atividade experimental quanto as questões formuladas possibilitaram aos licenciandos a oportunidade de refletir sobre o fenômeno e explorar seu Pensamento Químico. Isso resultou em uma expansão do entendimento que eles possuíam sobre o acontecimento, permitindo-lhes compreender a densidade como uma propriedade intrínseca capaz de induzir mudanças físicas em produtos.

Nessa pesquisa, não identificamos uma relação causal entre as Variáveis de Progresso 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 licenciandos 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

Autor 1 & Autor 2 & Autor 3. (2020).

Autor 1 & Autor 2. (2023).

Autor 1 & Autor 2b. (2023).

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/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKGDsXw5Dy4R/?format=pdf&lang=pt>

Banks, G. & Clinchot, M. & Cullipher, S. & Huie, R. & Lambertz, J. & Lewis, R. & Ngai, C. & Sevia, H. & Szteinberg, 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 Ponto de Vista*, 1(2), p. 97-120. Recuperado de <https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/906/806>
- Bernardo, R. A. & Suart, R. C. & Souza, J. A. 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://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/5797/482484902>
- Broietti, F. C. D.; Ferracin T. P. & Arrigo, V. Explorando o conceito “densidade” com estudantes do ensino fundamental. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2018. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/GDLA/article/download/11572/14808?inline=1>
- Chamizo, J. A. (2013). Technochemistry: one of the chemists’ ways of knowing. *Foundations of Chemistry*, 15(2), p.157-170. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-013-9179-z>
- Chemical thinking. (2020). *Chemical Education Xchange*. Recuperado de <https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking>
- Cullipher, S., Seviran, 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.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1840>
- 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.cruzeirosul.edu.br/encima/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. BrasíliaI, 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. & Curralero, 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>
- 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>
- 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* (pp. 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 —triple tl. *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://www.researchgate.net/publication/330635464_Promover_o_pensamento_critico_em_ciencias_na_escolaridade_basica_propostas_e_desafios
- Yan, F. & Talanquer, V. 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>
- 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 https://www.researchgate.net/publication/327254853_Habilidades_cognitivas_apresentadas_por_alunos_participantes_de_un_proyecto_de_iniciacao_cientifica_no_ensino_medio
- Weinrich, M. L. & Talanquer, V. 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>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa de doutorado teve como objetivo principal ampliar as discussões a respeito do Pensamento Químico na literatura brasileira e buscar evidências dele manifestadas por estudantes em aulas experimentais. Partindo de microquestões ou objetivos específicos abordados nos artigos que compõem este estudo, delimitamos a seguinte questão central: como elaborar e avaliar aulas experimentais remotas com foco investigativo visando promover o desenvolvimento do Pensamento Químico em licenciandos e sua relação com as habilidades cognitivas? Para respondê-la, discutiremos os resultados evidenciados em cada um dos artigos que constituiu esta tese *multipaper*.

No primeiro artigo, buscamos respostas ao seguinte questionamento: como propor aulas experimentais remotamente priorizando o caráter investigativo e permitindo aos estudantes fazer uso do Pensamento Químico? Para isso, elaboramos e desenvolvemos atividades experimentais investigativas de forma remota para estudantes de um curso de Licenciatura em Química e avaliamos o uso do Pensamento Químico pelos licenciandos nessas aulas. A atividade abordava o conceito de densidade e foi elaborada visando abranger 8 das 11 VPs (VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, VP6, VP7 e VP8) com o objetivo de que os licenciandos transitassem por elas e, assim, ampliassem o uso do Pensamento Químico. Nesse momento, tivemos nossas primeiras percepções sobre o Pensamento Químico e, com base na análise dos dados, identificamos 9 VPs nas respostas dos estudantes, o que nos levou a inferir que a atividade elaborada foi eficaz ao estimular o uso do Pensamento Químico.

Os dados também indicaram que o roteiro elaborado possibilitou que os estudantes expandissem e explorassem seu Pensamento Químico, pois em duas das questões pós-experimento observamos nas respostas dos licenciandos a presença de uma VP além das previstas inicialmente. Ainda ressaltamos que a atividade experimental e as questões elaboradas nos momentos pré e pós-experimento orientaram os estudantes a empregar as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico para relacionar o conceito de densidade à questão-problema.

No segundo artigo, o intuito era responder ao seguinte questionamento: como identificar evidências do Pensamento Químico manifestadas por licenciandos ao longo de atividades experimentais investigativas realizadas em aulas remotas? Durante a pesquisa, foram analisados os dados de uma atividade experimental relacionada ao tema da conservação de massas em processos químicos. A atividade foi elaborada visando abranger 4 VPs (VP4, VP6, VP7 e VP9). Assim, ao longo da atividade, os estudantes tiveram a oportunidade de

buscar causas que explicassem o fenômeno descrito na situação-problema, de relacionar a aspectos da composição e propriedades dos diferentes materiais e de refletir sobre as interações que ocorreram no sistema e sobre formas de controlá-lo.

Mediante a análise dos dados, evidenciamos que a atividade foi eficaz para os estudantes recorrerem ao Pensamento Químico, visto que em todas as respostas para as questões propostas encontramos indícios das VPs. O roteiro proposto também permitiu que os estudantes explorassem o próprio Pensamento Químico, pois, para diversas questões, evidenciamos em suas respostas VPs além das previstas. No momento pré-experimento, muitos estudantes ainda apresentavam respostas com características intuitivas, ou seja, não estabeleciam uma relação entre a situação-problema e o conhecimento sobre processos químicos e conservação de massas. No entanto, ao longo das aulas, por meio da discussão coletiva das respostas iniciais, da realização do experimento e da apresentação de questões pós-experimento, notamos que os estudantes conseguiram utilizar o Pensamento Químico para relacionar o conceito de conservação de massa em processos químicos à situação-problema. Destacamos que, nesse momento de nossa pesquisa, já apresentávamos maior clareza acerca do conceito de Pensamento Químico, isso reflete no refinamento da definição apresentada para o termo em relação ao primeiro artigo.

No terceiro artigo, analisamos roteiros de atividades experimentais elaborados pelos licenciandos e ministrados de forma presencial ao longo da disciplina com o objetivo de identificar indícios que caracterizam uma atividade experimental de natureza investigativa e se estas possibilitam o desenvolvimento do Pensamento Químico. Durante a análise, evidenciamos que os roteiros elaborados pelos licenciandos apresentaram evidências de atividades experimentais de caráter investigativo, uma vez que possibilitaram que os estudantes desenvolvessem habilidades como argumentação, reflexão, elaboração de hipóteses e tomada de decisão. A partir da análise, também identificamos que as questões elaboradas pelos licenciandos permitiam que os estudantes transitassem por distintas VPs para respondê-las.

Nos roteiros desenvolvidos pelos licenciandos, observamos aspectos discutidos e presentes nas atividades experimentais propostas pela professora-formadora durante a primeira parte da disciplina. A autoscopia realizada com os estudantes permitiu identificar que a seleção da abordagem experimental e a organização da aula foram estruturadas com base nos objetivos de aprendizagem em vez de serem meras reproduções de estratégias previamente estudadas. Nesse momento, compreendemos a importância de atividades desse cunho serem desenvolvidas no decorrer da formação inicial do professor. É essencial que os

futuros educadores tenham contato com práticas que coloquem os estudantes no centro do processo de aprendizagem desde o início, preparando-os para adotar abordagens pedagógicas mais participativas e centradas no aluno ao longo de suas carreiras.

No quarto artigo, que compõe o sexto capítulo da tese, tivemos por objetivo analisar os diferentes níveis de habilidades cognitivas demonstrados pelos estudantes de licenciatura ao participarem de uma atividade experimental. Também investigamos se tais níveis se relacionam às Variáveis de Progresso do Pensamento Químico. Além disso, construímos um modelo que representa a estruturação do Pensamento Químico inspirado no Modelo “espaço do conhecimento químico” de Talanquer (2011). A partir da análise dos dados, destacamos que a atividade foi eficaz para o desenvolvimento do Pensamento Químico dos estudantes e muitas das respostas apresentadas evidenciavam características de Habilidades Cognitivas De Alta Ordem.

Ao final de nossas análises, constatamos uma conexão entre os níveis de habilidades cognitivas presentes nas respostas elaboradas pelos licenciandos e os níveis cognitivos das questões apresentadas na atividade. Tal observação enfatiza a relevância de promover atividades com diversos graus de complexidade a fim de viabilizar uma expansão eficaz das habilidades cognitivas dos estudantes. Por fim, partindo de nosso referencial teórico e dos dados aqui obtidos, elaboramos um modelo que representa a estruturação do Pensamento Químico, o qual pode ser uma ferramenta para auxiliar professores no processo de elaboração de atividades que levem ao desenvolvimento do Pensamento Químico.

Por meio de leituras, interpretações da literatura disponível e análise de nossos dados, desenvolvemos uma compreensão mais aprofundada do conceito de Pensamento Químico. Ressaltamos que este se trata de um processo no qual os estudantes mobilizam seus conhecimentos em Química para analisar, discutir, refletir e propor explicações para diversos problemas. Resumidamente, ele representa uma forma de raciocínio que permite estabelecer conexões entre diferentes conceitos químicos com o objetivo de compreender e explicar os fenômenos. Percebemos também que as VPs podem ser consideradas indicadores do Pensamento Químico, pois abordam questões essenciais que auxiliam os estudantes a empregar o conhecimento químico na compreensão de fenômenos em diferentes áreas.

No que se refere às VPs do Pensamento Químico, nossas análises revelaram dois pontos importantes. Primeiramente, constatamos a ausência de algumas VPs nos roteiros analisados. Em segundo lugar, observamos que certas VPs aparecem com uma frequência significativamente maior do que outras. A seguir, buscamos entender o que esses fatos indicam e, para isso, retomaremos alguns dos dados apresentados no decorrer da tese.

No Artigo 1, o roteiro analisado abordava o tema plásticos, abordando o conceito químico densidade. Durante as análises desse roteiro, identificamos 9 das 11 VPs, sendo elas: VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, VP6, VP7, VP9 e VP11. As VPs com maior incidência foram VP2, VP4, VP5 e VP7, enquanto VP8 e VP10 estiveram ausentes.

No Artigo 2, o roteiro analisado tratava do tema combustão com foco na conservação de massas em processos químicos. Nesse caso, identificamos 6 das 11 VPs: VP4, VP5, VP6, VP7, VP8 e VP9, com a ausência de VP1, VP2, VP3, VP10 e VP11.

No Artigo 3, analisamos dois roteiros elaborados pelos estudantes e, para fim de análise, abordaremos aqui um deles, sendo este o roteiro que tinha como tema alimentos, envolvendo conceitos de pH, acidez e conservação dos alimentos. Nesse roteiro, identificamos 3 das 11 VPs: VP2, VP3 e VP11, com a ausência de VP1, VP4, VP5, VP6, VP7, VP8, VP9 e VP10.

O Quadro 8 agrupa essas informações de forma mais clara e organizada.

Quadro 8 - Variáveis de Progresso identificadas em três roteiros analisados.

Roteiro/conteúdo	VP1	VP2	VP3	VP4	VP5	VP6	VP7	VP8	VP9	VP10	VP11
R1 Densidade											
R2 conservação de massas											
R3 pH, acidez											

Fonte: a autora.

As análises dos roteiros revelam indícios de padrões distintos de presença e ausência das VPs que podem ser explicados pela natureza dos conceitos químicos abordados em cada tema.

No Artigo 1, o tema plásticos, com foco na densidade, se beneficia de uma ampla gama de VPs. A análise da densidade foi conduzida sob dois vieses principais. O primeiro analisou a densidade em relação às propriedades da matéria, justificando a presença das VPs de VP1 a VP5. Por exemplo, a VP1, que aborda a identidade química, questiona “Que tipos de matéria existem?”, enquanto a VP2 questiona “Que informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria?”. Essas questões são fundamentais para entender a propriedade densidade, bem como as características e a classificação dos materiais plásticos

com base em sua densidade. O segundo viés justifica a presença de VPs como a VP7, que aborda mecanismos e questiona “Quais padrões de interação são estabelecidos?”. Isso é relevante ao refletir e propor relações sobre os valores da densidade em relação aos líquidos e a outros materiais. Além disso, a situação-problema apresentada incentivava a reflexão sobre os impactos da densidade na qualidade das embalagens, justificando assim a presença da VP11. No entanto, nem as questões elaboradas, nem a situação-problema instigavam a reflexão sobre como controlar os efeitos observados, o que explica a ausência de outras VPs que poderiam abordar esse aspecto.

No Artigo 2, a presença das VPs VP4, VP5, VP6, VP7, VP8 e VP9 está diretamente relacionada às demandas do conceito de conservação de massas. Diferentemente do conceito de densidade, que se relaciona mais profundamente à estrutura e às propriedades das matérias, a conservação de massa está ligada aos mecanismos das reações químicas, aos padrões de interação que se estabelecem e ao controle desses processos.

O roteiro analisado que abordava o tema alimentos (Artigo 3) contemplava os conceitos de pH, acidez e conservação dos alimentos. Este conteúdo químico está intimamente associado à identidade química e às propriedades da matéria, justificando a presença da VP2 e da VP3. A situação-problema proposta solicitava que, a partir do texto apresentado, se decidisse entre comprar leite armazenado em caixinha ou em saquinho, levando a uma reflexão sobre benefícios, custos e riscos, o que justifica a presença da VP11.

Essas observações sugerem uma relação clara entre o conteúdo químico abordado nos roteiros e as Variáveis de Progresso do Pensamento Químico identificadas na análise dos dados. No entanto, essa foi uma limitação desta pesquisa, uma vez que nossos dados não permitem realizar inferências mais aprofundadas dessa relação. Portanto, são necessários mais estudos para explorar essa conexão, ou seja, a análise de outros roteiros.

Entretanto, inferimos que o desenvolvimento do Pensamento Químico é fundamental para uma compreensão aprofundada da Química e para a solução de problemas e desafios relacionados a essa ciência. Portanto, é importante para todos os cidadãos, uma vez que vivemos em um mundo repleto de fenômenos químicos. Promover o Pensamento Químico significa oferecer situações que permitam aos estudantes olhar e pensar sobre o mundo de maneiras diferentes. Assim, é essencial que os alunos tenham oportunidades de desenvolver seu Pensamento Químico ao longo da formação.

Por fim, a partir dos estudos realizados no decorrer desta tese, elaboramos um Quadro organizador que agrupa todas as VP do Pensamento Químico e suas características gerais, a fim de que facilite todas e quaisquer análises e estudos futuros.

Quadro 9 - Variáveis de Progresso e suas descrições gerais.

VP	Descrição e exemplos
1 - Que tipos de matéria existem?	Refere à identificação e à classificação dos diferentes tipos de matéria. Podemos questionar que tipo de matéria existe nesse material reciclável? Responder essa questão pode auxiliar na separação do lixo.
2- Que informações podem ser usadas para diferenciar os tipos de matéria?	Trata da diferenciação de materiais com base em suas propriedades. As diferentes densidades dos plásticos por exemplo, permite a diferenciação do tipo de plástico utilizado em determinada embalagem.
3- Como surgem as propriedades dos tipos de matéria?	Indaga como as propriedades dos materiais surgem analisando não apenas o nível macroscópico, mas também o microscópico. Aqui podemos relacionar de forma mais aprofundada a estrutura e propriedade da matéria e buscar compreender tais relações.
4- Como a estrutura influencia a reatividade?	Estabelece a conexão entre estrutura química e comportamento. Podemos pensar, por exemplo, porque ao queimar papel em uma balança a massa diminui, mas a palha de aço a massa aumenta.
5- O que impulsiona as mudanças químicas?	Questiona por que os processos químicos ocorrem e como começam examinando os fatores que influenciam as reações químicas. Realizando uma metáfora, ao visualizar um incêndio em uma estrada podemos questionar o que fez aquele incêndio iniciar, podendo a resposta ser uma bituca de cigarro jogada através de uma janela de um carro.
6- O que determina os resultados das mudanças químicas?	Se relaciona com a causa, abordando os diferentes mecanismos de reação e os fatores que influenciam os resultados. Ainda pensando na metáfora do incêndio, o que determina o resultado do incêndio poderia ser, por exemplo, o tempo que os bombeiros demorariam para chegar no local e apagar, se esse tempo é menor, o resultado (queima) será menor, entretanto se houver uma demora, o estrago sofrido será maior.
7- Quais padrões de interação são estabelecidos?	Investiga os padrões de interação que ocorrem nos sistemas em estudos. Como exemplo ao queimar a palha de aço, ocorre uma reação com o oxigênio do ar formando um óxido, por isso observamos aumento na massa.
8- O que afeta as mudanças químicas?	Essa VP identifica fatores internos e externos que afetam os processos químicos. Podemos por exemplo pensar em possíveis fatores que afetam o rendimento de uma reação química: os reagentes estavam vencidos? Os cálculos de massa foram feitos corretos? Houve contaminação no processo de reação?
9- Como as alterações químicas podem ser controladas?	Se aprofunda na compreensão dos fatores que afetam o sistema químico e como eles o influenciam, permitindo o controle das alterações químicas nos sistemas reacionais. Para exemplificar, podemos pensar no âmbito ambiental, como posso minimizar a ocorrência da chuva ácida?
10- Como os efeitos podem ser controlados?	A VP10 aborda a tomada de decisão sobre fatores que podem ser modificados e controlados para maximizar benefícios e minimizar custos e riscos. Ainda no

	âmbito ambiental, como posso diminuir os efeitos da chuva ácida, ou seja, diminuir desgastes em monumentos, morte de peixes e etc?
11- Quais são os efeitos do uso e produção de diferentes tipos de matéria?	Investiga os efeitos do uso e da produção de diferentes matérias, associando identidades químicas a impactos sociais, econômicos e ambientais.

Fonte: Autor

Dessa forma, ao se elaborar determinada atividade ou, ao se analisar respostas fornecidas por estudantes, sugere-se consultar o Quadro 9, bem como a Figura 1 e 4. Ao elaborarmos as propostas de atividades experimentais, priorizamos o enfoque investigativo, de modo que os estudantes desempenhassem um papel ativo, relacionando os conceitos químicos a situações reais. Além disso, propomos questões que, ao serem respondidas, fariam os estudantes transitar por diferentes Variáveis de Progresso, pensando em aspectos como identidade química, estrutura e propriedades, causalidade, mecanismo, controle e benefícios, custos e riscos.

Dessa forma, destacamos o papel das atividades experimentais nos processos de ensino e aprendizagem de ciência, sobre ciência e para se fazer ciência. Ao propor situações desafiadoras que envolvam a investigação e a resolução de problemas, essas atividades permitem que os alunos coloquem em prática seus conhecimentos químicos e desenvolvam habilidades de análise e interpretação.

Com base na análise dos dados obtidos, fica evidente que as atividades experimentais propostas ao longo da disciplina e analisadas neste estudo apresentam potencial significativo para o desenvolvimento do Pensamento Químico dos estudantes. Nesse sentido, a elaboração de atividades investigativas, aliada a questões que estimulem os alunos a refletir sobre as diferentes Variáveis de Progresso (VPs), se revela uma abordagem promissora para impulsionar o desenvolvimento do Pensamento Químico entre os estudantes. Entretanto, destacamos que o Pensamento Químico pode ser aplicado em outros contextos e não apenas em atividades experimentais.

Acreditamos ainda que, para os alunos do Ensino Básico desenvolverem o Pensamento Químico, é fundamental que esse tema seja abordado e vivenciado durante a formação inicial e continuada dos professores a fim de estes tenham as ferramentas necessárias para propor atividades que estimulem as habilidades cognitivas.

Uma das contribuições deste estudo esteve na identificação e no preenchimento de uma lacuna na literatura brasileira especificamente relacionada ao Pensamento Químico. O

estudo possibilitou uma discussão dos referenciais que abordam essa temática e sua implementação em situações de ensino com enfoque experimental.

Além disso, a tese apresenta o desenvolvimento de atividades experimentais inovadoras que não só enriquecem a experiência de aprendizagem dos alunos, mas também são especialmente notáveis por sua adaptabilidade ao ensino remoto.

Durante a elaboração da tese, optei pelo formato multipaper, uma escolha que se revelou extremamente enriquecedora para minha formação ao longo do doutorado. Este formato me proporcionou um aprimoramento significativo na escrita científica, além de me permitir aprofundar em temas específicos com maior rigor. A experiência de submeter cada artigo a avaliadores de revistas acadêmicas foi desafiadora, mas fundamental para a elevação da qualidade do trabalho final, garantindo que cada capítulo fosse minuciosamente revisado e aprimorado. Essa trajetória não apenas consolidou minha capacidade de pesquisa, mas também me preparou melhor para futuras contribuições na área, além de contribuir para a divulgação mais rápida dos resultados da tese.

Em relação às perspectivas futuras, ou seja, aos novos horizontes investigativos, temos ao menos 3 propostas de artigos futuros: i) um artigo teórico sobre o Pensamento Químico explorando as diferentes compreensões no contexto brasileiro e internacional; ii) um artigo com uma análise mais abrangente examinando ao menos 5 aulas experimentais diferentes desenvolvidas pela professora-formadora. Cada atividade abordou um conjunto de Variáveis de Progresso do Pensamento Químico (VP), o que nos permitirá uma análise mais detalhada e comparativa das experiências de aprendizado proporcionadas por cada uma delas. O objetivo dessa análise é uma maior compreensão do comportamento de cada VP frente aos diferentes conteúdos químicos, uma vez que a análise realizada nos artigos 1, 2 e 3 já nos apresentou indícios de que os diferentes conteúdos químicos demandam o uso de Variáveis de Progresso específicas; iii) por fim, almejamos um sétimo artigo em que focaremos a elaboração dos roteiros e a relação com a formação inicial principalmente ao analisarmos a autoscopia respondida pelos estudantes após ministrarem seus microensinos.

REFERÊNCIAS

- AIRES, F. T. B. J. A. A. Por uma epistemologia Química para a educação em química. **VIII Jornada de História da Ciência e Ensino e II Congresso Internacional de História da Ciência no Ensino**, São Paulo, 2021.
- ALMEIDA, F. G.; ARRIGO, V.; BROIETTI, F. C. D. 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**, São Paulo, v. 10, p. 1-21, 2020.
- ALMEIDA, F. G.; BROIETTI, F. C. D. Explorando o Pensamento Químico de licenciandos em aulas experimentais remotas. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 45, n. 1, p. 69-84, 2023.
- ALONSO-LANA, S. *et al.* Cognitive and Neuropsychiatric Manifestations of COVID-19 and Effects on Elderly Individuals With Dementia. **Front Aging Neurosci**, Barcelona, 2020. Disponível em: <https://dialogus.baraodemaui.br/index.php/cse/article/view/36>. Acesso em: 29 set. 2023
- ALVES, M.; PACHECO, V.; CEDRAN, J.; KIOURANIS, N. Encontros Nacionais de Ensino de Química: mapeando as linhas temáticas dos ENEQ's de 2006 a 2018. **Revista Insignare Scientia**, v. 4, n. 3, p. 227-241, 2021.
- ANDRADE, M. M. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- ANDRE, Marli. A jovem pesquisa educacional brasileira. **Rev. Diálogo Educ. [online]**. 2006, vol.06, n.19, pp.11-24. ISSN 1981-416X.
- ASSIS, A.; LABURÚ, C. E.; SALVADEGO, W. N. C. **A seleção de experimentos de química pelo professor e o saber profissional**. Pesquisa em Educação em Ciências, São Paulo, v. 9, n. 1, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4009> Acesso em: 20 set. 2023.
- AYRES-PEREIRA, T. I. O cotidiano como contexto para o ensino de transformações químicas. **Indagatio Didactica**, Boston, 2019, Disponível em: Acesso em: 20 set. 2023.
- AZEVEDO, M. C. P. S. 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, 2004.
- AZEVEDO, Carlos Eduardo Franco; OLIVEIRA, Leonel Gois Lima; GONZALEZ, Rafael Kuramoto; ABDALLA, Márcio Moutinho. A Estratégia de Triangulação: Objetivos, Possibilidades, Limitações e Proximidades com o Pragmatismo. IV Encontro de Ensino e Pesquisa em Administração e Contabilidade, 2013.
- BADLEY, G. Academic writing: contested knowledge in the making?. **Quality Assurance in Education**, Boston, v. 17, n. 2, p. 104-117, 2009. Disponível em:

<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/09684880910951345/full/html>. Acesso em: 20 set. 2023.

BAGARUKAYO, Emily; MBARIKA, Victor. Impact of multimedia instructional materials on the attainment of higher order cognitive skills: a literature review. *In: Proceedings of the 10th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services*. 2008. p. 642-646.

BANKS, G. *et al.* Uncovering Chemical Thinking in Students' Decision Making: A Fuel-Choice Scenario. **Journal of Chemical Education**, Boston, v. 92, n. 10, p. 1610–1618, 2015. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.5b00119>. Acesso em: 30 set. 2023.

BARBOSA, F. T.; AIRES, J. A. A abordagem HFC por meio de estudos de casos históricos: propostas didáticas para o Ensino de Química. **Educação Química em Ponto de Vista**, 1(2), p. 97-120, 2017. Recuperado de: <<https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/906/806>>

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. 7. ed. Petrópolis: Vozes, 2002.

BERNARDO, R. A.; SUART, R. C.; SOUZA, J. A. 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://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/5797/482484902>

BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166013>. Acesso em: 29 set. 2023.

BORGES, B. A. Novos rumos para o Laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Belo Horizonte, v. 19, n. 3, dez. 2002. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166013>. Acesso em: 20 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. **Orientações curriculares para o ensino médio**. Brasília: MEC, 2006. Disponível em http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em: 22 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Como se proteger?** Disponível em: <<https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus/como-se-proteger>> Acesso em: jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Portaria nº 343, de 17 de março de 2020. Dispõe sobre a substituição das aulas presenciais por aulas em meios digitais enquanto durar a situação de pandemia do Novo Coronavírus –COVID-19. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**: Ministério da Educação, 2020. Disponível em <http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-343-de-17-de-marco-de-2020-248564376>. Acesso em julho 2020.

BROIETTI, F. C. D.; FERRACIN T. P.; ARRIGO, V. Explorando o conceito “densidade” com estudantes do ensino fundamental. **Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias**, v. 13, n. 2, p. 201-217, 2018.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E; BURSTEN, B. E. **QUÍMICA: A Ciência Central**. 9. ed. Prentice Hall, 2005.

BURKE, K. A.; GREENBOWE, T. J.; HAND, B. M. Implementing the Science Writing Heuristic in the Chemistry Laboratory. **Journal of Chemical Education**, v. 83 n. 7, p. 1032-1038, 2006.

CACHAPUZ, A.; PAIXÃO, F.; LOPES, J. B.; GUERRA, C. Do Estado da Arte da Pesquisa em Educação em Ciências: Linhas de Pesquisa e o Caso “Ciência-Tecnologia-Sociedade. **Alexandria**, v.1, n.1, p. 27-49, 2008.

CALEFI, P. S.; REIS, M. J. F.; REZENDE, F. C. Atividade Experimental Investigativa na Formação Inicial de Professores de Química: ferramenta para o desenvolvimento de aprendizagem significativa. *In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC*. Águas de Lindóia, 2015.

CAMEL, J. H. *et al.* Helping Students to “Do Science”: Characterizing Scientific Practices in General Chemistry Laboratory Curricula. **Journal of Chemical Education**, Miami, v. 96, p. 423-434, 2019. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jchemed.8b00912>. Acesso em: 30 set. 2023.

CAMILLO, C. M.; GRAFFUNDER, K. G. Mapeamento das contribuições de atividades experimentais no ensino de Ciências. **Ensino de Ciências e Tecnologia**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 215-230, 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/12770>. Acesso em: 30 set. 2023.

CANTONI, J.; ROCHEMBACH, E. S.; CHIAPINOTO, M. L.; LAUXEN, A. A. **Estágio Curricular Supervisionado: perspectivas e desafios de constituir - se educador em tempos de pandemia**. Revista Insignare Scientia, v. 4, n. 3, p. 369-385, 2021

CEZARE, P. S. L. **Obstáculos epistemológicos e pedagógicos em relação à adaptação biológica: conceitos e propostas pedagógicas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2016.

CHAMIZO, J. A. Technochemistry: one of the chemists’ ways of knowing. **Foundations of Chemistry**, México, v.15, n. 2, p.157-170, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10698-013-9179-z>. Acesso em: 30 set. 2023
CHEMICAL THINKING. **Chemical Education Xchange**, 2020. Disponível em: <https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking>. Acesso em: 30 jan. de 2020.

CLARK, O. A.C.; CASTRO, A. A. A pesquisa. **Pesquisa Odontológica Brasileira**, São Paulo, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pob/a/Y7Zwy8rNNVf6TS6Sv78v6SN/>. Acesso em: 20 set. 2023.

COSTA, W. N. G. Dissertações e teses *Multipaper*: uma breve revisão bibliográfica. **Anais Seminário Sul-Mato-Grossense de Pesquisa em Educação Matemática**, Mato Grosso, v. 8, n. 1, 2014. Disponível em: <http://trilhasdahistoria.ufms.br/index.php/sesemat/article/view/3086>. Acesso em: 20 set. 2023.

CRESWELL, J. W. **30 essential skills for the qualitative researcher**. Los Angeles: SAGE Publications, 2016.

CULLIPHER, S.; SEVIAN, H.; TALANQUER, V. Reasoning about benefits, costs, and risks of chemical sub-stances: Mapping different levels of sophistication. **Chemistry Education Research and Practice**, Boston, 2015. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2015/rp/c5rp00025d>. Acesso em: 25 set. 2023.

CUNHA, A. P. S; SILVA, L. P. Atividade Experimental Problematizadora: uma análise de pH em amostras de solo com alunos do 3ºano do ensino médio. **Scientia Plena**, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.034404>. Acesso em: 30 set. 2023.

DOTTI, M. Analogia e mediação docente no processo de ensino e aprendizagem de equilíbrio químico. **Educação em ponto de vista**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 125-141, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.30705/eqpv.v2i2.1419>. Acesso em: 30 set. 2023.

DUKE, N. K.; BECK, S. W. Research news and comment: Education should consider alternative formats for the dissertation. **Educational Researcher**, Washington, v. 28, n. 3, p. 31-36, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.3102/0013189X028003031>. Acesso em: 13 jun. 2023.

ECO, H. **Como se faz uma tese**. São Paulo: Perspectiva; 1989.

FERNANDES, V. Porquê & onde publicar. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, São Paulo, v.57, n.3, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781439>. Acesso em: 20 set. 2023.

FERREIRA, L. H.; HARTWING, D. R.; OLIVEIRA, R. C. Ensino Experimental de Química: Uma abordagem investigativa contextualizada. **Química nova na escola**, v. 32, n. 2, 2010.

FERREIRA, M. V. da S.; GOI, M. E. J.; MEDEIROS, D. R. Contribuições das Atividades Experimentais no Ensino de Química da Educação Básica. **Ciências & Ideias**, Pampa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/3809>. Acesso em: 30 set. 2023.

FERREIRA, R. R.; MONTEIRO, P. C.; BATISTA, M. C.; SILVA, J. R. N. Análise de uma proposta de sequência de ensino investigativa sobre o tema radiação ultravioleta. **Research, Society and Development**, [s. l]. v. 11, n. 10, p. 1-12, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28666>. Acesso em: 29 set. 2023.

FIORI, R.; GOI, M. E. J. **O Ensino de Química na plataforma digital em tempos de Coronavírus**. Revista Thema, Edição Especial Covid- 19, v. 18, p. 218 - 242, 2020.

FLICK, U. **Desenho da pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRAGA, T. C. G. **Uma análise do caso multimídia Explorando perímetro e**

GABEL, D. L. Use of the particulate nature of matter in developing conceptual understanding. **Journal of Chemical Education**, Bloomington, v. 70, n. 3, p. 193-194, 1993. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed070p193>. Acesso em: 29 set. 2023

GABEL, D. L. Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future. **Journal of Chemical Education**, Boston, p. 548–554, 1999. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed064p695>. Acesso em: 29 set. 2023

GABEL, D. L.; SAMUEL, K. V.; HUNN, D. Understanding the particulate nature of matter. **Journal of Chemical Education**, Boston, p. 695–697, 1987. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ed064p695>. Acesso em: 29 set. 2023

GABEL, D. L.; SHERWOOD, R. D. ENOCHS, L. Problem-solving skills of high school chemistry student. **Journal of Research Science Teaching**, USA, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tea.3660210212>. Acesso em: 29 set. 2023.

GALVÃO, I. C. M.; ASSIS, A. Atividade experimental investigativa no ensino de física e o desenvolvimento de habilidades. **Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v. 10, n.1, p.14-26, 2019. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1570>. Acesso em: 30 set. 2023.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

GOMES, A. L.; BILESSIMO, S. M.; SILVA, J. B. 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**. v. 15, n. 1, 2020.

GONÇALVES, F. P. *et al.* **O texto de experimentação na educação em química: discursos pedagógicos e epistemológicos**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005. Disponível em: Acesso em: 20 set. 2023.

GONÇALVES, L. P. da S.; NOBRE-DA-SILVA, N. A.; BENITE, C. R. M. A experimentação no Ensino de Química: compreensões de licenciandos manifestadas em um Ambiente Virtual de Aprendizagem. **Prática Docente**, São Paulo, v. 7, n. 2, 2022. Disponível em: <http://periodicos.cfs.ifmt.edu.br/periodicos/index.php/rpd/article/view/227>. Acesso em: 23 set. 2023.

GROPPO, L. A.; MARTINS, M. F. **Introdução à pesquisa em educação**. São Paulo: Biscalchin, 2006. Gláucia da Conceição Lima Glauber Santana de Sousa. Introdução à Pesquisa em Educação.

HIRAYAMA, P.; PORTO, P. A. Elementos de História e Filosofia da Química Segundo Professores do Ensino Médio: relações química/sociedade. **Ensino de Química**, São Paulo,

v.2, n.1, p.1-27,2021. Disponível em: <https://doi.org/10.56117/resbenq.2021.v2.e022104>. Acesso em: 30 set. 2023.

HOCS. **Journal of Chemical Education**, Boston, 1993. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed070p195>. Acesso em: 29 set. 2023.

HODSON, Derek. Experimentos na ciência e no ensino de ciências. Tradução de Paulo A. Porto. **Educational Philosophy and Theory**. Nova Zelândia, 1988.

IMBERTI, G. A.; PEREIRA, S. S.; DE PAULA, R. G.; GONÇALVES, E. C.; COITINHO, J. B. Ensino remoto emergencial durante a pandemia na perspectiva freiriana. **Olhares & Trilhas**, v. 23, n. 2, p. 555-579, 2021.

IZQUIERDO-AYMERICH, M.; ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. **Science and Education**, 12, 27-43, Boston, 2003. Disponível em: < <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904> > Acesso em: 20 set. 2023.

IZQUIERDO-AYMERICH, M. School Chemistry: An Historical and Philosophical Approach. **Science & Education**, n. 22, p. 1633–1653, 2013.

JOHNSTONE, A. H. Macro- and microchemistry. **School Science Review**, [s. l], v. 64, p. 377–379, 1982. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/EQF-49-20.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom like they seem. **Journal of Computer Assisted Learning**, UK, p. 75–83, 1991. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>. Acesso em: 29 set. 2023

JOHNSTONE, A. H. The Development of Chemistry Teaching. **The Forum**, Boston, v. 70, n. 9, p. 701-705, 1993. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed070p701>. Acesso em: 29 set. 2023

JOHNSTONE, A. H. Teaching of chemistry: logical or psychological?. **Chemistry Education Research and Practice**, Europe, v. 1, n. 1, 2000. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed070p701>. Acesso em: 29 set. 2023.

KLAIBER, M. A. **Introdução à álgebra linear em um curso de licenciatura em química: o desenvolvimento do pensamento matemático avançado por meio de uma experiência de ensino**. 2019. 329f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

LAWRIE, G. **Research and Practice in Chemistry Education**. Singapura: Springer, 2019.

LIMA, Gláucia da Conceição; SOUSA, Glauber Santana de. **Referenciais Da Pesquisa Educacional E Instrumentos De Coleta De Dados**. 2011. Disponível em: < https://cesad.ufs.br/ORBI/public/uploadCatalogo/09205028032012Introducao_a_Pesquisa_e_m_Educacao_aula_3.pdf > Acesso em: 20 jun. 2024.

MAHAFFY, P. Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. **Journal Chemistry Education**, Londres, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ed083p49>. Acesso em: 19 set. 2023.

MARCONDES, N. A. V.; BRISOLA, E. M. A. Análise por triangulação de métodos: um referencial para pesquisas qualitativas. **Revista Univap**, v. 20, n35, 201-208, 2014.

MATOS, W. H. **Cinema e Filosofia na escola: emergindo heterotopias**. 2020. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

MILAN, M.; MOLLER, G.; WOBETO, D. **Métodos e Técnicas de Pesquisa para Economia Criativa e da Cultura**. Porto Alegre: Itaú Cultura, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/257082/001166352.pdf?sequence=1>

MOL, G. S. Pesquisa Qualitativa em Ensino de Química. **Pesquisa Qualitativa**, São Paulo, v. 5, n. 9, p. 495-513, 2017. Disponível em: <https://editora.sepq.org.br/rpq/article/view/140>. Acesso em: 20 set. 2023.

MUTII, G. de S. L. M.; KLUBER, T. E. Tesis en formato multipapel: lo develamiento de una posibilidad en la perspectiva fenomenológica de la investigación. **Paradigma**, Colombia, 2022. Disponível em: <<http://revistaparadigma.online/ojs/index.php/paradigma/article/view/1217>> . Acesso em: 20 set. 2023.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL [NRC]. **Beyond the molecular frontier: challenges for chemistry and chemical engineering**. Washington: National Academy Press, 2003.

NUNES, G. C.; NASCIMENTO, M. C. D.; LUZ, M. A. C. A. Pesquisa científica: conceitos básicos. **Id on Line Revista Multidisciplinar de Psicologia**, n29, 144-151, 2016.

OLIVEIRA, N. de; SOARES, M.; HERBERT, F. B. As Atividades de Experimentação Investigativa em Ciência na Sala de Aula de Escolas de Ensino Médio e Suas Interações Com o Lúdico. **XV Encontro Nacional de Ensino de Química**, Brasília, 2010.

OLIVEIRA, F. V.; CANDITO, V.; BRAIBANTE, M. E. F. O uso dos sentidos, olfato e paladar, na percepção dos aromas: uma oficina temática para o Ensino de Química. **Química Nova Escola**, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/prelo/EQF-49-20.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE [OMS]. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic. **WHO**, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. Acesso em: 24 set. 2023

PEREIRA, L. de L. S. CURADO, T. C. BENITE, A. M. C. A Elaboração Conceitual de Química em uma Perspectiva Bilíngue: Um Estudo a Partir da Educação de Surdos. **Pesquisa em Educação em Ciências**, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u143168> Acesso em: 30 set. 2023.

RAMOS, D. C. **Modelagem matemática**: uma análise semiótica das experiências dos alunos. 2020. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020.

REGUEIRO, E. M. *et al.* Ensino mediado por tecnologias no curso de Fisioterapia do Centro Universitário Barão de Mauá durante o período de pandemia da COVID-19. **Interdisciplinar de Saúde e Educação**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 107-119, 2020. Disponível em: <https://dialogus.baraodemaua.br/index.php/cse/article/view/36>. Acesso em: 29 set. 2023

REZENDE, B. de P.; SILVA, A. C. A. 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**, Juiz de Fora, v.17, n. 39, 2021. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8240627>. Acesso em: 30 set. 2023.

RICHARDSON, R. J. *et al.* **Pesquisa Social**: Métodos e Técnicas. São Paulo: Atlas, 1999.
ROSSI, A. V.; MASSAROTTO, A. M.; GARCIA, F. B. T.; ANSELMO, G. R. T.; MARCO, I. L. G.; CURRALERO, 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://edisiplinas.usp.br/pluginfile.php/3072454/mod_resource/content/1/artigo%20densidade.pdf>

SANTANA, K. C. L. **Relação professor-materiais curriculares em Educação Matemática**: uma análise a partir de elementos dos recursos do currículo e dos recursos dos professores. 2017. Tese (Doutorado em Educação Matemática) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2017.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira. A química na formação para a cidadania. **Educación Química**, v. 4, p. 300-305, 2011.

SANTOS, C.; FREITAS, P. S.; LOPES, M. M. Ensino remoto e a utilização de laboratórios virtuais na área de Ciências naturais. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 12, n. 1, p. 20, 2020.

SANTOS, L. R.; MENEZES, J. A. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. **Rev. Eletrônica Pesquiseduca**, v. 12, n. 26, p. 180-207, 2020.

SANTOS, O.; SILVA, R. P.; ANDRADE, D.; LIMA, J. P. M. Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). **Scientia Plena**, Santos, v. 9, n. 2, p. 1-6, 2013. Disponível em: <https://scientiaplena.org.br/sp/article/view/1517>. Acesso em: 30 set. 2023.

SCHIEHL, E. P.; ISABELA GASPARINI. **Modelos de Ensino Híbrido**: Um Mapeamento Sistemático da Literatura. Anais do XXVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, São Paulo, 2017.

SCHNETZLER, P. R.; ANTUNES-SOUZA, T. Proposições didáticas para o formador químico: a importância do triplete químico, da linguagem e da experimentação investigativa na formação docente em química. **Química nova**, v. 42, n. 8, p. 947-954, 2019.

SEKI, J. T. P. **Modelagem matemática, compreensão e linguagem**: interlocuções fundamentadas na filosofia de Wittgenstein. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

SEVIAN, H.; TALANQUER, V. Rethinking chemistry: a learning progression on chemical thinking. **Chemistry Education Research and Practice**, Boston, n. 15, p. 10-23, 2014. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2014/rp/c3rp00111c>. Acesso em: 30 set. 2023.

SHEPARDSON, D. P.; PIZZINI, E. L. Questioning levels of junior high school science textbooks and their implications for learning textual information. **Science Education**, 75(6), 673–682, 1991.

SILVA, C de S.; MESSEDER NETO, H da S. O ensino de química como unidade dialética entre os níveis macroscópicos e submicroscópicos: para além do triângulo de Johnstone. **Exitus**, Santarém, v. 11, 2021. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2007/rp/b6rp90028c>. Acesso em: 29 set. 2023.

SILVA, I. F.; SILVA, A. J. P. A experimentação na Educação em Química: Estudo Exploratório Sobre as Percepções de Licenciandos. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n.3, p.937-957, 2019.

SILVA, F. N.; SILVA, R. A.; RENATO, G. A.; SUART, R. de C. Concepções de professores dos cursos de química sobre as atividades experimentais e o ensino remoto emergencial. **Revista Docência do Ensino Superior**, v. 10, p. 1-21, 2020.

SILVA, J. E.; SILVA, C. N.; OLIVEIRA, O. A.; CORDEIRO, D. O. Pistas orgânicas: um jogo para o processo de ensino e aprendizagem da química. **Química Nova na Escola**, v.40, n.1, p.25-32, 2018.

SILVA, J. N.; AMORIM, J. da S.; MONTEIRO, L. da P.; FREITAS, H. G. Experimentos de baixo custo aplicados ao ensino de química: contribuição ao processo ensino-aprendizagem. **Scientia Plena**, v. 13, n. 1, p.1-11, 2017.

SILVA, L. H. de A.; ZANON, L.B. A experimentação no ensino de Ciências. In: SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. **Ensino de Ciências**: Fundamentos e Abordagens. Piracicaba: CAPES/UNIMEP, 2000.

SJÖSTRÖM, J.; TALANQUER, V. Eco-reflexive chemical thinking and action. **Current Opinion In Green and Sustainable Chemistry**, [s. l.], v. 13, p. 16-20, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223618300099>. Acesso em: 28 set. 2023.

SOUSA, L. G.; VALÉRIO, R. B. R. Química experimental no ensino remoto em tempos de Covid-19. **Ensino Em Perspectivas**, v. 2, n. 4, p.1–10, 2021.

SOUZA, F. L.; AKAHOSHI, L. H.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. do. Atividades experimentais investigativas no ensino de química. **GEPEQ. Grupo de Pesquisa em Educação Química**. São Paulo: Secretaria da Educação, 2013.

STAMMES, H. *et al.* (2021). Teachers noticing chemical thinking while students plan and draw designs. In: HENZE, I.; DE VRIES, M. J. **Design-based concept learning in science and technology education**. Boston: Brill, 2021.

SUART, R. de C.; MARCONDES, M. E. R. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, n. 2, 2008.

SUART, R. de C.; MARCONDES, M. E. R. As habilidades cognitivas manifestadas por alunos do ensino médio de química em uma atividade experimental investigativa. **Educação em Ciências**, n. 2, p. 1-22, 2009. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1570>. Acesso em: 29 set. 2023.

SUART, R. de C. A experimentação no ensino de química: conhecimentos e caminhos. In: SANTANA, E. M.; DA SILVA, E. L. (Org.). **Tópicos em Ensino de Química**. 1. ed. São Carlos: Pedro & João Editores, 2014.

TALANQUER, V. Macro, submicro, and symbolic: the many faces of the chemistry —triple t. **International Journal of Science Education**, Boston, v. 33, n. 2, p. 179-195, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690903386435>. Acesso em: 29 set. 2023

TALANQUER, V. School chemistry: the need for transgression. **Science & Education**, São Paulo, v. 22, p. 1757–1773, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.56117/resbenq.2021.v2.e022104>. Acesso em: 30 set. 2023.

TALANQUER, V. Assessing for Chemical Thinking. In: Schultz M., Schmid S., Lawrie G. (eds) **Research and Practice in Chemistry Education: Advances from the 25th IUPAC International Conference on Chemistry Education** (p. 123-133). Singapore: Springer, 2019.

TALANQUER, V. Assessing for Chemical Thinking. In: SCHULTZ, M., SCHMID, S., LAWRIE, G. (eds) **Research and Practice in Chemistry Education**. Springer, Singapura, 2019.

TALANQUER, V. Chemical Thinking. In: **Chemical Educational Xchange**. 21 abr. 2020. Disponível em: <https://www.chemedx.org/article/chemical-thinking> Acesso em: 20 jun. 2024.

TALANQUER, V.; POLLARD, J. Let's teach how we think instead of what we know. **Chemistry Education Research and Practice**, Boston, v. 11, p. 74–83, 2010. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2010/rp/c005349j>. Acesso em: 30 set. 2023.

TEIXEIRA, P. M. M.; NETO, J. M. O estado da arte da pesquisa em ensino de Biologia no Brasil: um panorama baseado na análise de dissertações e teses. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p.273-297, 2012.

THOMAS, R. A.; WEST, R. E.; RICH, P. Benefits, challenges, and perceptions of the multiple article dissertation format in instructional technology. **Australasian Journal of**

Educational Technology, Tugun, v. 32, n. 2, p. 82-98, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.14742/ajet.2573>. Acesso em: 20 set. 2023.

TREAGUST, D. F.; CHITTLEBOROUGH, G.; MAMIALA, T. L. The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. **International Journal of Science Education**, Abingdon, v. 25, n. 11, p. 1353- 1368, 2003. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0950069032000070306>. Acesso em: 29 set. 2023.

VICENTIN, Fábio Roberto. **Ações docentes e discentes em aulas de matemática que exploram objetos de aprendizagem na lousa digital**. 2022. Tese. Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

VOLKOVA, E. V. Evaluation and chemical thinking development. In: **10TH ICEEPSY 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON EDUCATION AND EDUCATION PSYCHOLOGY**, 9 a 12 de outubro de 2019. Barcelona, 2019.

WARTHA, E. D.; REZENDE, D. de B. Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de peirce. **Investigações em Ensino de Ciências**, São Paulo, v.16, p. 275-290, 2011. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/dezembro2011/quimica_artigos/niveis_repr_ens_quim_semiot_art.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023

WEINRICH, M. L.; TALANQUER, V. 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>>

WENZEL, J. S. A leitura de textos de divulgação científica na constituição de professores de química. **Interfaces da educação**, Parnaíba, v. 9. n. 27, p. 232-252, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.26514/inter.v9i27.2477>>. Acesso em: 30 set. 2023.

WILDSON, L. P. dos S. A Química e a formação para a cidadania. **Educacion Química**, México, v.22, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X18301496>. Acesso em: 30 set. 2023.

YAN, F.; TALANQUER, V. Students' Ideas about How and Why Chemical Reactions Happen: Mapping the Conceptual Landscape. **International Journal of Science Education**, USA, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2015.1121414>. Acesso em: 30 set. 2023.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. [Tradução: Daniel Bueno]. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: Como educar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZAPPELLINI, M. B.; FEUERSCHUTTE, S. G. O uso da triangulação na pesquisa científica brasileira em administração. **Administração: ensino e pesquisa**. v. 16 n.2 p. 241–273, 2015.

ZANON, D. A. V.; FREITAS, D. A aula de Ciências nas séries iniciais do ensino fundamental: ações que favorecem a sua aprendizagem. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro: UFRJ, v. 10, p. 93-103, mar. 2007. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/maomassa/doc/m317150.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.

ZIMMER, G. C.; LIMA, Q. C. E.; MARZARI, M. R. B.; FOLMER, V. Experimentação de Química no ensino médio. **Góndola, Enseñanza y aprendizaje de la Ciencias**, v. 16, n.3, p.594-605, 2020.

ZOLLER, U. Are lecture and learning: are they compatible? Maybe for LOCS; unlikely for HOCS. **Journal of chemical Education**, Boston, v. 70, p.195-197, 1993. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed070p195>. Acesso em: 29 set. 2023.

ZOLLER, U.; DORI, Y.; LUBEZKY, A. Algorithmic and LOCS and. HOCS (Chemistry) Exam Questions: Performance and Attitudes of College Students. **International Journal Science Education**, Boston, 2002. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500690110049060>. Acesso em: 29 set. 2023.

ZOLLER, U.; PUSHKIN, D. Matching Higher-Order Cognitive Skills promotion goals with problem-based laboratory practice in a freshman organic chemistry course. **Chemistry Education Research and Practice**, [s. l], 2007. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2007/rp/b6rp90028c>. Acesso em: 29 set. 2023.

ZOMPERO, A. F.; LABURÚ, C. E. Atividades investigativas no ensino de Ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. **Revista Ensaio**, v.13, n.03, p.67-80, 2011.

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 <https://www.researchgate.net/publication/327254853_Habilidades_cognitivas_apresentadas_por_alunos_participantes_de_un_proyecto_de_iniciacao_cientifica_no_ensino_medio>

ZUCCO, C. Química para um mundo melhor. **Química nova**, São Paulo, v. 34. n. 5, p. 733, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/5RhfpdSdN4TM6FRtsRZ7vRn/citation/?lang=pt>. Acesso em: 30 set. 2023.