



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

TATIANE FRANCO DE MORAES SILVA

**UM ESTUDO DAS COMPREENSÕES DE ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO NA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES-  
PROBLEMA DE ESTEQUIOMETRIA**

TATIANE FRANCO DE MORAES SILVA

**UM ESTUDO DAS COMPREENSÕES DE ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO NA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES-  
PROBLEMA DE ESTEQUIOMETRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI – da Universidade Estadual de Londrina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientador: Profa. Dra. Viviane Arrigo.

Londrina  
2025

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

S584u Silva, Tatiane Franco de Moraes.  
Um estudo das compreensões de alunos do ensino médio na resolução de situações-problema de estequiometria / Tatiane Franco de Moraes Silva. - Londrina, 2025. 80 f. : il.

Orientador: Viviane Arrigo.  
Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Mestrado Profissional de Química em Rede Nacional, 2025.  
Inclui bibliografia.

1. Estequiometria; aprendizagem; situação-problema; níveis do conhecimento químico. - Tese. I. Arrigo, Viviane . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Mestrado Profissional de Química em Rede Nacional. III. Título.

CDU 54

TATIANE FRANCO DE MORAES SILVA

**UM ESTUDO DAS COMPREENSÕES DE ALUNOS DO  
ENSINO MÉDIO NA RESOLUÇÃO DE SITUAÇÕES-  
PROBLEMA DE ESTEQUIOMETRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI – da Universidade Estadual de Londrina como requisito para a obtenção do título de Mestre em Química.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Profa. Dra. Viviane Arrigo  
Universidade Federal da Fronteira Sul –  
UFFS

---

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

---

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

Londrina, 10 de julho de 2025.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por sua presença constante, força e sabedoria, que me guiaram ao longo desta jornada. Sou grata por suas bênçãos, que me permitiram seguir com coragem e fé.

Aos meus pais, Cleonice e Roberto (em memória), que sempre foram minha maior inspiração. Seu amor incondicional, sacrifícios e ensinamentos foram fundamentais para a pessoa que me tornei.

À minha Orientadora, Professora Viviane Arrigo, que acompanhou com dedicação e paciência cada etapa dessa jornada acadêmica. Suas orientações precisas, sua confiança e seu apoio incondicional foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço por toda a orientação técnica e, mais ainda, por sua parceria e amizade, que foram fundamentais ao longo dessa trajetória.

Às Professoras Fabiele e Natany, que compuseram a banca de qualificação, meu sincero agradecimento pelas valiosas contribuições e sugestões que enriqueceram minha pesquisa, além da atenção e seriedade com que analisaram meu trabalho. Suas observações me proporcionaram um aprendizado significativo e aprimoraram os aspectos fundamentais deste estudo.

Aos professores do PROFQUI, minha profunda gratidão, cujo conhecimento, generosidade e dedicação foram essenciais para o meu crescimento acadêmico durante o mestrado.

À minha família, que me proporcionou forças e alegrias incontáveis ao longo dessa jornada. Sua compreensão e apoio foram essenciais para que eu pudesse dar continuidade ao meu trabalho com dedicação e equilíbrio.

À instituição de ensino em que atuo, pela oportunidade de realizar a pesquisa de mestrado e pela flexibilidade oferecida para conciliar o trabalho com os estudos.

Aos meus alunos, os quais, mesmo sem perceberem, contribuíram de maneira significativa para meu aprendizado. Suas perguntas e inquietações ajudaram-me a aprimorar minha compreensão dos conceitos e a tornar este processo ainda mais significativo.

*"A química é a base de tudo o que nos cerca, e ensinar química é permitir que o estudante perceba o mundo através de suas reações e transformações."*

(Linus Pauling)

## RESUMO

SILVA, Tatiane Franco de Moraes. **Um estudo das compreensões de alunos do ensino médio na resolução de situações-problema de estequiometria**. 2025. 79f. Dissertação (PROFQUI – Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

O ensino de estequiometria em aulas de Química é um desafio para professores e alunos, pois envolve conceitos que são de difícil compreensão, uma vez que requer a articulação das linguagens matemática, química e física, além da capacidade de transitar entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico do conhecimento químico. Isso nem sempre é contemplado de maneira integrada nos processos de ensino e o de aprendizagem. Nesta pesquisa, objetivamos identificar e analisar as compreensões de alunos da 3ª série do Ensino Médio sobre os conceitos de estequiometria na resolução de situações-problema. Para a coleta de dados, os alunos responderam a duas situações-problema – SP1 e SP2 –, relacionadas aos temas Medicamentos e Meio Ambiente, respectivamente. A SP1, composta pelas questões 1, 2, 3a e 3b, envolvia as relações quantitativas em cálculos e reações químicas, massa, mol, massa molar, massa molecular, fórmula molecular, fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão. A SP2, composta pelas questões 1, 2, 3, 4 e 5, abordava as relações quantitativas em cálculos químicos e reações químicas, massa atômica, massa molecular, mol, massa molar, reatividade de metais, propriedades dos metais, cátions e ânions, metais pesados, análises laboratoriais, concentração, reagente limitante e em excesso. Ambas foram respondidas por 56 alunos e as respostas obtidas foram analisadas com base nos pressupostos da Análise de Conteúdo de Bardin. Os resultados evidenciaram que os alunos demonstram maior compreensão de conceitos isolados, mas apresentam dificuldades em estabelecer relações entre esses conceitos, especialmente quando são requeridos o raciocínio proporcional e o estabelecimento de relações estequiométricas em equações químicas. Observamos que, enquanto uma questão teórica sobre relações quantitativas foi respondida corretamente por 41,1% dos participantes, uma questão que abordava o mesmo conceito, mas exigia a realização de cálculos matemáticos, obteve apenas 5,3% de acertos. Além disso, constatamos que as dificuldades dos alunos são mais evidentes quando é necessário explorar a linguagem matemática e o nível simbólico do conhecimento químico. Diante desses resultados, verificamos a necessidade de abordar os conceitos de estequiometria por meio da articulação entre a linguagem matemática e o nível simbólico. Para tanto, recomendamos a exploração do método de resolução de problemas, assim como de outras abordagens de ensino que favoreçam a participação ativa dos alunos, tais como a experimentação investigativa, as sequências didáticas investigativas, os três momentos pedagógicos, entre outras estratégias a fim de promover a construção do conhecimento de modo mais contextualizado e reflexivo.

**Palavras-Chave:** estequiometria; aprendizagem; situação-problema; níveis do conhecimento químico.

## ABSTRACT

SILVA, Tatiane Franco de Moraes. **A study of high school students' understanding of solving stoichiometry problem situations**. 2025. 79 p. Dissertation (PROFQUI – National Network of Professional Master's Programs in Chemistry) – State University of Londrina, Londrina, 2025.

Teaching stoichiometry in Chemistry classes is a challenge for teachers and students, as it involves concepts that are difficult to understand, since it requires the articulation of mathematical, chemical and physical languages, in addition to the ability to move between the macroscopic, submicroscopic and symbolic levels of chemical knowledge. This is not always considered in an integrated manner in the teaching and learning process. In this research, we aim to identify and analyze the understanding of 3rd year high school students about the concepts of stoichiometry in solving problem situations. For data collection, students responded to two problem situations – SP1 and SP2 – related to the topics of Medicines and Environment, respectively. SP1, composed of questions 1, 2, 3a and 3b, involved quantitative relationships in chemical calculations and reactions, mass, mole, molar mass, molecular mass, molecular formula, structural formula and structural formula in stick form. SP2, composed of questions 1, 2, 3, 4 and 5, addressed quantitative relationships in chemical calculations and chemical reactions, atomic mass, molecular mass, mole, molar mass, metal reactivity, metal properties, cations and anions, heavy metals, laboratory analyses, concentration, limiting reagent and excess reagent. Both were answered by 56 students and the answers obtained were analyzed based on the assumptions of Bardin's Content Analysis. The results showed that students demonstrate a greater understanding of isolated concepts, but have difficulty establishing relationships between these concepts, especially when proportional reasoning and the establishment of stoichiometric relationships in chemical reactions are required. We observed that, while a theoretical question about quantitative relationships was answered correctly by 41.1% of participants, a question that addressed the same concept but required mathematical calculations obtained only 5.3% of correct answers. In addition, we found that students' difficulties are more evident when it is necessary to explore mathematical language and the symbolic level of chemical knowledge. Given these results, we see the need to address the concepts of stoichiometry through the articulation between mathematical language and the symbolic level. To this end, we recommend exploring the problem-solving method, as well as other teaching approaches that favor the active participation of students, such as investigative experimentation, investigative didactic sequences, the three pedagogical moments, among other strategies in order to promote the construction of knowledge in a more contextualized and reflective way.

**Key-words:** stoichiometry; learning; problem situation; levels of chemical knowledge.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Linguagens envolvidas na estequiometria conforme Pio (2006) e Johnstone (2010) ..... | 25 |
| <b>Figura 2</b> – Linguagens exploradas pelos alunos na resolução da SP1 .....                         | 44 |
| <b>Figura 3</b> – Linguagens exploradas pelos alunos na resolução da SP2 .....                         | 54 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Quadro 1</b> – Pesquisas sobre o ensino de estequiometria.....                                                            | 20 |
| <b>Quadro 2</b> – Categorização das respostas dos alunos para as questões da situação-problema 1.....                        | 36 |
| <b>Quadro 3</b> – Categorização das respostas dos alunos para as questões da situação- problema 2.....                       | 45 |
| <b>Quadro 4</b> – Porcentagem de alunos que apresentaram compreensão dos conceitos investigados na situação-problema 1 ..... | 55 |
| <b>Quadro 5</b> – Porcentagem de alunos que apresentaram compreensão dos conceitos investigados na situação-problema 2.....  | 60 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                                               |
|---------|---------------------------------------------------------------|
| ABP     | Aprendizagem Baseada em Problemas                             |
| AC      | Análise de Conteúdo                                           |
| BNCC    | Base Nacional Comum Curricular                                |
| CEP     | Comitê de Ética em Pesquisa                                   |
| OCN     | Orientações Curriculares Nacionais                            |
| PBL     | <i>Problem Based Learning</i>                                 |
| PCN     | Parâmetros Curriculares Nacionais                             |
| PE      | Produto Educacional                                           |
| PROFQUI | Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional |
| RP      | Resolução de Problemas                                        |
| SP      | Situação-problema                                             |
| UEL     | Universidade Estadual de Londrina                             |

## SUMÁRIO

|            |                                                                 |           |
|------------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
|            | <b>APRESENTAÇÃO .....</b>                                       | <b>11</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                         | <b>13</b> |
| <b>2</b>   | <b>O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA.....</b>                          | <b>18</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Ensino e aprendizagem da química.....</b>                    | <b>18</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Estequiometria em aulas de química .....</b>                 | <b>19</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Resolução de problemas no ensino de estequiometria .....</b> | <b>26</b> |
| <b>3</b>   | <b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>                        | <b>31</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Pesquisa qualitativa.....</b>                                | <b>31</b> |
| <b>3.2</b> | <b>O contexto da investigação.....</b>                          | <b>32</b> |
| <b>3.3</b> | <b>A coleta de dados.....</b>                                   | <b>33</b> |
| <b>3.4</b> | <b>A análise de dados.....</b>                                  | <b>34</b> |
| <b>4</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                             | <b>36</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Situação-problema 1 – Medicamentos .....</b>                 | <b>36</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Situação-problema 2 – Meio Ambiente.....</b>                 | <b>45</b> |
| <b>4.3</b> | <b>Análise percentual das compreensões dos alunos .....</b>     | <b>55</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                               | <b>68</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                        | <b>71</b> |
|            | <b>APÊNDICES.....</b>                                           | <b>76</b> |
|            | <b>APÊNDICE A – Situação-problema 1 – Medicamentos.....</b>     | <b>77</b> |
|            | <b>APÊNDICE B – Situação-problema 2 – Meio Ambiente .....</b>   | <b>79</b> |

## APRESENTAÇÃO

Sou professora de Química há 15 anos, período durante o qual tive a oportunidade de lecionar tanto na rede privada quanto, atualmente, na rede pública de ensino. Ensinar Química sempre foi um grande desafio para mim, pois, sendo uma ciência que envolve diversas linguagens e níveis de conhecimento, exige uma abordagem cuidadosa e adaptada às necessidades dos alunos. Ao longo da minha trajetória docente, percebi que muitos alunos apresentam uma grande resistência ao aprendizado dessa disciplina, frequentemente a considerando extremamente difícil. Diante dessa realidade, sempre foi um sonho realizar um mestrado, buscando por meio da pesquisa, alternativas para lidar com essas dificuldades e aprimorar minha prática docente.

Ao longo dos anos, um dos conteúdos em que os alunos demonstram maior dificuldade é, sem dúvida, a estequiometria. Este conteúdo, crucial para o entendimento de reações químicas e das relações quantitativas que as envolvem, sempre despertou meu interesse para a investigação de métodos eficazes de ensino. Por isso, desde o início da minha jornada no mestrado, tinha em mente desenvolver uma pesquisa focada nesse tema, com o objetivo de entender mais profundamente as dificuldades dos alunos e buscar estratégias de ensino que facilitassem sua aprendizagem.

Entretanto, realizar essa pesquisa foi um desafio adicional. Foi necessário contar com a colaboração e a participação ativa dos alunos, além de investigar se minha percepção sobre as dificuldades na estequiometria realmente correspondia à experiência deles em sala de aula. Durante o curso do mestrado, enfrentei diversas situações que me fizeram questionar minha capacidade de seguir em frente e até pensei em desistir. No entanto, com persistência e apoio de colegas, professores e, principalmente, de meus alunos, fui capaz de continuar. Hoje, com grande satisfação e sensação de realização, apresento a minha dissertação, resultado de um processo de aprendizado e superação que, sem dúvida, refletirá diretamente na minha prática docente.

Este trabalho é um reflexo do compromisso e da paixão que tenho pelo ensino de Química, e espero que os resultados aqui apresentados contribuam para o desenvolvimento de estratégias que facilitem o aprendizado dos alunos e promovam

um ensino mais eficaz e prazeroso dessa importante área do conhecimento.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Cardoso e Colinviaux (2000), a aprendizagem da Química possibilita ao indivíduo desenvolver uma visão crítica sobre o mundo que o cerca. Essa capacidade contribui para que o sujeito compreenda, analise e aplique os conhecimentos adquiridos em contextos cotidianos, permitindo-lhe intervir em situações que afetam a qualidade de vida, desde a administração adequada de medicamentos até a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da contaminação de rios, por exemplo, por metais pesados provenientes de atividades humanas.

A Química, como área do conhecimento, é construída a partir de modelos explicativos, conceitos abstratos e uma linguagem própria, que são estudados por meio da relação entre os níveis: o macroscópico, que se refere aos fenômenos visíveis e tangíveis no mundo à nossa volta, obtido a partir de observações que podem ser coletadas da vida cotidiana; o submicroscópico, o qual explica a estrutura e os processos dos fenômenos macroscópicos observados no nível da partícula (atômica/molecular), e abrange o nível das moléculas e átomos, geralmente invisíveis, mas essenciais para entender os comportamentos das substâncias; e o nível simbólico, que utiliza representações, fórmulas e equações matemáticas para descrever e quantificar os processos e interações químicas (Johnstone, 2010). Diante disso, a integração desses três níveis é fundamental para a construção do conhecimento químico e para o desenvolvimento de uma compreensão significativa dos fenômenos envolvidos.

Na Educação Básica, o ensino de Química está centrado na compreensão da matéria, de suas características, propriedades e transformações, com base em sua constituição em nível atômico, molecular e iônico (Pozo; Crespo, 2009). Nesse contexto, em razão do elevado grau de abstração e da complexidade envolvida na articulação entre os três níveis do conhecimento químico (macroscópico, submicroscópico e simbólico), muitos alunos enfrentam dificuldades no processo de aprendizagem da disciplina, ao passo que os professores também encontram desafios em seu processo de ensino.

Algumas dessas dificuldades são apontadas por Pozo e Crespo (2009), a saber: concepção contínua e estática da matéria, que é representada como um todo indiferenciado; falta de distinção entre mudança física e mudança química; atribuição de propriedades macroscópicas a átomos e moléculas; identificação de conceitos

como, substância pura e elemento; dificuldade para estabelecer as relações quantitativas entre massa, quantidades de substância, número de átomos, entre outras; explicações baseadas nos aspectos físicos das substâncias envolvidas quando se trata de estabelecer as conservações após uma mudança da matéria; dificuldades para interpretar o significado de uma equação química ajustada.

Entre as dificuldades citadas, destacamos os desafios relacionados ao estabelecimento de relações quantitativas entre massa, quantidades de substância, número de átomos, entre outros, uma vez que nosso objeto de estudo, na presente investigação, são as compreensões de alunos do Ensino Médio no que condiz ao conteúdo de estequiometria.

Conforme pesquisa realizada por Dahsah e Coll (2008) a respeito das compreensões de alunos tailandeses sobre conceitos relacionados à estequiometria, constatou-se que os conceitos de massa atômica, massa molecular, mol, concentração, equação química e relações quantitativas em reações químicas são de difícil compreensão por parte dos alunos da Educação Básica. Isso ocorre, principalmente, quando os conceitos são estudados em situações que exigem o estabelecimento de relações quantitativas.

Nesse contexto, as dificuldades apresentadas pelos alunos podem ser analisadas a partir da forma como os conteúdos são abordados em sala de aula. Possivelmente, esses conteúdos são apresentados de maneira descontextualizada da realidade, com mais ênfase no aspecto matemático e pouca atenção à interpretação química. Essa abordagem tende a mecanizar a resolução de problemas, restringindo-se à aplicação de exercícios de fixação, os quais, segundo Machado *et al.* (2013), pouco contribuem para a construção significativa do conhecimento ao estudante.

Para Costa e Zorzi (2009), muitos alunos encontram dificuldades em interpretar e resolver problemas que envolvam cálculos estequiométricos, além de não relacionarem tal assunto com o seu dia a dia. De acordo com Kuo e Chang (2009), uma abordagem eficaz para o ensino de estequiometria necessita incluir estratégias que conectem os conceitos teóricos à prática, utilizando exemplos do cotidiano que sejam relevantes para os alunos.

Nesse contexto, esta pesquisa foi desenvolvida a partir da proposição de situações-problema contextualizadas, com o objetivo de relacionar o estudo da estequiometria a situações do cotidiano. A proposta buscou aproximar os conteúdos científicos das vivências dos alunos, visando à formação de cidadãos críticos e

capazes de atuar de maneira consciente em seu contexto social. Diante disso, entendemos que atividades baseadas em situações-problema permitem que os alunos estabeleçam conexões entre teoria e prática, tornando o aprendizado mais relevante e significativo (Pinheiro; Matos; Bazzo, 2007).

Para Assai e Bedin (2024), no ensino de Ciências, a Resolução de Problemas (RP) apresenta uma variedade de abordagens, métodos, tendências e paradigmas epistemológicos. Diante disso, os autores compreendem que a Resolução de Problemas (RP) pode constituir uma aproximação à Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP), do inglês *Problem Based Learning* (PBL) e, por isso, consideram:

[...] os problemas como ponto de partida para a aprendizagem e contextualizados com os conteúdos disciplinares; ocorrendo de uma maneira mais eventual, em determinados momentos e situações de sala de aula, e não como uma abordagem curricular em espiral, como preconiza o PBL (Assai; Bedin, 2024, p. 119).

Segundo Souza e Batinga (2023), a RP, como uma metodologia ativa, possibilita precedentes para envolver alunos e professores nas atividades de ensino, por meio da apresentação de problemas contextualizados, interativos e significativos, diferentemente da prática de exercícios em que se enfatiza ações mecânicas para memorização de conteúdo, fórmulas, regras matemáticas e outros.

Diante desse contexto, compreendemos que a resolução de situações-problema de forma contextualizada promove o pensamento crítico<sup>1</sup> e a capacidade de aplicar conhecimentos de forma prática, habilidades essenciais tanto na escola quanto na vida. Além disso, estimula a colaboração e a troca de ideias entre os alunos, aumentando o engajamento e a motivação para se aprender os conteúdos de Química.

Nesta investigação, destacamos a utilização da resolução de problemas como método para avaliar a aprendizagem dos alunos, a partir da análise das compreensões dos alunos sobre os conceitos de estequiometria. A resolução das situações-problema contextualizadas ocorreu após o conteúdo ter sido mediado aos alunos e, não como ponto de partida para a aprendizagem, como defendem Assai e Bedin (2024). Logo, buscamos responder a seguinte questão de investigação: *Quais*

---

<sup>1</sup> Pensamento Crítico é uma forma de pensamento “reflexivo” e “autônomo”, que consiste em uma consideração ativa, persistente e cuidadosa de uma crença ou forma de conhecimento, tendo em vista os elementos basilares que a sustentam e as conclusões implicadas por ela (Canal; Moraes, 2014).

*são as compreensões demonstradas por alunos da 3ª série do Ensino Médio acerca da estequiometria e dos conceitos a ela relacionados?* Com o intuito de responder a essa questão, estabelecemos como objetivo central “identificar e analisar as compreensões de alunos da 3ª série do Ensino Médio sobre conceitos de estequiometria na resolução de situações-problema”.

Diante do exposto, uma vez que essa é uma pesquisa ambientada em um Mestrado de natureza profissional, o Produto Educacional (PE), oriundo desta investigação, enquadra-se na categoria de Material didático/instrucional, conforme a definição apresentada por Rizzatti *et al.* (2020):

i. Material didático/instrucional: são propostas de ensino, envolvendo sugestões de experimentos e outras atividades práticas, sequências didáticas, propostas de intervenção, roteiros de oficinas; material textual, como manuais, guias, textos de apoio, artigos em revistas técnicas ou de divulgação, livros didáticos e paradidáticos, histórias em quadrinhos e similares, dicionários; mídias educacionais, como vídeos, simulações, animações, videoaulas, experimentos virtuais e áudios; objetos de aprendizagem; ambientes de aprendizagem; páginas de internet e blogs; jogos educacionais de mesa ou virtuais, e afins; entre outros (p. 5).

O referido PE trata-se de um material textual/guia baseado no método de resolução de problemas (Ribeiro, 2008; Souza; Batinga, 2023) para trabalhar com a resolução de situações-problema contextualizadas em aulas de Estequiometria. O guia apresenta três situações-problema que abordam os temas Medicamentos, Meio Ambiente e Airbag, os quais podem ser empregados tanto para desenvolver/abordar o conteúdo quanto para avaliar a aprendizagem dos alunos após sua abordagem, como foi o caso desta investigação.

Diante dos resultados alcançados com a aplicação das Situações-Problema 1 (Medicamentos) e 2 (Meio Ambiente), constatou-se que os alunos apresentaram dificuldades não apenas na compreensão de conceitos básicos, mas, sobretudo, na articulação de diferentes grandezas químicas em cálculos estequiométricos, além de limitações ao transitar entre os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico do conhecimento químico (Johnstone, 2010). Essas evidências indicaram a necessidade de ampliar o número de aulas destinadas ao trabalho com cada situação-problema, de forma a proporcionar mais tempo para que os alunos levantassem hipóteses, coletassem dados, sistematizassem ideias e comunicassem resultados de maneira consistente. Nesse sentido, o Produto Educacional foi estruturado em 03 sequências didáticas, compostas de 5 a 6 aulas, contemplando, além das situações-problema a

serem investigadas, textos de apoio, vídeos e outros recursos pedagógicos, a fim de potencializar a aprendizagem e o engajamento dos alunos.

Adicionalmente, foi incluída ao guia passou uma terceira Situação-Problema (SP3), sobre o tema Airbag, que não foi respondida no período da pesquisa, mas foi desenvolvida a partir da necessidade de consolidar os conceitos previamente trabalhados e de responder às dificuldades evidenciadas pelos alunos nas duas primeiras situações, ampliando, assim, as possibilidades de investigação e aplicação da estequiometria em um contexto relacionado à segurança e preservação da vida.

A proposta deste estudo é oferecer aos professores de Química uma alternativa metodológica para o ensino de estequiometria, com foco na participação ativa e investigativa dos alunos, de modo a favorecer a aprendizagem de um conteúdo reconhecidamente complexo.

Com fins de apresentar de maneira clara e estruturada o desenvolvimento deste trabalho, sua organização está disposta da seguinte forma: no Capítulo 2, é apresentada uma breve fundamentação teórica sobre o ensino e a aprendizagem da Química, o estudo da estequiometria em aulas de Química e algumas discussões sobre a resolução de problemas com foco no ensino e na aprendizagem de estequiometria; no Capítulo 3, destacamos a metodologia desta pesquisa, na qual a investigação é situada no âmbito das abordagens qualitativas e, também, são descritos o contexto do estudo e os pressupostos metodológicos que fundamentaram a análise e interpretação dos dados; no Capítulo 4, apresentamos a discussão dos resultados para cada situação-problema analisada, estabelecendo comparações entre elas. Por fim, tecemos algumas considerações a respeito dos resultados obtidos durante a pesquisa realizada.

## 2 O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA

### 2.1 ENSINO E APRENDIZAGEM DA QUÍMICA

Segundo Pozo e Crespo (2009), a Química, como disciplina integrante das Ciências da Natureza, tem como objetivo central o estudo da matéria, suas características, propriedades e transformações, com base em sua constituição - átomos, moléculas e suas interações. Esperamos que, por meio do estudo desse componente curricular, os alunos sejam capazes de compreender, interpretar e analisar os diversos processos químicos que ocorrem no mundo ao seu redor.

O ensino e a aprendizagem da Química constituem processos complexos que demandam a construção de significados com base nas experiências prévias dos alunos. Todavia, em muitas práticas pedagógicas, o ensino da Química permanece centrado na memorização de fórmulas, símbolos, equações e teorias, geralmente dissociados do contexto cotidiano e das experiências concretas dos alunos. Essa abordagem diminui o potencial de significação do conhecimento científico, o que contribui para as dificuldades de compreensão dos conteúdos, uma vez que os alunos não conseguem estabelecer relações entre os conceitos químicos e sua aplicação no dia a dia (Machado; *et al.*, 2013).

As estratégias de ensino adotadas pelos professores, geralmente, não oportunizam uma aprendizagem de forma contextualizada e interdisciplinar, gerando desmotivação entre os alunos e deixando lacunas no processo de aprendizagem. Para Santos (2013), esse desinteresse é causado por limitações que estão relacionadas com as dificuldades de abstração de conceitos, elaboração e compreensão de modelos científicos<sup>2</sup>, assim como o surgimento de concepções alternativas.

Segundo Pozo e Crespo (1998), os conhecimentos de senso comum não são simples informações que o indivíduo adquire no seu cotidiano, pois refletem valores culturais e sociais, podendo ser considerados como representações da realidade, baseados nas experiências mais concretas vivenciadas pelos indivíduos. Os autores explicam que tais conhecimentos diferem daqueles apresentados pela ciência, por

---

<sup>2</sup> Os modelos científicos são entendidos como idealizações da realidade e não a própria realidade. No máximo, apenas certos aspectos ou referentes da realidade são representados por ele. Assim, sempre haverá elementos da realidade que permanecem fora do alcance do modelo e da teoria subjacente a ele (Silva; Catelli, 2019).

isso são considerados concepções alternativas em relação ao conhecimento científico, por estarem fundamentados em aspectos subjetivos do cotidiano e não na visão de conceitos científicos. Entendemos que as concepções alternativas podem ser definidas como pré-conceitos, ideias intuitivas, ideias prévias, conceitos espontâneos, concepções prévias, pré-concepções ou concepções informais a respeito da Ciência.

Ainda, o nível de abstração dos conceitos químicos também contribui com a dificuldade de compreensão do conteúdo, pois os alunos precisam estabelecer conexões entre esses conceitos, além da necessidade de utilizar uma linguagem altamente simbólica e formal, junto a modelos de representação analógicos que ajudam a representar aquilo que não é observável (Pozo; Crespo, 2009). Segundo Johnstone (2010), os conceitos deveriam ser discutidos a partir do nível macroscópico (macro e tangível) e, gradualmente, serem enriquecidos com aspectos submicroscópicos (molecular e invisível) e representacionais (simbólico e matemático).

Segundo Kempa (1991), as dificuldades na aprendizagem de Química estão associadas à natureza das concepções prévias dos alunos; à relação entre a complexidade ou exigência das tarefas a serem aprendidas; à capacidade dos alunos em organizar e processar informações; a fatores relacionados à competência linguística; e à possível incoerência entre o estilo de aprendizagem do aluno e o estilo de ensino adotado pelo professor.

Logo, Pozo e Crespo (2009) apontam ser fundamental que os professores considerem as concepções prévias dos alunos, uma vez que essas influenciam a maneira como novos conteúdos são assimilados. Os autores enfatizam a importância de promover uma aprendizagem ativa por meio da qual os alunos possam se engajar em atividades práticas e reflexivas, facilitando a compreensão de conceitos químicos abstratos. Além disso, a utilização de metodologias que incentivem a discussão e a colaboração entre os alunos pode contribuir, significativamente, para a compreensão de conceitos e construção de novos conhecimentos.

## 2.2 ESTEQUIOMETRIA EM AULAS DE QUÍMICA

A estequiometria (do grego *stoicheion*, “elemento”, e *metron*, “medida”) é o ramo da Química que estuda as quantidades de substâncias consumidas e formadas

em reações químicas (Brown; *et al.*, 2016, p. 84). Trata-se, então, da análise das relações quantitativas entre os reagentes e os produtos representados em fórmulas e equações químicas. Um dos princípios fundamentais desse campo é a Lei da Conservação da Massa, formulada pelo químico francês Antoine Lavoisier no final do século XVIII, segundo a qual a massa total dos produtos de uma reação química é igual à massa total dos reagentes (Brown; *et al.*, 2016).

Diante disso, para examinar a quantidade de substâncias envolvidas nas equações químicas, é preciso compreender conceitos como fórmula molecular, massa atômica, massa molecular, mol, massa molar, assim como suas relações quantitativas em equações químicas. Assim, pode-se dizer que o conteúdo de estequiometria, além de abordar conceitos fundamentais para a aprendizagem da Química, discute conceitos subjacentes, como a conservação de massa e a relação entre reagentes, produtos e conceitos de outras áreas, como os cálculos matemáticos.

Então, devido à abstração dos conceitos, às relações conceituais e à presença dos cálculos quantitativos, a resolução de problemas que envolvem cálculos estequiométricos gera dificuldades para os alunos. Além disso, a escassez de aplicações práticas e o uso de métodos de ensino pouco atrativos, muitas vezes, resultam em desinteresse e confusão entre os alunos.

A partir de uma pesquisa exploratória no Portal de Periódicos da Capes<sup>3</sup> e no Google Acadêmico<sup>4</sup>, utilizando o descritor “ensino de estequiometria”, foram encontradas pesquisas sobre o conteúdo de estequiometria em aulas de Química. Das pesquisas encontradas foram selecionados 18 artigos que discutem sobre estratégias de ensino para trabalhar tal conteúdo e dificuldades de aprendizagem demonstradas pelos alunos, que estão relacionadas ao foco desta investigação. No Quadro 1 apresentamos os artigos selecionados.

**Quadro 1 – Pesquisas sobre o ensino de estequiometria**

| ARTIGO                                                | TÍTULO                                                 | AUTORES (ANO)        | NÍVEL DE ENSINO        | OBJETIVO                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dificuldades na Aprendizagem de Estequiometria</b> |                                                        |                      |                        |                                                                                                                             |
| 1                                                     | Cálculo estequiométrico: o terror nas aulas de Química | Gomes; Macedo (2007) | Ensino Médio e Técnico | Avaliar os motivos da dificuldade encontrada pelos alunos na aprendizagem de um conteúdo programático de Química integrante |

<sup>3</sup> Disponível em: <https://www.periodicos.capes.gov.br/>

<sup>4</sup> Disponível em: <https://scholar.google.li/schhp?hl=pt-PT>

|                                              |                                                                                                                                  |                                      |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                                                                                                                                  |                                      |                         | do currículo formal do Ensino Médio: a Estequiometria.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 2                                            | Estequiometria: investigações em uma sala de aula prática                                                                        | Tristão; Freitas-Silva; Justi (2008) | Ensino Superior         | (1) identificar as concepções e principais dificuldades dos alunos ao ingressarem no curso superior de Química; (2) planejar e desenvolver uma aula prática que enfatizasse essas concepções e dificuldades; e (3) avaliar a importância da aula prática, investigando modificações nas ideias prévias dos alunos e a superação das dificuldades. |
| 3                                            | Estado da Arte sobre Estequiometria: dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino                                        | Santos; Silva (2013)                 | Ensino Médio e Superior | Apresentar um panorama das pesquisas realizadas e/ou divulgadas sobre estequiometria no que se refere às investigações sobre dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino.                                                                                                                                                                |
| 4                                            | Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico                                                    | Costa; Souza (2013)                  | Ensino Médio            | Identificar e investigar nas aulas de Química os principais obstáculos dos estudantes em relação ao aprendizado de Cálculo Estequiométrico e, assim, propor uma intervenção didática.                                                                                                                                                             |
| 5                                            | Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no Ensino Superior para o conceito de estequiometria                                  | Santos; Silva (2014)                 | Ensino Superior         | Identificar as dificuldades de aprendizagem sobre conceitos envolvidos com estequiometria expressas por futuros professores de Química que se encontram em formação em uma instituição pública de Ensino Superior.                                                                                                                                |
| 6                                            | Dificuldades de Aprendizagem no Ensino de Estequiometria: algumas reflexões                                                      | Mendonça; Silva (2019)               | Ensino Médio            | Diagnosticar as dificuldades de aprendizagem no Ensino de Estequiometria com alunos do 1º ano de uma escola pública da cidade de Campina Grande-PB.                                                                                                                                                                                               |
| 7                                            | Os desafios para aprendizagem e as estratégias para o ensino de estequiometria de reações: uma revisão sistemática de literatura | Haupt; Raupp (2021)                  | Ensino Médio e Superior | Apresentar uma revisão sistemática de literatura acerca das dificuldades e estratégias relatadas para o ensino e aprendizagem de estequiometria de reações.                                                                                                                                                                                       |
| <b>Propostas de Ensino de Estequiometria</b> |                                                                                                                                  |                                      |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 8                                            | Uma proposta diferenciada de ensino para o estudo da Estequiometria                                                              | Costa; Zorzi (2008)                  | Ensino Médio            | Incentivar a pesquisa e a leitura científica para despertar no aluno o interesse pela mesma e proporcionar a participação do discente na realização de experimentos investigativos.                                                                                                                                                               |
| 9                                            | Bolo de caneca como ferramenta para o ensino de estequiometria                                                                   | Radünz <i>et al.</i> (2014)          | Ensino Médio            | Associar os conceitos químicos abordados dentro da sala de aula com a receita do bolo de caneca.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 10                                           | A abordagem de resolução de problemas por uma professora de Química:                                                             | Batinga; Teixeira                    | Ensino Médio            | Analisar como uma professora de Química aborda a resolução de problemas em sala de aula de                                                                                                                                                                                                                                                        |

|    |                                                                                                                                                 |                                    |                 |                                                                                                                                                                                                                                               |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | análise de um problema sobre a Combustão do Alcool envolvendo o conteúdo de Estequiometria.                                                     | (2014)                             |                 | química do ensino médio.                                                                                                                                                                                                                      |
| 11 | A Pedagogia Histórico-Crítica e o Ensino de Estequiometria no Ensino Médio: a incorporação de conceitos científicos numa perspectiva contextual | Borges; Pinheiro; Moradillo (2015) | Ensino Médio    | Investigar como se dá a apropriação de termos científicos acerca da estequiometria no discurso dos estudantes por meio do contexto da violência contra a mulher e através da metodologia da Pedagogia Histórico-Crítica.                      |
| 12 | Elaboração de uma narrativa para a aprendizagem de estequiometria                                                                               | Rodrigues; Messeder; Borges (2017) | Ensino Médio    | Apresentar e discutir as estratégias que foram desenvolvidas no sentido de proporcionar aos alunos um ambiente motivador para aprendizagem dos conteúdos de estequiometria.                                                                   |
| 13 | Repositórios de objetos de aprendizagem no ensino de estequiometria                                                                             | Silva; Bertini; Alves (2018)       | Ensino Médio    | Apresentar uma análise sobre uma metodologia alternativa com objetos de aprendizagem voltados para o conteúdo de estequiometria, apresentando as características consideradas facilitadoras da construção do conhecimento.                    |
| 14 | Modelagem de estruturas moleculares para uma aprendizagem significativa em estequiometria                                                       | Aguiar; Castilho (2019)            | Ensino Superior | Aplicar atividades que priorizem a significação e/ou ressignificação de conceitos, partindo das proposições mais gerais e inclusivas do tema.                                                                                                 |
| 15 | O App Inventor como Ferramenta Didática para a aprendizagem de estequiometria                                                                   | Soares; Silva (2019)               | Ensino Médio    | Disponibilizar uma alternativa metodológica ativa para o ensino de Química, empregando-se a plataforma online <i>App Inventor</i> (MIT Media Lab) como ferramenta pedagógica para potencializar a aprendizagem do conteúdo de estequiometria. |
| 16 | Experimentando e “Adoçando” o Ensino de Química: das dificuldades em estequiometria à confecção de alfajores                                    | Pricinotto; Primo (2020)           | Ensino Médio    | Aplicar um método de ensino diferenciado, despertando motivação e curiosidade no aluno, frente às situações do cotidiano referentes ao estudo do cálculo estequiométrico.                                                                     |
| 17 | Proposta Pedagógica para o estudo de estequiometria em Química básica                                                                           | Andrade; Cunha (2020)              | Ensino Médio    | Minimizar as objeções apresentadas pelos estudantes, trazendo consigo atividades didáticas aplicadas que podem dar sentido ao estudo de função do 1º grau de forma interdisciplinar à disciplina de Química.                                  |
| 18 | A utilização de organizadores prévios para o ensino de estequiometria: uma proposta de unidade de ensino potencialmente significativa           | Haupt; Raupp; Lavayen (2021)       | Ensino Médio    | Ensinar os conceitos e cálculos relacionados à estequiometria de reações, usando exemplos de receitas culinárias como organizadores prévios.                                                                                                  |

Fonte: Autoria própria (2025).

Os artigos de 1 a 7 evidenciam as dificuldades enfrentadas pelos alunos no ensino de estequiometria e estão associadas à compreensão de conceitos fundamentais, à aplicação de cálculos e ao balanceamento de equações químicas, assim como à interpretação de conceitos como mol e massa molar, além das transições entre representações macroscópicas e microscópicas da matéria. Tais dificuldades são frequentemente atribuídas a um modelo de ensino pautado na mecanização dos cálculos e na falta de contextualização dos conteúdos, o que contribui para uma aprendizagem superficial e pouco engajadora.

Por outro lado, nos artigos de 8 a 18 encontramos propostas para o ensino de estequiometria, como atividades contextualizadas, a resolução de problemas, a experimentação, o uso de plataformas online, os quais têm se mostrado eficazes no favorecimento de uma aprendizagem significativa e na aplicação dos conceitos de forma mais envolvente.

Diante disso, a adoção de metodologias ativas, como o trabalho colaborativo e a resolução de problemas em grupo, contribui substancialmente para o desenvolvimento da autonomia dos alunos e o aprimoramento de suas habilidades cognitivas. A partir dessas abordagens implementadas, os resultados indicaram melhorias no desempenho dos alunos, tanto na compreensão teórica quanto na resolução de problemas práticos.

Em síntese, a leitura dos artigos supracitados evidencia que um caminho promissor para minimizar as dificuldades dos alunos da Educação Básica na aprendizagem de estequiometria, é a utilização de estratégias/métodos de ensino que priorizem a investigação e a participação ativa dos alunos durante as aulas, favorecendo assim, a apropriação dos conceitos abordados e a construção de novos conhecimentos.

Conforme Santos e Silva (2014), as principais dificuldades de aprendizagem no ensino de estequiometria referem-se à abstração e à transição entre os níveis de representação da matéria, à grandeza da constante de Avogadro, à confusão entre mol/quantidade de matéria/constante de Avogadro/massa molar e às dificuldades no manejo dos cálculos matemáticos. Cazzaro (1999) e Andrade (2018) ressaltam que a aprendizagem do cálculo estequiométrico demanda o desenvolvimento de diversas habilidades, entre elas: raciocínio proporcional, operações aritméticas, compreensão dos conceitos de equações químicas, mol, massas molares e, sobretudo, a

interpretação adequada das equações químicas.

Além disso, a complexidade do vocabulário químico relacionado aos problemas estequiométricos, pode dificultar a aplicação de operações matemáticas simples pelos alunos (Le Maire; *et al.*, 2018). As dificuldades apresentadas podem ser analisadas considerando o modo como esse conteúdo é apresentado aos alunos, comumente, sem contextualização com a realidade, a priorizar o aspecto matemático em detrimento à interpretação química, ou ainda, mecaniza-se a resolução de problema e se aplica somente exercícios de fixação o que não contribui para o processo efetivo de aprendizagem dos alunos (Machado; *et al.*, 2013).

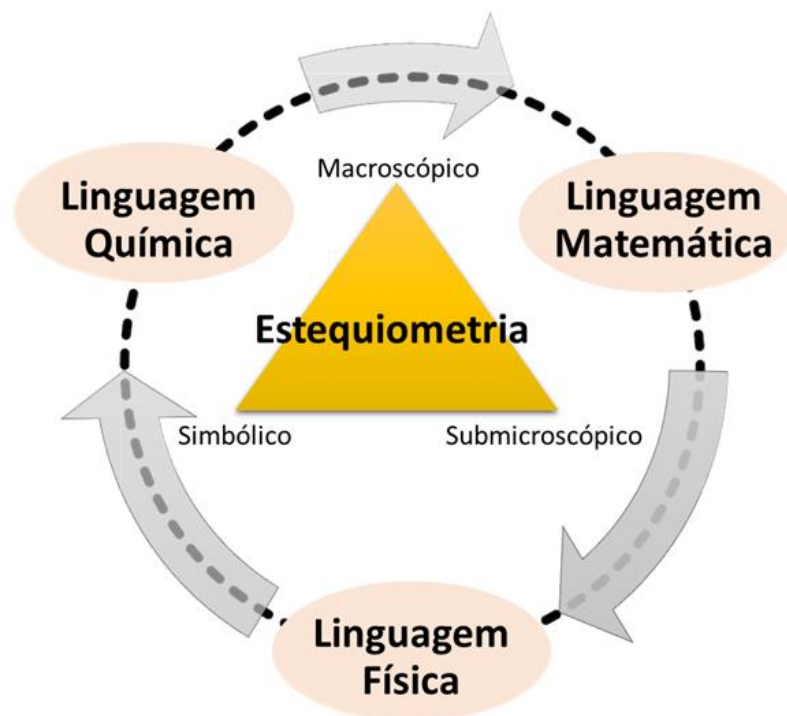
Segundo Pio (2006, p. 8), “o desenvolvimento do cálculo estequiométrico envolve três linguagens: matemática (aritmética e proporção), física (unidades de medida do SI) e química (simbologia, grandezas e equações químicas)”. Para Vygotsky (2001), toda linguagem desenvolve-se na mesma medida que as estruturas do pensamento evoluem do concreto para o abstrato e vice-versa, ou seja, desenvolvem-se à medida em que tentamos formular explicações para os fenômenos observados e vice-versa.

Segundo Johnstone (2010), a Química, como área do conhecimento, é construída a partir de modelos explicativos, conceitos abstratos e de uma linguagem própria (linguagem química), que são estudados por meio da relação entre os níveis macroscópico (fenômenos visuais), submicroscópico (atômico/molecular) e simbólico (símbolos e equações). Portanto, entendemos a linguagem química como a que se desenvolve por meio de modelos, fórmulas, estruturas, equações, figuras e símbolos na tentativa de elaborar explicações para os fenômenos do mundo real.

No que diz respeito a linguagem matemática e física, nos voltamos para o conteúdo de estequiometria, “campo de estudo que examina as quantidades das substâncias consumidas e produzidas nas reações químicas” (Brown; *et al.*, 2016. p. 84), que envolve a linguagem matemática na interpretação das relações quantitativas entre produtos e reagentes em uma reação química por meio de aritmética e proporção (2:1, 1:1, etc.), assim como à linguagem física, que auxilia no estabelecimento das unidades de medida e das conversões entre grandezas, como massa, volume e mols (g, kg, L, mol/L, g/mol, etc.).

Na intenção de explorar melhor essa discussão, elaboramos a Figura 1.

**Figura 1** – Linguagens envolvidas na estequiometria conforme Pio (2006) e Johnstone (2010)



**Fonte:** Autoria própria (2025).

Essa representação reforça que a compreensão da estequiometria exige a mobilização articulada das diferentes linguagens no processo de ensino e aprendizagem. Conforme Pio (2006), o domínio desse conteúdo está relacionado ao uso da linguagem matemática, imprescindível para o desenvolvimento de cálculos e relações proporcionais; da linguagem física, necessária à compreensão e manipulação das unidades do Sistema Internacional e das conversões de grandezas; e da linguagem química, que organiza os símbolos, fórmulas e equações químicas. Consideradas de forma isolada, essas linguagens contribuem para a resolução de problemas; entretanto, é na articulação entre elas que se possibilita ao estudante interpretar e explicar quantitativamente as transformações químicas.

Nesse mesmo sentido, a Figura 1 também dialoga com a proposta do triângulo de Johnstone (2010), que explicita os três níveis do conhecimento químico: o macroscópico, correspondente aos fenômenos observáveis; o submicroscópico, que descreve os processos em nível atômico e molecular; e o simbólico, que contempla a utilização de representações, fórmulas e equações. A aprendizagem em estequiometria exige o trânsito contínuo entre esses níveis, de modo que o estudante

compreenda, por exemplo, que a execução de cálculos envolvendo massa e mol está vinculada tanto às evidências empíricas quanto às interações de partículas em escala submicroscópica. Segundo Johnstone (2010), é fundamental que professores e alunos transitem entre esses diferentes níveis de representação, pois esse movimento contribui diretamente para a melhoria dos processos de ensino e de aprendizagem em Química, favorecendo uma compreensão mais profunda e contextualizada dos fenômenos químicos.

Assim, a Figura 1 evidencia que a aprendizagem da estequiometria não pode restringir-se à resolução mecânica de cálculos. Torna-se necessário compreender a relação intrínseca entre fenômeno, modelo e representação, reconhecendo as linguagens como mediadoras desse processo. A integração entre linguagens e níveis de conhecimento promove, portanto, uma compreensão mais ampla e significativa da Química, em que os cálculos estequiométricos deixam de constituir um fim em si mesmo e passam a configurar-se como instrumentos para a explicação das transformações da matéria em reações químicas.

### 2.3 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NO ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e as Orientações Curriculares Nacionais (OCN), um dos objetivos do ensino de Química é promover estratégias didáticas focadas na resolução de problemas. Essas estratégias visam à aprendizagem de conceitos químicos integrada com a realidade natural, social e cultural, além de aproximar os alunos das atividades de investigação científica realizadas no ambiente escolar (Brasil, 2002; 2006).

No que condiz à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), a disciplina de Química faz parte da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, na qual é dada ênfase para uma abordagem investigativa que promova o protagonismo dos alunos na aprendizagem e na aplicação de processos, necessitando ser desencadeada a partir de desafios e problemas abertos e contextualizados, para estimular a curiosidade e a criatividade na elaboração de procedimentos e na busca de soluções de natureza teórica e/ou experimental (Brasil, 2018).

Esse enfoque está em consonância com a competência geral 4 da BNCC, que visa exercer o protagonismo e a autoria nas ações e decisões do processo de aprendizagem, com autonomia e responsabilidade. Assim, os alunos são incentivados

a investigar cientificamente e a refletir criticamente sobre os processos e resultados experimentais, desenvolvendo habilidades essenciais para a formação de um pensamento crítico e autônomo.

O conceito de problema no contexto escolar, muitas vezes, é confundido com o conceito de exercício (Pozo; Crespo, 2009). No entanto, esses dois conceitos apresentam diferenças significativas, uma vez que, no contexto escolar, o termo exercício é utilizado como “situação em que o aluno dispõe de respostas, utilizando de mecanismos automatizados que levam à solução de forma imediata, priorizando a memorização de regras, fórmulas, equação e algoritmos” (Batinga; Teixeira, 2009, p.3).

No entanto, ao contrário de um exercício, um problema possui um caráter investigativo. Os alunos não dispõem de todas as ferramentas necessárias para resolvê-lo, sendo fundamental a realização de pesquisas e a formulação de hipóteses (Pozo; Crespo, 2009). Segundo Goi e Santos (2009, p. 204), os problemas podem se tratar de situações semiabertas e sugestivas, que exijam dos alunos um papel mais ativo e um esforço para buscar suas próprias respostas ao problema.

Ainda nesse contexto, os problemas podem apresentar questionamentos instigadores e contextualizados, fictícios ou reais, cuja solução não se dá de forma direta e imediata e nem com a intenção de mera memorização, haja vista que um bom problema instiga a criatividade, provoca o raciocínio e é possível de solução (Fernandes; Campos, 2017; Sales, 2017; Silva; Batinga, 2022; Fernandes, 2022).

No que diz respeito à Resolução de Problemas no ensino de Química, Assai e Bedin (2024) realizaram uma revisão sistemática integrativa para investigar como a metodologia de RP é contemplada na educação básica. Dentre os resultados encontrados, os autores verificaram que as pesquisas vêm sendo realizadas à luz de diferentes referenciais sobre resolução de problemas (Pozo; Postigo, 1993; Polya, 2006; Ribeiro, 2008; Mendoza, 2009), assim como são utilizados diferentes pressupostos teóricos para embasar a elaboração de problemas (Giz-Pérez; Martinez; Torregrosa; Sement Pérez, 1988; Lopes, 1994; Hung, 2009; Ribeiro; Passos; Salgado, 2020).

Além disso, constataram também, que diferentes estratégias como: leitura de textos, mapa conceitual, experimentação, vídeo, webQuest, entre outras, vêm sendo empregadas para abordar a resolução de problemas em sala de aula, das quais há uma ênfase nas atividades experimentais (Assai; Bedin, 2024).

De acordo com Brufrem e Sakakima (2003), a resolução de problemas é uma metodologia de ensino que propicia a aprendizagem ativa do aluno, a considerar a vivência e o contexto dos alunos durante a formulação e o processo de resolução das questões em sala de aula. Quando compreendida dessa forma, a resolução de problemas favorece uma conexão mais significativa entre os desafios propostos nas aulas de Química e a realidade cotidiana dos alunos, além de abordar questões reais enfrentadas pela sociedade.

Para Cyrino e Toralles-Pereira (2004), a educação problematizadora trabalha a construção de conhecimentos a partir da vivência de experiências significativas. Para a implementação eficaz da metodologia de RP no processo de ensino, é crucial que o professor dedique atenção à elaboração dos problemas a serem apresentados em suas aulas, incluindo as de Química. Isso envolve uma análise prévia dos aspectos que podem constituir os problemas, dos conhecimentos que se pretende mobilizar e do nível de desenvolvimento dos alunos que irão enfrentá-los.

Ribeiro (2008) compreende a RP como sinônimo da Aprendizagem Baseada em Problemas, no entanto, Assai e Bedin (2024) defendem a ideia de RP como uma metodologia que se aproxima da ABP. Para Ribeiro (2008), a ABP tem o propósito de melhorar o desempenho escolar dos alunos, desenvolver hábitos de estudo e de pensamento pelo método da experiência reflexiva e, principalmente, promover a autonomia de aprendizagem.

O autor expõe que os princípios gerais da ABP podem ser resumidos, em um primeiro momento, sendo o ensino centrado no aluno; posteriormente, o discente necessita assumir a responsabilidade por sua própria aprendizagem; as aprendizagens prévias precisam ser consideradas; a aprendizagem deve ser ativa, interativa e colaborativa; o ensino necessita estar contextualizado e a aprendizagem seguir uma abordagem indutiva. Assim, a principal função do professor é a de elaborar situações-problema e coordenar sua resolução, assumindo o papel de orientador e mediador do processo de aprendizagem.

Consoante a Souza e Valente (2013), na prática da ABP o professor é conduzido a não resolver os problemas para os alunos e a não gerar o conhecimento para eles, mas sim, oferecer alternativas e sugerir fontes de informação para a construção do conhecimento pelo estudante. Esse papel é fundamental para estimular a autonomia dos alunos e promover um aprendizado mais ativo e investigativo.

Desse modo, ao adotar essa abordagem, o professor incentiva os alunos a desenvolverem habilidades de pesquisa, pensamento crítico e resolução de problemas, permitindo que eles construam o conhecimento de maneira mais significativa e autônoma. Para Pozo (2002), a dificuldade não é fazer com que os alunos aprendam um determinado conceito ou procedimento na realização de um problema, mas fazer com que eles utilizem o problema de forma autônoma, transferindo espontaneamente para um contexto mais cotidiano.

Os autores Carletto, Mendes e Bianco (2019) analisaram, em sua pesquisa, a aplicação da metodologia ABP com alunos da 3ª série do Ensino Médio para avaliar sua eficácia no ensino de estequiometria. Os resultados mostraram que a ABP promoveu uma aprendizagem significativa, ajudando a superar dificuldades como falta de base matemática e complexidade do conteúdo e gerou motivação e interesse entre os alunos, que consideraram a abordagem mais eficaz e menos cansativa.

Livramento, Souza e Malta (2018) revelaram, em sua pesquisa, que diversas dificuldades dos alunos em relação à estequiometria estão associadas à metodologia de ensino empregada, a qual não demonstra eficácia para engajar os alunos na realização das atividades. A integração de sequências didáticas contextualizadas e abordagens fundamentadas na resolução de problemas, associadas aos temas sociais, políticos e tecnológicos, pode aprimorar a assimilação dos conceitos químicos. A incorporação de resoluções interdisciplinares pode contribuir para superar essas dificuldades, promovendo uma formação mais sólida e uma maior familiarização com o conteúdo de química.

Batinga (2010) investigou, em sua tese, as abordagens dos professores de Química do Ensino Médio na resolução de problemas de estequiometria. A pesquisa abrangeu alunos de escolas públicas e privadas em Pernambuco. A análise qualitativa revelou que, em geral, os professores tendem a focar mais em exercícios do que em problemas complexos. O estudo ressaltou a necessidade de integrar estratégias de resolução de problemas na formação inicial e continuada dos professores, com o objetivo de aprimorar a abordagem desses problemas nas aulas de química.

Nesta investigação, também consideramos a resolução de problemas como uma metodologia que se aproxima dos pressupostos da aprendizagem baseada em problemas. No entanto, esclarecemos que as situações-problema não foram empregadas com o intuito de abordar o conteúdo, mas sim como uma estratégia para aplicação do conteúdo e não como problematização, uma vez que foram respondidas

pelos alunos em momento posterior a abordagem do conteúdo de estequiometria.

Para contextualizar os problemas foram elencados os temas “Medicamentos” e “Meio Ambiente” por estarem presentes nos materiais didáticos utilizados e por fazerem parte do cotidiano dos alunos. A escolha do conteúdo de estequiometria, deve-se às dificuldades apresentadas pelos alunos durante as aulas e percebidas pela professora regente.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 3.1 PESQUISA QUALITATIVA

Segundo Flick (2009), a pesquisa qualitativa é uma abordagem que se concentra na compreensão dos significados e experiências das pessoas em contextos específicos. Essa abordagem busca explorar a complexidade das interações sociais e dos fenômenos humanos, empregando-se técnicas como entrevistas, observações e análise de documentos. Seu objetivo está na interpretação e na construção de significados, diferindo-se dos métodos quantitativos que se concentram na generalização e mensuração de dados numéricos. A pesquisa qualitativa caracteriza-se pela flexibilidade metodológica e pela profundidade analítica, possibilitando uma compreensão mais ampla, rica e contextualizada dos fenômenos investigados.

Conforme explanam Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa possui cinco características principais: a coleta de dados a qual ocorre em ambientes naturais, com o pesquisador atuando como o principal instrumento; a abordagem é descritiva; o foco dos pesquisadores está mais acentuada nos processos do que apenas nos resultados; a análise dos dados tende a ser indutiva; e a compreensão dos significados é essencial para essa investigação.

Ao relacionarmos estes cinco aspectos ao contexto desta pesquisa, destacamos que registramos as informações por meio das respostas dos alunos referentes às questões das situações-problema analisadas. As respostas foram interpretadas pela análise indutiva, construindo as categorias a partir da compreensão dos fenômenos investigados, ao longo de toda a análise.

Dessa forma, esta investigação adotou uma abordagem qualitativa, uma vez que os interesses da pesquisa estão voltados para a compreensão dos modos pelos quais os alunos da 3ª série do Ensino Médio compreendem conceitos de estequiometria a partir da resolução de situações-problema subsidiadas por temas presentes em seu cotidiano. Para Pozo e Crespo (2009, p.177), “o problema qualitativo força o aluno a explicitar suas ideias, a trabalhar com elas e a refletir sobre seu significado”, atos estes de pensar que nos ajudaram a identificar as compreensões dos alunos sobre a estequiometria.

### 3.2 O CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO

Esta investigação resulta de uma pesquisa de Mestrado do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI, que envolveu a participação de três turmas da 3ª série do Ensino Médio, turno matutino, de um colégio da rede estadual de ensino da região Norte do Paraná. Cada turma é composta por 30 alunos, no entanto nem todos estavam presentes em sala de aula no dia em que os dados foram coletados, por isso tivemos, ao todo, a participação de 56 alunos.

Ressaltamos que a pesquisadora, responsável por essa investigação, também desempenha a função de professora das turmas investigadas e, por isso, foi possível realizar a coleta de dados com a permissão dos alunos. Além disso, esta pesquisa está subsidiada pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina (CEP-UEL), pertencente ao projeto de pesquisa cadastrado sob número do CAAE: 68485223.7.0000.5231.

Em relação às turmas pesquisadas, observamos variações significativas nas características dos alunos, especialmente no que se refere ao interesse e à compreensão dos conceitos químicos. Notamos que muitos alunos enfrentam dificuldades na abstração e na aplicação prática dos conceitos químicos, evidenciadas pelo desempenho e desafios na resolução de problemas complexos.

Identificamos que um dos desafios constantes durante as aulas é a falta de motivação e engajamento dos alunos, manifestada em baixa participação e dificuldades em correlacionar conceitos teóricos com suas aplicações práticas. Por isso, nesta pesquisa, visamos explorar a metodologia da resolução de problemas como estratégia para a aplicação do conhecimento sobre o conteúdo de estequiometria.

Portanto, optamos por trabalhar com a resolução de situações-problema contextualizadas após a abordagem do conteúdo de estequiometria na 2ª série do Ensino Médio. Essa escolha foi motivada pelos relatos dos próprios alunos, que apontaram dificuldades na compreensão do tema durante o processo de ensino na série anterior. Tais manifestações despertaram o interesse em investigar e analisar as compreensões desses alunos a respeito dos conceitos de estequiometria aplicados à resolução de situações-problema.

### 3.3 A COLETA DE DADOS

A coleta de dados ocorreu mediante a resolução, pelos alunos, de situações-problema contextualizadas que buscavam relacionar o estudo da estequiometria a situações do cotidiano, na perspectiva de aproximar o conteúdo científico com as experiências dos alunos. Os problemas foram elaborados com base nos pressupostos da RP e denominados de situação-problema 1 (SP1) e situação-problema 2 (SP2), em que a SP1 aborda o tema “Medicamentos” (Apêndice A) e a SP2 o tema “Meio ambiente” (Apêndice B).

A SP1 foi aplicada durante duas aulas de Química, cada uma com duração de 50 minutos. A situação-problema envolveu os seguintes conceitos químicos: *relações quantitativas em cálculos químicos, massa, mol, massa molar, massa molecular, fórmula molecular, fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão*.

A SP2 também foi aplicada durante duas aulas de Química, cada uma com duração de 50 minutos. A situação-problema abrangeu os seguintes conceitos químicos: *relações quantitativas em cálculos químicos e reações químicas, massa atômica, massa molecular, mol, massa molar, reatividade de metais, propriedades dos metais, cátions e ânions, metais pesados, análises laboratoriais, concentração, reagente limitante e em excesso*.

Destacamos que os alunos já haviam estudado o conteúdo de Estequiometria na 2ª série do Ensino Médio, o que contribuiu para o surgimento de dúvidas e dificuldades, uma vez que muitos relataram ter esquecido o conteúdo ou, inclusive, não ter aprendido adequadamente. Durante a aplicação das situações-problema, alguns termos foram revisados, pois os alunos não recordavam as definições e as aplicações correspondentes. A maior parte dos alunos conseguiu responder, apesar das dificuldades e incertezas, embora alguns tenham desistido logo no início.

A elaboração de cada situação-problema ocorreu com base no tema, no conteúdo que já havia sido trabalhado em sala de aula (grandezas químicas e cálculo estequiométrico) e num formato familiar para os alunos, que englobou uma introdução com as informações acerca do problema e algumas questões relacionadas. Ressaltamos que os conceitos envolvidos em cada SP foram extraídos durante a análise dos dados e não elencados para a sua elaboração, o que justifica a presença de conceitos adjacentes como propriedades dos metais, fórmula estrutural em bastão, entre outros.

Assim, os conceitos extraídos das SP embasaram a análise das respostas dos alunos para cada questão da SP1 (1, 2, 3a e 3b) e da SP2 (1, 2, 3, 4 e 5), as quais foram submetidas aos procedimentos analíticos da Análise de Conteúdo (AC) de Bardin (2016). O movimento analítico realizado está apresentado na seção seguinte.

### 3.4 A ANÁLISE DE DADOS

Conforme explicita Bardin (2016), a AC compreende três etapas: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, inferência e interpretação. A pré-análise tem como objetivo organizar os dados que serão submetidos à etapa de análise. É por meio da leitura flutuante que o pesquisador começa a tomar decisões quanto à seleção dos documentos e à constituição do corpus, ou seja, o material a ser analisado (Bardin, 2016).

Para organizar os dados desta investigação, cada questão da SP1 (1, 2, 3a, 3b) e da SP2 (1, 2, 3, 4 e 5) foi transcrita em uma planilha do excel seguida das respostas fornecidas pelos alunos. Isso nos permitiu identificar que 56 alunos haviam respondido todas as questões de ambas as situações-problema. Esse critério foi utilizado para selecionar aquelas a serem analisadas. Logo, o *corpus* desta investigação constitui-se por 224 respostas referentes à SP1 e 280 referentes à SP2. Nesta etapa, os alunos foram codificados como A1, A2, ..., A56, e essa codificação foi empregada na análise e discussão dos resultados referentes às duas situações-problema.

Na etapa de exploração do material necessita ser feita a aplicação sistemática das decisões tomadas e a administração das técnicas no *corpus* (Bardin, 2016). Sendo assim, nesta etapa, inicialmente, foi realizada uma análise de cada SP para identificar os conceitos científicos que delas emergiam. Da SP1 emergiram os seguintes conceitos: *relações quantitativas em cálculos químicos, massa, mol, massa molar, massa molecular, fórmula molecular, fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão*. No que condiz à SP2, os conceitos derivados foram: *relações quantitativas em cálculos químicos e reações químicas, massa atômica, massa molecular, mol, massa molar, reatividade de metais, propriedades dos metais, cátions e ânions, metais pesados, análises laboratoriais, concentração, reagente limitante e em excesso*.

Em seguida, as respostas dos alunos foram lidas de modo analítico em busca

de alguma correspondência com os conceitos científicos que emergiram de cada SP. Esse movimento nos encaminhou para o processo de categorização, que se deu pelo confronto das respostas de cada questão com os conceitos que dela emergiram. Isso possibilitou a construção de categorias durante a análise que, segundo Bardin (2016), são classificadas como categorias *a posteriori* ou emergentes. As categorias foram numeradas e especificadas em função da questão e da SP a qual se referem. Por exemplo, a categoria C1(2)SP1 compreende a primeira categoria referente à questão 2 da situação-problema 1.

Por fim, no tratamento dos resultados foram feitas as interpretações inferenciais por meio de uma análise intuitiva, reflexiva e crítica (BARDIN, 2016). Nesta etapa, pautamo-nos nas ideias de Pio (2006) a respeito das linguagens envolvidas na estequiometria e, também, na teoria de Johnstone (2010) acerca dos níveis do conhecimento químico, as quais sustentaram nossas interpretações a respeito das compreensões dos alunos sobre a estequiometria. Esse movimento nos permitiu fazer constatações e inferências acerca das dificuldades por eles demonstradas, assim como da porcentagem de alunos que apresentaram compreensão dos conceitos científicos investigados na SP1 e SP2. Tais discussões serão apresentadas na seção seguinte.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 SITUAÇÃO-PROBLEMA 1 – MEDICAMENTOS

No Quadro 2 apresentamos uma síntese dos resultados obtidos durante a análise de cada questão da situação-problema 1, de tema Medicamentos.

**Quadro 2** – Categorização das respostas dos alunos para as questões da situação-problema 1

| QUESTÃO | CONCEITOS DERIVADOS DA QUESTÃO                                                         | CATEGORIAS                                                                                                                                                                           | ALUNOS (Nº DE RESPOSTAS)                                                                                                                                           |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Relações quantitativas em cálculos químicos.                                           | C1(1)SP1 – Relacionam a estequiometria com a dosagem dos medicamentos a partir das relações quantitativas em cálculos químicos.                                                      | A1, A2, A3, A4, A5, A6, A9, A10, A11, A14, A16, A20, A23, A27, A31, A32, A37, A42, A43, A46, A47, A48, A49<br>(23 / 41,1%)                                         |
|         |                                                                                        | C2(1)SP1 – Não relacionam a estequiometria com a dosagem dos Medicamentos.                                                                                                           | A7, A8, A12, A13, A15, A17, A18, A19, A21, A22, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A33, A34, A35, A36, A38, A39, A40, A41, A44, A45, A50, A52, A53, A54<br>(30 / 53,6%) |
|         |                                                                                        | C3(1)SP1 – Sem resposta.                                                                                                                                                             | A51, A55, A56<br>(03 / 5,3%)                                                                                                                                       |
| 2       | Relações quantitativas em cálculos químicos; massa; mol; massa molar; massa molecular. | C1(2)SP1 – Realizam os cálculos químicos com base nas relações quantitativas entre as grandezas massa, mol, massa molar e massa molecular.                                           | A27, A42, A43.<br>(03 / 5,3%)                                                                                                                                      |
|         |                                                                                        | C2(2)SP1 – Realizam os cálculos químicos com base nas relações quantitativas entre as grandezas massa, mol, massa molar e massa molecular, mas não reconhecem as unidades de medida. | A16, A21, A22, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A31, A33, A34, A36, A39, A40, A41, A44, A45, A49, A51.<br>(20 / 35,7%)                                                |
|         |                                                                                        | C3(2)SP1 – Não realizam os cálculos químicos com base nas relações quantitativas entre as grandezas massa, mol, massa molar e massa molecular.                                       | A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A19, A20, A23, A32, A35, A37, A38, A46, A47, A48, A50, A52, A54.<br>(27 / 48,3%)                      |
|         |                                                                                        | C4(2)SP1 – Sem resposta.                                                                                                                                                             | A15, A17, A18, A51, A55, A56<br>(06 / 10,7%)                                                                                                                       |

|           |                                                                            |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                         |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3a</b> | Fórmula molecular;<br>fórmula estrutural;<br>fórmula estrutural em bastão. | C1(3a)SP1 – Escrevem as fórmulas moleculares com base na fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão.                                                                        | A1, A2, A3, A4, A24, A25, A27, A31, A33, A34, A36, A38, A39, A41, A42, A43, A45, A46, A48, A49, A52, A54.<br><br>(22 / 39,3%)           |
|           |                                                                            | C2(3a)SP1 – Escrevem as fórmulas moleculares com base na fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão, mas não apresentam todas as fórmulas.                                  | A32, A37.<br><br>(02 / 3,6%)                                                                                                            |
|           |                                                                            | C3(3a)SP1 – Não escrevem as fórmulas moleculares com base na fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão.                                                                    | A5, A6, A7, A9, A10, A11, A14, A17, A18, A19, A20, A21, A22, A23, A26, A28, A29, A30, A35, A40, A44, A47, A51, A53.<br><br>(24 / 42,9%) |
|           |                                                                            | C4(3a)SP1 – Sem resposta.                                                                                                                                                          | A8, A12, A13, A15, A16, A50, A55, A56.<br><br>(08 / 14,3%)                                                                              |
| <b>3b</b> | Relações quantitativas em reações químicas; massa; mol; massa molar.       | C1(3b)SP1 – Realizam os cálculos com base nas relações quantitativas em reações químicas a partir das grandezas massa, mol e massa molar.                                          | A21, A34, A36, A40, A41, A43, A44, A50.<br><br>(08 / 14,3%)                                                                             |
|           |                                                                            | C2(3b)SP1 – Realizam os cálculos com base nas relações quantitativas em reações químicas a partir das grandezas massa, mol, massa molar, mas não reconhecem as unidades de medida. | A1, A2, A19, A22, A23, A26, A27, A28, A39, A42, A47.<br><br>(11 / 19,6%)                                                                |
|           |                                                                            | C3(3b)SP1 – Não realizam os cálculos com base nas relações quantitativas em reações químicas a partir das grandezas massa, mol, massa molar.                                       | A3, A4, A5, A6, A7, A8, A10, A11, A12, A17, A18, A20, A24, A25, A29, A30, A31, A32, A33, A37, A38, A45, A46, A51.<br><br>(24 / 42,9%)   |
|           |                                                                            | C4(3b)SP1 – Sem resposta.                                                                                                                                                          | A9, A13, A14, A15, A16, A35, A48, A49, A52, A53, A54, A55, A56.<br><br>(13 / 23,2%)                                                     |

Fonte: Autoria própria (2024).

### Questão 1

Qual é a relação da estequiometria com a dosagem de medicamentos?

Ao analisarmos a primeira questão percebemos a emergência de três categorias. A C1(1)SP1 agrupa respostas nas quais os alunos relacionam a estequiometria com a dosagem de medicamentos a partir das relações quantitativas

em cálculos químicos. Como exemplos, temos as transcrições:

**A1:** “A estequiometria relaciona-se com a dosagem de medicamentos, devido ao cálculo da quantidade ideal de substâncias para o organismo” C1(1)SP1;

**A5:** “Tem relação sobre a quantidade da dosagem de medicamentos correta” C1(1)SP1;

**A14:** “A relação da estequiometria é o cálculo para a dosagem ser correta” C1(1)SP1.

Para responder a esta questão é preciso reconhecer a necessidade de realizar cálculos químicos para relacionar a estequiometria e a dosagem de medicamentos, o que envolve as linguagens química, física e matemática (PIO, 2006). As 23 respostas presentes na C1(1)SP1 evidenciam tal reconhecimento e a apropriação das referidas linguagens por parte dos alunos, pois indicam que eles possuem algum entendimento acerca da estequiometria, enquanto método para estabelecer proporções e realizar cálculos químicos.

A C2(1)SP1 abarca repostas vagas e sem sentido em relação ao conceito e a C3(1)SP1 refere-se aos alunos que não responderam à questão. A seguir temos exemplos de respostas alocadas na C2(1)SP1:

**A13:** “Porque cada medicamento causa uma reação e se aumentar a dosagem vai causar uma reação” (C2.1)SP1;

**A17:** “A estequiometria consegue fazer a medição de massa, e assim se pode dar uma dosagem de um medicamento” C2(1)SP1;

**A33:** “É essencial que a reação química do medicamento no organismo seja adequada e que não haja excesso ou falta do medicamento no corpo” (C2.1)SP1.

Essa categoria abarca o maior número de respostas, 30 de 56, o que denota preocupação, uma vez que evidencia a não compreensão do conceito estequiometria, muito menos suas relações com situações da vida, como a dosagem de medicamentos. Compreendemos que tais resultados decorrem das dificuldades enfrentadas pelos alunos na resolução de diferentes problemas envolvendo cálculos, uma vez que essa dimensão quantitativa é fundamental para analisar, por exemplo, a dosagem correta de um medicamento com base nas recomendações estabelecidas.

Considerando que a questão envolve uma explicação científica para um assunto da vida real, o consumo de medicamentos na dosagem adequada, é perceptível a dificuldade dos alunos em elaborar uma explicação com base nas linguagens química, física e matemática, uma vez que as respostas estão mais

pautadas no conhecimento cotidiano do que no conhecimento científico. Como discutem Pozo e Crespo (2009, p. 123):

“[...] quando são defrontados com uma tarefa que requer utilizar um pensamento científico, a maior parte das pessoas recorre a outras formas mais elementares de pensamento (regras heurísticas, estratégias simplificadoras, vieses de previsão, etc.), que os levam a resultados não necessariamente coincidentes com os da ciência (p. 123).

Tais apontamentos denotam que uma parte considerável dos alunos conseguiu explorar as linguagens química, física e matemática, mas, a maioria deles, demonstrou dificuldade, restringindo suas explicações a conhecimentos de senso comum, baseadas nas experiências mais diretas por eles vivenciadas (Pozo; Crespo, 1998), relacionadas ao nível macroscópico do conhecimento químico (Johnstone, 2010).

### Questão 2

Considere que o medicamento ingerido pelo paciente seja o paracetamol, um fármaco com potente ação analgésica e antitérmica, que em excesso pode causar intoxicação. Sabendo que a dose adequada para um adulto com febre é de 500mg, calcule quantos mols de paracetamol há em um comprimido. Dados: Massa molar do paracetamol ( $C_8H_9O_2N$ ) = 151g/mol.

Ao analisarmos a segunda questão percebemos a emergência de quatro categorias. Na C1(2)SP1 e na C2(2)SP1 enquadram-se as respostas nas quais os alunos realizam os cálculos químicos com base nas relações quantitativas entre as grandezas massa, mol, massa molar e massa molecular, porém na C2(2)SP1, eles não reconhecem as unidades de medida. Como exemplos, temos as respostas a seguir:

**A27:** “Para calcular quantos mols de paracetamol há em um comprimento de 500 mg, é preciso dividir a massa do paracetamol pela sua massa molar. O resultado final é de 0,00331 mol de paracetamol em um comprimido de 500 mg. É importante ressaltar que a dosagem adequada de um medicamento depende de diversos fatores e deve ser prescrito por um profissional de saúde” C1(2)SP1;

**A42:** “0,5/151 = 0,00331 mol” C1(2)SP1;

**A16:** “0,5/151 = 0,0033112583” C2(2)SP1;

**A25:** “0,5/151 = 0,0033” C2(2)SP1.

Analiticamente, trata-se de uma questão que envolve as linguagens química, física e matemática (PIO, 2006). No entanto, analisando as respostas dos alunos é notável a dificuldade que eles apresentam ao realizar cálculos e compreender as relações entre as grandezas, como é o caso de A16 e A25, pois chegam a um valor numérico correto, mas não o relacionam à grandeza mol. Verificamos que apenas três alunos estabelecem relações entre as três linguagens, realizam os cálculos e reconhecem as unidades de medidas corretamente, entretanto, 20 deles realizam os cálculos, mas não as reconhecem, o que evidencia dificuldades com as três linguagens, com destaque para a linguagem física.

A C3(2)SP1 demonstra respostas que não estabelecem relações quantitativas entre os dados e a falta de compreensão dos conceitos, já a C4(2)SP1, refere-se aos alunos que não responderam à questão. Abaixo temos exemplos de respostas da C3(2)SP1:

**A1:** “ $0,5/151 = 0,003 \text{ g/mol}$ ” C3(2)SP1;

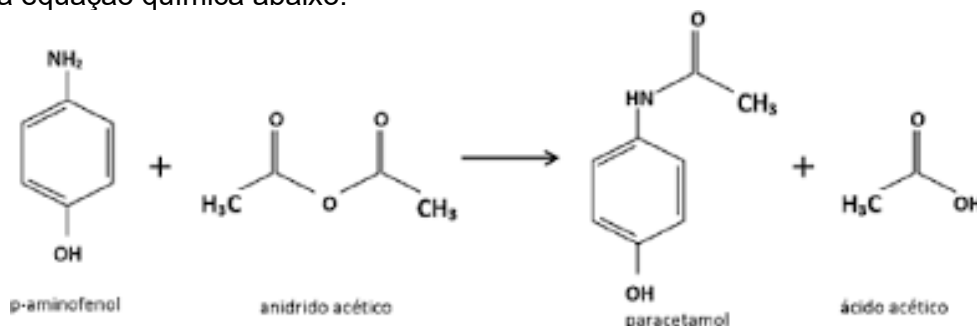
**A10:** “ $0,5/151 = 0,0033126 = 331126.10^8$ ” C3(2)SP1.

Esta categoria abrange o maior número de respostas (27) em relação às outras categorias, a demonstrar a dificuldade dos alunos em realizar cálculos químicos com base em relações quantitativas. Pozo e Crespo (2009) discutem que uma das dificuldades conceituais na aprendizagem da Química é o estabelecimento de relações quantitativas entre massas, quantidade de substâncias, número de átomos, entre outras. Segundo os autores, praticamente todos os cálculos químicos, exceto aqueles que exigem o uso de fórmulas como o cálculo do pH, podem ser realizados aplicando relações de proporcionalidade. Neste quesito está o cerne das dificuldades dos alunos, o *raciocínio proporcional*.

No caso da questão 2, percebemos que uma pequena parcela dos alunos conseguiu explorar as linguagens química, física e matemática, enquanto a maioria deles demonstrou dificuldades com as três linguagens, com destaque para a linguagem física. Além disso, o estabelecimento de relações quantitativas entre massa e quantidade de matéria envolve os níveis simbólico e submicroscópico do conhecimento químico (Johnstone, 2010). Portanto, as dificuldades dos alunos residem em ambos os níveis.

### Questão 3

O paracetamol é sintetizado a partir da reação do p-aminofenol com anidrido acético, conforme a equação química abaixo.



Devido às suas aplicações farmacológicas, o paracetamol é utilizado na forma de comprimidos, nos quais se emprega tipicamente uma massa de 500mg dessa substância.

- Escreva a fórmula molecular de todos os compostos presentes na equação química;
- Sabendo que a dose diária máxima de paracetamol é de 4000mg, calcule a massa de p-aminofenol utilizada para fabricar a quantidade de comprimido recomendada na dose diária. Dados: Massa molar do p-aminofenol = 109g/mol; massa molar do paracetamol = 151g/mol.

A terceira questão é formada por duas perguntas identificadas como 3a e 3b. A pergunta 3a aborda conceitos relacionados às fórmulas químicas (fórmula molecular, fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão), a qual envolve a linguagem química (Pio, 2006). Ao analisarmos a pergunta, notamos a ocorrência de quatro categorias. A C1(3a)SP1 e a C2(3a)SP1 englobam respostas nas quais os alunos escrevem as fórmulas moleculares com base na fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão, no entanto, na C2(3a)SP1, eles não apresentam todas as fórmulas. Como exemplos, temos as respostas a seguir:

**A1:** “p-aminofenol =  $C_6H_7NO$ , anidrido acético =  $C_4H_6O_3$ , paracetamol =  $C_8H_9NO_2$ , ácido acético =  $C_2H_4O_2$ ” C1(3a)SP1;

**A25:** “p-aminofenol =  $C_6H_7NO$ , anidrido acético =  $(CH_3CO)_2O$ , paracetamol =  $C_8H_9NO_2$ , ácido acético =  $CH_3COOH$ ” C1(3a)SP1;

**A32:** “p-aminofenol = ?, anidrido acético =  $C_4O_3H_6$ , paracetamol =  $C_8H_9NO_2$ , ácido acético =  $C_4O_3H_6$ ” C2(3a)SP1;

**A37:** “ $C_6H_7NO$ ” C2(3a)SP1.

O objetivo da pergunta foi analisar se os alunos são capazes de representar corretamente as fórmulas moleculares dos reagentes e dos produtos envolvidos na equação química. Com base nas respostas obtidas, observamos que 22 alunos foram

capazes de apresentar a representação esperada, enquanto apenas dois (A32 e A37) não atingiram esse resultado. A C3(3a)SP1 envolve as respostas em que eles não escreveram as fórmulas moleculares, com base na fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão, e a C4(3a)SP1 refere-se aos alunos que não responderam à questão. A seguir temos exemplos de respostas alocadas na C3(3a)SP1:

**A5:** "OHC<sub>6</sub>H<sub>7</sub>NH<sub>2</sub> = HC<sub>3</sub>C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>CH<sub>3</sub> = C<sub>8</sub>H<sub>8</sub>NO<sub>2</sub> = C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>" C3(3a)SP1;

**A14:** "C<sub>6</sub>N<sub>1</sub>O<sub>1</sub>H<sub>3</sub> / C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub> / C<sub>9</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub>N<sub>1</sub> / C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>" C3(3a)SP1;

**A35:** "CH<sub>2</sub>CHNH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>, CHCH<sub>2</sub>H<sub>3</sub>COCHOCH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>, CH<sub>6</sub>OHNHCH<sub>3</sub>H<sub>3</sub>CHO<sub>2</sub>OH" C3(3a)SP1.

Percebemos que, praticamente, metade da turma apresentou apropriação da linguagem química e, também, conhecimentos de nível simbólico (JOHNSTONE, 2010) para a resolução dessa questão. No entanto, a outra metade demonstrou dificuldades em ambos.

A análise das respostas para a pergunta 3b originou quatro categorias. Nas categorias C1(3b)SP1 e C2(3b)SP1 estão as respostas em que os alunos realizam os cálculos com base nas relações quantitativas em reações químicas a partir das grandezas massa, mol e massa molar, no entanto, na C2(3b)SP1, os alunos não reconhecem as unidades de medida. Como exemplos, temos as respostas a seguir:

**A21:** "436/151 = 2,88. A quantidade aproximada de p-aminofenol é de 2,88 gramas" C1(3b)SP1;

**A40:** "4/151 = 0,0265 mol                      0,0265 mol. 109,9 mol = 2,9 g" C1(3b)SP1;

**A1:** "436/151 = 2,887" C2(3b)SP1;

**A26:** "436/151 = 2,88" C2(3b)SP1.

A resolução dessa questão exigia a análise da proporção estequiométrica presente na equação química, seguida da realização do cálculo correspondente, ou seja, um processo que demanda a articulação das linguagens química, física e matemática (PIO, 2006). Enquanto 8 alunos exploraram as três linguagens e forneceram respostas plausíveis (exemplos de A21 e A40), 11 deles as exploraram com uma certa dificuldade na linguagem física (exemplos de A1 e A26).

A categoria C3(3b)SP1 expõe repostas incoerentes em relação ao cálculo estequiométrico e a C4(3b)SP1 refere-se aos alunos que não responderam à questão.

A seguir, temos exemplos de respostas alocadas na C3(3b)SP1:

**A4:** “ $0,4/109 = 0,00366972$ ” (C3.3b)SP1;

**A11:** “ $4 \cdot 109 \cdot 151 = 65,836 \text{ g/mol}$ ” (C3.3b)SP1;

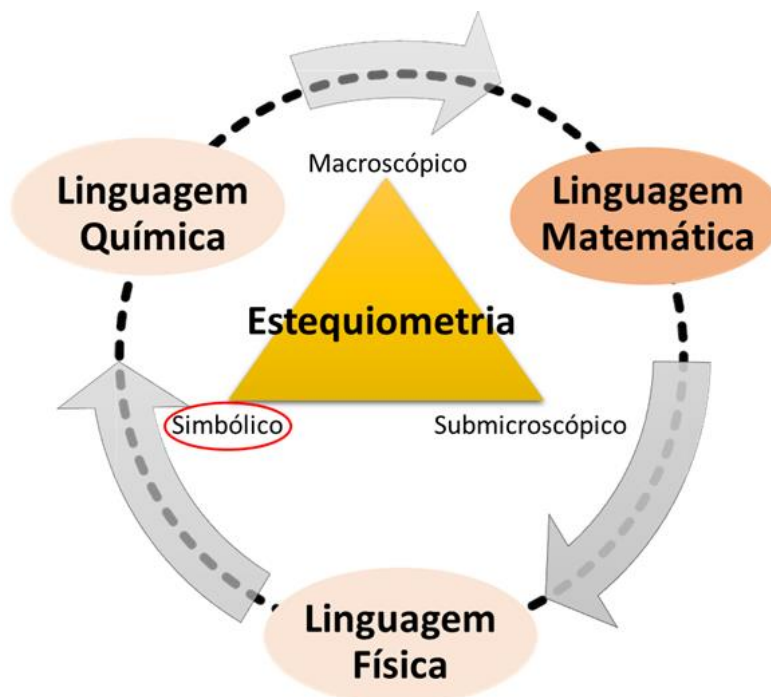
**A33:** “ $4000 \cdot 151 / 100 = 6040$                        $6040 - 4000 = 2.040 \text{ g}$ ” (C3.3b)SP1.

A referida categoria abarca o maior número de respostas e denota as dificuldades dos alunos em reconhecerem as relações estequiométricas em uma equação química. Pozo e Crespo (2009) afirmam que os cálculos, a partir de equações químicas, apresentam por sua vez, numerosas dificuldades. Assim, os alunos, por exemplo, utilizam falsas leis de conservação de mols, estabelecem relações diretas entre as massas dos compostos que participam em uma reação, sem levar em consideração os coeficientes da reação ajustada; não compreendem o significado químico da reação ajustada; não distinguem entre subíndices e coeficientes nas fórmulas; ou não compreendem as leis das proporções definidas (Yarroch, 1985; Schmidt, 1986).

Tais considerações evidenciam que a maior parte da turma demonstrou dificuldades para explorar as linguagens química, física e matemática, uma vez que não conseguiram realizar os cálculos com base nas relações quantitativas em reações químicas. Além disso, pelo fato de as relações quantitativas em reações químicas envolverem os níveis simbólico e submicroscópico (Johnstone, 2010), percebemos, mais uma vez, as dificuldades dos alunos em transitar por tais níveis.

Diante das discussões apresentadas foi elaborada a Figura 2, que denota as dificuldades dos alunos ao explorarem as linguagens química, física e matemática (Pio, 2006) e transitarem pelos níveis do conhecimento químico (Johnstone, 2010) durante a resolução da situação-problema 1.

**Figura 2** – Linguagens exploradas pelos alunos na resolução da SP1



**Fonte:** Autoria própria (2025).

Observamos que, embora os alunos mobilizem as três linguagens, química, física e matemática, ao transitar entre os diferentes níveis de representação do conhecimento químico, eles também enfrentam dificuldades nesse processo. A coloração de fundo nas linguagens química, física e matemática, presentes na figura 2, denota aquelas em que eles encontraram mais ou menos dificuldades, portanto, verificamos que a linguagem matemática foi a que se destacou dentre as outras. A principal dificuldade deles com a linguagem matemática reside na compreensão das relações quantitativas e na execução das operações necessárias para resolver problemas de estequiometria, uma vez que os alunos enfrentaram desafios ao interpretarem corretamente as proporções estequiométricas para realizarem os cálculos.

Além disso, percebemos dificuldades para integrar os conceitos matemáticos com os químicos e físicos, uma vez que os alunos deixaram de apresentar as unidades de medida em vários cálculos e tiveram dificuldades em relacionar os conceitos de massa, massa molar e quantidade de matéria. Logo, entendemos que as dificuldades com as linguagens química e física se revelaram na mesma proporção e, na maioria das vezes, relacionadas com as dificuldades oriundas da linguagem matemática. Neste caso, as dificuldades dos alunos com a estequiometria circundam

entre as três linguagens, mas se acentuam na linguagem matemática.

No que diz respeito aos níveis do conhecimento químico, houve um destaque para as dificuldades relacionadas ao nível simbólico, as quais estão relacionadas ao reconhecimento de fórmulas e interpretação de equações químicas. Os alunos apresentaram dificuldades em escrever fórmulas moleculares corretamente, confundiram os símbolos dos elementos químicos e não compreenderam adequadamente os coeficientes estequiométricos nas equações, o que limitou a resolução dos problemas estequiométricos.

Apesar das dificuldades identificadas no nível submicroscópico, especialmente relacionadas aos cálculos da quantidade de matéria das substâncias envolvidas nas reações químicas, entendemos que este nível não se destacou como o simbólico, uma vez que para resolver os problemas da SP1, o fundamental era reconhecer os símbolos químicos e interpretar a estequiometria das reações para proceder de forma correta com os cálculos estequiométricos.

#### 4.2 SITUAÇÃO-PROBLEMA 2 – MEIO AMBIENTE

No Quadro 3 apresentamos uma síntese dos resultados obtidos durante a análise de cada questão da situação-problema 2, sobre o tema “Meio Ambiente”.

**Quadro 3** – Categorização das respostas dos alunos para as questões da situação-problema 2

| QUESTÃO | CONCEITOS DERIVADOS DA QUESTÃO                                                                  | CATEGORIAS                                                                                                                                                                            | ALUNOS (Nº DE RESPOSTAS / %)                                                                                      |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Relações quantitativas em cálculos químicos, massa atômica, massa molecular, mol e massa molar. | C1(1)SP2 – Realizam os cálculos de massa molar com base nas relações quantitativas entre massa atômica, massa molecular, mol e massa molar.                                           | A1, A2, A3, A5, A7, A8, A9, A10, A14, A27, A37, A38, A41, A42, A43, A44, A45, A46, A48, A49, A52.<br>(21 / 37,5%) |
|         |                                                                                                 | C2(1)SP2 – Realizam os cálculos de massa molar com base nas relações quantitativas entre massa atômica, massa molecular, mol e massa molar, mas não reconhecem as unidades de medida. | A12, A13, A19, A20, A21, A23, A24, A25, A28, A29, A30, A36.<br>(12 / 21,4%)                                       |
|         |                                                                                                 | C3(1)SP2 – Não realizam os cálculos de massa molar com base nas relações quantitativas entre massa atômica, massa molecular, mol e massa molar.                                       | A4, A6, A11, A22, A26, A31, A32, A33, A34, A35, A39, A40, A47.<br>(13/ 23,2%)                                     |

|   |                                                                      |                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                    |
|---|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                      | C4(1)SP2 – Sem resposta.                                                                                                                                    | A15, A16, A17, A18, A50, A51, A53, A54, A55, A56.<br>(10 / 17,9%)                                                                                                                  |
| 2 | Relações quantitativas em reações químicas, massa, mol, massa molar. | C1(2)SP2 - Realizam o cálculo estequiométrico com base nas relações quantitativas entre massa, mol e massa molar.                                           | A31, A49<br>(02 / 3,57%)                                                                                                                                                           |
|   |                                                                      | C2(2)SP2 - Realizam o cálculo estequiométrico com base nas relações quantitativas entre massa, mol e massa molar, mas não reconhecem as unidades de medida. | A21, A22, A23, A24, A25, A28, A29, A30.<br>(08 / 14,3%)                                                                                                                            |
|   |                                                                      | C3(2)SP2 – Não realizam o cálculo estequiométrico com base nas relações quantitativas químicas entre massa, mol e massa molar.                              | A6, A7, A9, A14, A20, A26, A27, A32, A33, A34, A35, A39, A40, A41, A42, A43, A44, A45, A46, A47, A48.<br>(21 / 37,5%)                                                              |
|   |                                                                      | C4(2)SP2 – Sem resposta.                                                                                                                                    | A1, A2, A3, A4, A5, A8, A10, A11, A12, A13, A15, A16, A17, A18, A19, A36, A37, A38, A50, A51, A52, A53, A54, A55, A56.<br>(25 / 44,6%)                                             |
| 3 | Reatividade de metais, propriedades dos metais, cátions e ânions.    | C1(3)SP2 – Relacionam a toxicidade dos metais à sua capacidade reativa.                                                                                     | A4, A27, A31, A42, A43, A45, A46, A49.<br>(08 / 14,3%)                                                                                                                             |
|   |                                                                      | C2(3)SP2 – Não relacionam a toxicidade dos metais à sua capacidade reativa.                                                                                 | A1, A2, A3, A5, A6, A8, A9, A10, A12, A13, A14, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A32, A33, A34, A35, A37, A38, A39, A40, A41, A44, A47, A48.<br>(34 / 60,7%) |
|   |                                                                      | C3(3)SP2 – Sem resposta.                                                                                                                                    | A7, A11, A15, A16, A17, A18, A36, A50, A51, A52, A53, A54, A55, A56.<br>(12 / 21,4%)                                                                                               |
| 4 | Metais pesados, análises laboratoriais e concentração.               | C1(4)SP2 – Reconhecem a existência de análises laboratoriais para identificar e monitorar a presença de metais pesados na água.                             | A3, A4, A6, A7, A9, A20, A23, A27, A31, A37, A38, A42, A43, A45, A46, A48.<br>(16 / 28,6%)                                                                                         |
|   |                                                                      | C2(4)SP2 – Não reconhecem a existência de análises laboratoriais para identificar e monitorar a presença de metais pesados na água.                         | A2, A5, A8, A10, A12, A13, A14, A19, A21, A22, A24, A25, A26, A28, A29, A30, A32, A33, A34, A35, A39, A40, A41, A44, A47, A49.<br>(26 / 46,4%)                                     |

|   |                                                                                             |                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                  |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                             | C3(4)SP2 – Sem resposta.                                                                                                                                       | A1, A11, A15, A16, A17, A18, A36, A50, A51, A52, A53, A54, A55, A56.<br>(14 / 25%)                                                                               |
| 5 | Relações quantitativas em reações químicas, reagente limitante e em excesso e concentração. | C1(5)SP2 – Identificam as contribuições da estequiometria com base nas relações quantitativas entre a concentração dos reagentes (limitante e em excesso).     | A4, A6, A20, A21, A23, A25, A28, A30, A31, A32, A42, A43, A44, A45, A46, A48, A49.<br>(17 / 30,4%)                                                               |
|   |                                                                                             | C2(5)SP2 – Não identificam as contribuições da estequiometria com base nas relações quantitativas entre a concentração dos reagentes (limitante e em excesso). | A5, A9, A10, A13, A22, A24, A27, A29, A38.<br>(9 / 16,1%)                                                                                                        |
|   |                                                                                             | C3(5)SP2 – Sem resposta.                                                                                                                                       | A1, A2, A3, A7, A8, A11, A12, A14, A15, A16, A17, A18, A19, A26, A33, A34, A35, A36, A37, A39, A40, A41, A47, A50, A51, A52, A53, A54, A55, A56.<br>(30 / 53,6%) |

Fonte: Autoria própria (2024).

### Questão 1

Calcule a massa molar do sulfato de chumbo II ( $\text{PbSO}_4$ ) e cloreto de mercúrio II ( $\text{HgCl}_2$ ).

Ao analisarmos a primeira questão, percebemos a emergência de quatro categorias. Na C1(1)SP2, enquadram-se respostas nas quais os alunos realizam os cálculos de massa molar com base nas relações quantitativas entre massa atômica, massa molecular, mol e massa molar, porém nas respostas da C2(1)SP2, verificamos que eles não reconhecem as unidades de medida na apresentação dos resultados. Como exemplos, temos as respostas a seguir:

**A1:** “Sulfato de chumbo: 303,26 g/mol, cloreto de mercúrio = 271,52 g/mol” C1(1)SP2;

**A37:** “Sulfato de chumbo: 303,26 g/mol, cloreto de mercúrio = 271 g/mol” C1(1)SP2;

**A12:** “ $\text{PbSO}_4 = 303$ ,  $\text{HgCl}_2 = 272$ ” C2(1)SP2;

**A23:** “ $\text{PbSO}_4 = 303,3$ ,  $\text{HgCl}_2 = 271,6$ ” C2(1)SP2.

Para resolver essa questão, era necessário interpretar as fórmulas moleculares a partir do reconhecimento dos elementos químicos, a quantidade e suas respectivas massas molares, para, posteriormente, proceder com o cálculo das massas molares

dos compostos, o que envolve as linguagens química, física e matemática (Pio, 2006).

Ao analisarmos as 21 respostas classificadas na C1(1)SP2, percebemos que eles não apresentaram os cálculos da massa molar para justificar os resultados encontrados, no entanto apresentaram respostas corretas, como nos exemplos de A1 e A37. No caso das 12 respostas alocadas na C1(2)SP2, percebemos a mesma situação, com destaque para a ausência das unidades de medida, como nas respostas de A12 e A23. Isso nos limita a inferirmos que houve apropriação das linguagens mencionadas, pois não tivemos acesso à forma como eles quantificaram e relacionaram cada elemento químico para procederem com os cálculos.

A C3(1)SP2, composta por 13 respostas, demonstra que os alunos não estabeleceram relações quantitativas entre os elementos químicos presentes em cada fórmula molecular, como podemos verificar nos exemplos a seguir:

**A4:** " $PbSO_4 = 130 \text{ g/mol}$ ,  $HgCl_2 = 114 \text{ g/mol}$ " C3(1)SP2;

**A26:** " $PbSO_4 = 597$ ,  $HgCl_2 = 900$ " C3(1)SP2.

Segundo Pozo e Crespo (2009), não basta o aluno conhecer, compreender e saber utilizar os diferentes conceitos químicos envolvidos em problemas quantitativos, mas também necessita estabelecer conexões múltiplas entre esses conceitos. Neste caso, é perceptível que os alunos tiveram dificuldades nas linguagens química, física e matemática. Ainda que os alunos consigam realizar parte do procedimento, eles demonstram dificuldade em reconhecer e quantificar os elementos químicos e suas respectivas massas molares, o que compromete a correta determinação das massas molares dos compostos.

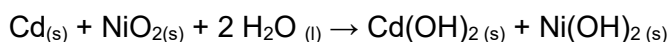
Cabe ressaltar que o cálculo de massa molar, a partir de fórmulas moleculares, envolve os níveis simbólico e submicroscópico do conhecimento químico (JOHNSTONE, 2010), o que permite inferir que as dificuldades apresentadas pelos alunos estão relacionadas a ambos os níveis de representação.

Por fim, a C4(1)SP2, refere-se aos alunos que não responderam à questão.

## Questão 2

O elemento cádmio é um dos componentes da pilha seca (bateria de níquel-cádmio) que quando descartado em lixo comum contamina o solo, os rios e o lençol freático, atingindo a flora e a fauna. A reação do cádmio com a água produz o hidróxido de cádmio II que se absorvida pelo organismo pode causar riscos à saúde. A partir da reação representada

abaixo, calcule a massa de cádmio necessária para produzir 5mg de  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ . Dados:  $\text{MM}_{\text{Cd}} = 112 \text{ g/mol}$ ;  $\text{MM}_{\text{Cd}(\text{OH})_2} = 146 \text{ g/mol}$ .



Para responder a esta questão, era necessária a interpretação da equação química e a análise da proporção estequiométrica para, então, realizar os cálculos. Ao analisarmos as respostas dos alunos, foram estabelecidas quatro categorias. A categoria C1(2)SP2, com apenas 2 respostas, aponta que os alunos realizaram o cálculo estequiométrico com base nas relações quantitativas entre as grandezas massa, mol e massa molar, conforme os exemplos de A31 e A49. Já na C2(2)SP2, com 8 respostas, verificamos que, os alunos não reconheceram as unidades de medida, como no caso de A21 e A23. A seguir, temos tais exemplos:

**A31:** “5 mg de  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  . (1 mol/146g) = 3,42 .  $10^{-5}$  mol      3,42 .  $10^{-5}$  . (1 mol de Cd) . 112 = 0,00383 g ou 3,83 mg. 0,56/146 = 0,0038 g/mol” C1(2)SP2;

**A49:** “0,56/146 = 0,0038 g/mol” C1(2)SP2;

**A21:** “0,56/146 = 0,0038” C2(2)SP2;

**A23:** “0,56/146 = 0,00383”. C2(2)SP2.

Considerando o reduzido número de respostas atribuídas a essas categorias, é possível indicar que, dentre as principais dificuldades encontradas pelos alunos, destacam-se a compreensão das relações estequiométricas entre as grandezas e o reconhecimento das unidades de medida, o que revela dificuldades de apropriação das linguagens química, física e matemática (PIO, 2006), com destaque para as linguagens física e matemática. Segundo Beltran e Ciscato (1999, p. 83), “a interpretação correta de uma equação de reação química é fundamental para o estudo dos cálculos que determinam as quantidades de substâncias envolvidas”.

A C3(2)SP2, composta por 21 respostas, demonstra resoluções incoerentes em relação ao cálculo estequiométrico, conforme os exemplos a seguir:

**A7:** “730/112 = 6,5” C3(2)SP2;

**A20:** “5/146 = 0,0342 g/mol      5/112 = 0,0446 g/mol” C3(2)SP2.

Por fim, a C4(2)SP2, refere-se aos alunos que não responderam à questão. Analisando as respostas apresentadas, é perceptível a dificuldade que os alunos

apresentam ao resolver um problema envolvendo estequiometria, uma vez que é necessário, antes de manipular os dados numéricos, compreender os conceitos subjacentes.

Esse processo exige uma compreensão integrada das linguagens química, física e matemática (Pio, 2006), além da capacidade de operar nos níveis simbólico e submicroscópico do conhecimento químico (Johnstone, 2010). A falta dessa compreensão pode justificar o elevado número de alunos que não responderam à questão, assim como a quantidade elevada de respostas incoerentes em relação à interpretação das relações estequiométricas entre as grandezas na reação.

### Questão 3

Quais características os metais pesados apresentam que os tornam tóxicos?

Para responder a esta questão é preciso conhecer as características de um metal pesado e sua capacidade de reação. O conceito de metal pesado, amplamente utilizado no cotidiano, está relacionado a substâncias tóxicas, devido às suas propriedades químicas, como massa atômica, número atômico e massa específica, o que justifica as respostas dos alunos que não relacionam a toxicidade à capacidade reativa dos metais. No entanto, concepções mais recentes incorporam aspectos ambientais e toxicológicos, ampliando a compreensão sobre esses elementos (Lima; Merçon, 2011). Tais conhecimentos estão relacionados aos níveis macroscópico, simbólico e submicroscópico do conhecimento químico (Johnstone, 2010).

Ao analisarmos as respostas dos alunos percebemos a emergência de três categorias. A C1(3)SP2 enquadra as respostas nas quais os alunos relacionam a toxicidade dos metais a sua capacidade reativa. Como exemplos, temos as respostas a seguir:

**A27:** “Os metais pesados são tóxicos devido à sua alta densidade e reatividade que pode causar danos às células e tecidos. Eles também têm a capacidade de se acumular no meio ambiente e nos organismos vivos, podendo causar efeitos negativos” C1(3)SP2;

**A45:** “As características químicas e físicas dos metais pesados, como alta densidade, reatividade, capacidade de acumulação e baixa biodegradabilidade, podem causar danos crônicos a saúde e ao meio ambiente tornando-os tóxicos e potencialmente perigosos” C1(3)SP2.

Enquanto a C1(3)SP2 apresentou 8 respostas, a C2(3)SP2 apontou que 34 alunos não relacionam a toxicidade dos metais à sua capacidade reativa, o que sugere dificuldades na linguagem química (Pio, 2006) e na articulação entre os três níveis do conhecimento químico. Como exemplos, temos as respostas a seguir:

**A6:** *“Uma massa atômica elevada, como, o mercúrio, o chumbo, entre outros, são elementos não degradáveis”* C2(3)SP2;

**A8:** *“Chumbo, mercúrio e o cádmio”* C2(3)SP2.

Por fim, a C3(3)SP2, refere-se aos 12 alunos que não responderam à questão.

#### Questão 4

Como as autoridades governamentais podem identificar a presença de metais pesados na água?

Analisando a questão 4, notamos a ocorrência de três categorias. A C1(4)SP2, com 16 respostas, revela que os alunos reconhecem a existência de análises laboratoriais para identificar e monitorar a presença de metais pesados na água, enquanto a C2(4)SP2, com 26 respostas, demonstra a falta dessa compreensão. Já a C3(4)SP2, refere-se aos 14 alunos que não responderam à questão.

A seguir, apresentamos os exemplos de respostas da C1(4)SP2 e C2(4)SP2:

**A3:** *“São alguns testes que são realizados, onde identificam metais pesados em proporções fora dos parâmetros permitidos”* C1(4)SP2;

**A42:** *“Podem identificar a presença de metais pesados na água por meio de análises químicas. É importante realizar esse monitoramento regularmente para proteger a saúde pública”* C1(4)SP2;

**A33:** *“Fazer com que os elementos abrasivos que tem no elemento sejam menos agressivos ao meio ambiente”* C2(4)SP2;

**A49:** *“Pois são insolúveis que ficam visíveis na superfície da água”* C2(4)SP2.

A contaminação da água por metais pesados é foco de grande preocupação por provocar sérios danos ao meio ambiente e à saúde de quem a consome. Mesmo em baixas concentrações, os efeitos toxicológicos e fisiológicos são severos (Nascimento; Barbosa, 2005). É possível perceber, por meio da análise das respostas, o desconhecimento dos alunos sobre a existência e a importância de análises laboratoriais da água, as quais permitem monitorar mudanças na concentração de metais pesados ao longo do tempo, identificar tendências e avaliar a eficácia das

medidas de controle, o que indica a necessidade de levar tais discussões para a sala de aula.

Essas discussões envolvem um conhecimento teórico sobre análises laboratoriais que possibilitam monitorar e quantificar os metais pesados em amostras de água, o que envolve as linguagens química, física e matemática (Pio, 2006), assim como os três níveis do conhecimento químico (JOHNSTONE, 2010). Neste caso, verificamos que a maioria dos alunos não apresenta tal conhecimento e, por isso, não conseguiram elaborar uma resposta coerente, o que denota dificuldades nas três linguagens e nos três níveis do conhecimento químico.

### Questão 5

Com base no problema ambiental ocasionado pelo descarte de metais pesados nas águas dos rios, identifique como a estequiometria pode contribuir com a implementação de medidas de controle e monitoramento a fim de minimizar os impactos ambientais e os problemas de saúde.

A questão 5 aborda conceitos relacionados às relações quantitativas em reações químicas, reagente limitante e em excesso e concentração. Para respondê-la era necessário compreender a utilização da estequiometria para cálculos de concentração e identificação de reagentes limitantes e em excesso em reações químicas, o que envolve as linguagens química, física e matemática (Pio, 2006) e dos níveis simbólico e submicroscópico do conhecimento químico (Johnstone, 2010).

Ao analisarmos a questão, notamos a ocorrência de três categorias. A C1(5)SP2, composta por 17 respostas, revela o entendimento dos alunos sobre as contribuições da estequiometria com base nas relações quantitativas entre a concentração dos reagentes (limitante e em excesso), como nos exemplos de A23 e A43. Essas respostas demonstram apropriação das linguagens química, física e matemática, bem como a articulação dos níveis simbólico e submicroscópico do conhecimento químico.

Todavia, a C2(5)SP2, composta por nove respostas, revela a não compreensão desses conceitos, com destaque para dificuldades acentuadas nas linguagens química e matemática, o que compromete a interpretação correta das relações estequiométricas e a integração dos diferentes níveis do conhecimento químico, como nas respostas de A24 e A38. A seguir, temos os exemplos mencionados:

**A23:** *“A estequiometria pode ajudar no controle em relação as quantidades de tais metais descartados incorretamente e também através do tratamento dos resíduos antes de serem descartados” C1(5)SP2;*

**A43:** *“A estequiometria é uma ferramenta útil para quantificação e o controle e descarte de metais pesados nas águas dos rios. Ela pode ajudar a determinar a quantidade de reagentes necessários para neutralizar ou remover compostos tóxicos, contribuindo para minimizar impactos ambientais e os problemas de saúde” C1(5)SP2;*

**A24:** *“As principais medidas que podem ser tomadas para diminuir o impacto ambiental, o reflorestamento das áreas desmatadas, a criação de um processo de depoluição dos rios, a aplicação do desenvolvimento sustentável” C2(5)SP2;*

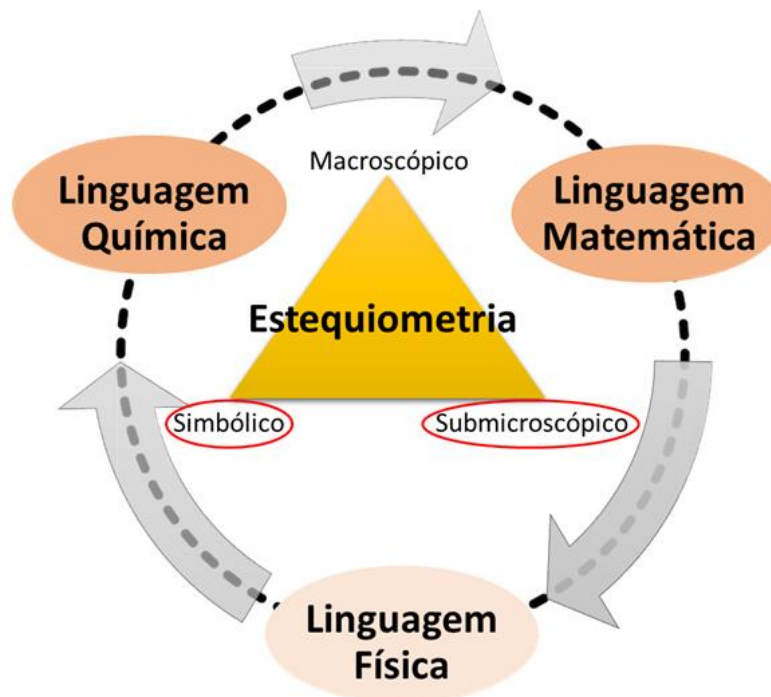
**A38:** *“Na redução de consumo de energia, redução de dejetos, toxicidade do uso de fontes não renováveis e de matéria-prima” C2(5)SP2.*

Analiticamente, identificamos como contribuições da estequiometria mencionadas pelos alunos, a importância da estequiometria no tratamento de resíduos, na quantificação e controle do descarte de metais pesados nas águas dos rios e na preservação do meio ambiente. Segundo Brown *et al.* (2016), a estequiometria é um estudo das relações quantitativas em fórmulas químicas, o que evidencia a dificuldade que muitos alunos apresentam na compreensão dos cálculos que envolvem quantidades de reagentes e produtos em uma reação química, conforme demonstrado nas respostas.

Por fim, a C3(5)SP2, refere-se aos alunos que não responderam à questão.

Com base nas discussões realizadas, elaboramos a Figura 3, a qual evidencia as dificuldades enfrentadas pelos alunos ao utilizarem as linguagens química, física e matemática (Pio, 2006) e ao transitarem entre os diferentes níveis do conhecimento químico (Johnstone, 2010) durante a resolução da situação-problema 2.

**Figura 3** – Linguagens exploradas pelos alunos na resolução da SP2



**Fonte:** Autoria própria (2025).

Assim como na SP1, é possível notarmos que, ao transitar pelos níveis do conhecimento químico e explorar as três linguagens, os alunos se deparam com dificuldades. A coloração de fundo nas linguagens química, física e matemática, conforme a Figura 3, indica o nível de dificuldade enfrentado em cada uma delas. Dessa forma, verificamos que as linguagens química e matemática destacaram-se em detrimento à linguagem física.

As principais dificuldades dos alunos residem na interpretação de fórmulas moleculares para o cálculo da massa molar; análise da proporção estequiométrica de uma equação química; conhecimento das características de um metal pesado; conhecimento de análises laboratoriais para monitorar a qualidade da água; e na utilização da estequiometria para cálculos de concentração e identificação de reagentes limitantes e em excesso em reações químicas. Verificamos, portanto, que o principal desafio enfrentado pelos alunos foi estabelecer conexões entre conceitos químicos e problemas estequiométricos.

No que diz respeito aos níveis do conhecimento químico, destaca-se, principalmente, o nível simbólico que envolve o reconhecimento de fórmulas e a interpretação de equações químicas, e, em menor destaque, o nível submicroscópico,

que diz respeito à compreensão a nível atômico-molecular do rearranjo entre os átomos em reações químicas e das propriedades dos metais pesados. Tais dificuldades comprometem a resolução de problemas, uma vez que tanto as representações simbólicas quanto os fenômenos na escala atômico-molecular são importantes para se compreender as propriedades dos materiais e interpretar as reações químicas de maneira correta.

#### 4.3 ANÁLISE PERCENTUAL DAS COMPREENSÕES DOS ALUNOS

No Quadro 4, apresentamos o percentual de alunos que apresentou alguma compreensão acerca dos conceitos investigados. Para a realização dos cálculos, tomamos como base o número de respostas alocadas na Categoria C1 de cada questão.

**Quadro 4** – Porcentagem de alunos que apresentaram compreensão dos conceitos investigados na situação-problema 1

| CONCEITO (QUESTÃO)                                                        | VALOR PERCENTUAL                     |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Relações quantitativas em cálculos químicos (1, 2)                        | 1 – 41,1%<br>2 – 5,3%                |
| Relações quantitativas em reações químicas (3b)                           | 3b – 14,28%                          |
| Massa (1, 2, 3b)                                                          | 1 – 41,1%<br>2 – 5,3%<br>3b – 14,28% |
| Mol (2, 3b)                                                               | 2 – 5,3%<br>3b – 14,28%              |
| Massa Molar (2, 3b)                                                       | 2 – 5,3%<br>3b – 14,28%              |
| Massa Molecular (2)                                                       | 2 – 5,3%                             |
| Fórmula molecular, fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão (3a) | 3a – 39,3%                           |

Fonte: Autoria própria (2024).

#### Relações quantitativas em cálculos químicos

As relações quantitativas em cálculos químicos descrevem as quantidades de reagentes e produtos em uma reação, fundamentadas nas leis da química, e são essenciais para determinar a quantidade de matéria consumida ou gerada, utilizando unidades como massa, volume ou número de entidades elementares (ATKINS; JONES, 2012).

As questões que abordam esse conceito são as de número 1 e 2. Enquanto a resolução da primeira questão não exigia cálculos, a segunda demandava o cálculo do número de mols de paracetamol contido em um comprimido de 500 mg. Observamos que 41,1% dos alunos demonstraram compreensão do conceito na primeira questão, ao passo que, na segunda, esse percentual reduziu-se para apenas 5,3%.

Com base em Pozo e Crespo (2009), podemos inferir que os alunos demonstraram mais dificuldade no raciocínio proporcional em relação ao raciocínio interpretativo. Segundo Lamon *apud* Costa (2007), o raciocínio proporcional está relacionado à habilidade de fazer análises conscientes da relação entre quantidades, o que é perceptível quando se analisa argumentos e explicações sobre as relações proporcionais.

Os autores Costa e Ponte (2008) enfatizam que o raciocínio proporcional é fundamental na resolução de problemas de muitas áreas do saber e se trata de um tópico que permite estabelecer conexões com o cotidiano dos alunos, com outros tópicos matemáticos e disciplinas, sendo um elemento importante da iniciação dos alunos ao pensamento algébrico.

### Relações quantitativas em reações químicas

As relações quantitativas em reações químicas descrevem as proporções entre reagentes e produtos, permitindo calcular a quantidade de uma substância a partir de outra, com base em equações químicas balanceadas. Essas relações são fundamentadas nas leis da Conservação de Massa e Energia, utilizando unidades como mols, massa, volume ou número de partículas (Brown; *et al.*, 2016).

A questão que aborda esse conceito é a 3b. Para resolvê-la era necessário realizar uma regra de três simples para calcular a massa de p-aminofenol a partir da massa de paracetamol, considerando a proporção estequiométrica das substâncias na equação química. Verificamos que apenas 14,28% dos alunos conseguiram

relacionar massa em grama e a massa molar, o que evidenciou dificuldade em realizar uma análise quantitativa de substâncias consumidas e produzidas na reação.

Dahsah e Coll (2008), ao analisarem as relações quantitativas estabelecidas pelos alunos, perceberam que apenas 3% de 97 deles conseguiram relacionar volume, mol e número de moléculas, enquanto 32% conseguiram relacionar o mol e o número de moléculas em uma reação. Percebemos uma relação entre tais resultados, o que revela a dificuldade dos alunos em relacionar matematicamente os conceitos.

O cálculo estequiométrico estabelece uma relação quantitativa entre a quantidade de reagentes e produtos em uma reação química. Pozo e Crespo (2009), analisam que, para o aluno aplicar as leis quantitativas da química e resolver problemas que envolvam cálculos matemáticos, ele precisa estabelecer estratégias mais ou menos complexas que permitam organizar os processos sucessivos para encontrar uma solução. Neste caso, podemos inferir que os alunos tiveram dificuldades em estabelecer estratégias para organizar as informações, relacioná-las e realizar os cálculos.

### Massa

A massa corresponde à medida da quantidade de matéria presente em um corpo. Trata-se de uma propriedade essencial da matéria, geralmente expressa em unidades como gramas ou quilogramas, sendo fundamental para o estudo das transformações químicas e para os cálculos envolvendo as leis ponderais (Feltre, 2011).

As questões que trazem esse conceito são a 1, a 2 e a 3b, com percentuais de compreensão do conceito de 41,1%, 5,3% e 14,28%, respectivamente. A resolução da primeira questão exigia uma análise quantitativa relacionada à dosagem de medicamentos e à estequiometria da reação; contudo, tratava-se de uma análise interpretativa, sem a necessidade de realizar cálculos.

Para a resolução da segunda questão, exigia-se que o aluno realizasse, inicialmente, uma conversão de unidades (mg para g) para, em seguida, calcular, por meio da regra de três simples, a massa referente aos medicamentos indicados na questão. Na questão 3b, o aluno necessitaria realizar cálculos iniciando com a análise estequiométrica da equação e, posteriormente, a conversão de unidades (mg para g). Então, após isso, realizar a regra de três simples e calcular a massa do p-aminofenol

a partir da massa do paracetamol.

Analisando as respostas das três questões, verificamos que, na primeira questão, os alunos apresentaram uma melhor compreensão em comparação às questões 2 e 3b, pois se trata de uma questão teórica, que não requer estabelecimento de relações quantitativas para ser resolvida. Percebemos que a maioria dos alunos apresentou dificuldades na compreensão das grandezas, não reconhecendo as unidades de medida (grama, mol, g/mol), não realizando assim, os cálculos químicos com base nas relações quantitativas envolvendo o conceito massa.

### Mol

O mol é a unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) empregada para quantificar a quantidade de substância. Define-se como a quantidade de matéria que contém exatamente  $6,022 \times 10^{23}$  entidades elementares, valor conhecido como número de Avogadro. As entidades elementares podem incluir átomos, moléculas, íons, elétrons ou outras partículas, dependendo da substância em análise (Brown; *et al.*, 2016).

As questões que abarcam esse conceito são a 2 e a 3b. As duas questões demandavam cálculos, porém a questão 3b, além do cálculo, exigia a análise estequiométrica da reação. Para a questão 2, que relaciona o número de mol à massa em grama do medicamento, verificamos que apenas 5,3% dos alunos a compreenderam, por sua vez, para a questão 3b, que relaciona o conceito mol à massa molar das substâncias, identificamos 14,28%.

Sendo assim, em ambas, notamos nas respostas a dificuldade e a falta de compreensão do conceito de mol mediante aplicação de leis quantitativas da química. Analisando as dificuldades dos conceitos envolvidos nessas leis, Pozo e Crespo (2009) expõem que o mol é o conceito-chave na maioria das leis quantitativas e, ao mesmo tempo, o principal entrave.

### Massa molar

A massa molar é definida como a massa de um mol de uma substância, expressa em gramas por mol (g/mol). Ela corresponde à massa de uma quantidade de matéria que contém exatamente  $6,022 \times 10^{23}$  entidades elementares, conforme o número de Avogadro (Brown; *et al.*, 2016).

O conceito massa molar foi abordado nas questões 2 e 3b. As duas questões envolviam cálculos com a massa molar das substâncias. A segunda questão solicitava o cálculo do número de mols de paracetamol para um comprimido de 500mg. Para o aluno resolver esse cálculo, exigia-se compreender o conceito de massa molar e relacioná-lo ao número de mol.

Para solucionar a terceira questão, era necessária a compreensão e interpretação da reação química descrita no problema para, então, realizar o cálculo utilizando as massas molares do p-aminofenol e do paracetamol. Analisando as respostas para as duas questões, verificamos a falta de compreensão do conceito envolvido no problema e a dificuldade em realizar os cálculos.

### Massa molecular

A massa molecular é a soma das massas atômicas dos átomos que constituem uma molécula, considerando as quantidades relativas de cada átomo conforme sua presença na fórmula molecular. Expressa-se em unidades de massa atômica (u). A massa molecular é uma medida da quantidade de matéria contida em uma molécula e está diretamente relacionada à sua composição atômica (BROWN; *et al.*, 2016).

O referido conceito foi abordado na questão 2, a qual requeria que o cálculo fosse realizado com a massa molecular do paracetamol, que foi informada no exercício. No entanto, mesmo assim, muitos alunos não a utilizaram ou não souberam relacioná-la às demais grandezas.

Diante disso, inferimos que os alunos apresentam compreensão limitada do conceito, uma vez que demonstraram dificuldades em estabelecer relações com os demais conteúdos envolvidos. A análise percentual da compreensão deles indicou que apenas 5,3% conseguiram estabelecer relações conceituais para resolver a questão. Esse dado corrobora os resultados encontrados por Dahsah e Coll (2008), nos quais apenas 10,3% de 97 alunos apresentaram uma compreensão sólida do referido conceito, enquanto 32% demonstraram compreendê-lo parcialmente.

### Fórmula molecular, fórmula estrutural e fórmula estrutural em bastão

Na Química, as fórmulas moleculares, estruturais e estruturais em bastão desempenham papéis fundamentais na representação e compreensão das substâncias químicas e suas interações. A fórmula molecular expressa a quantidade

exata de átomos de cada elemento em uma molécula, sem detalhar a sua disposição. A fórmula estrutural vai além, mostrando a conectividade dos átomos e suas ligações, oferecendo uma visão mais completa da estrutura molecular. Já a fórmula estrutural em bastão utiliza linhas para representar as ligações covalentes, proporcionando uma representação simplificada da molécula, com ênfase na disposição das ligações (Brown; *et al.*, 2016).

A questão que aborda esse conceito é a 3a, com um percentual de acertos de 39,3%. Verificamos que esta foi uma questão que os alunos tiveram menor dificuldade para responder, uma vez que a sua resolução exigia apenas a identificação da fórmula molecular a partir da fórmula estrutural de todos os compostos presentes na equação química. Ainda assim, trata-se de um valor percentual não tão expressivo, o que pode advir de dificuldades relacionadas aos conteúdos introdutórios de Química Orgânica, como cadeias carbônicas.

No Quadro 5 apresentamos o percentual de alunos que demonstraram alguma compreensão acerca dos conceitos investigados. Para a realização dos cálculos, tomamos como base o número de respostas alocadas na Categoria C1 de cada questão.

**Quadro 5 –** Porcentagem de alunos que apresentaram compreensão dos conceitos investigados na situação-problema 2

| CONCEITO / QUESTÃO                                | VALOR PERCENTUAL         |
|---------------------------------------------------|--------------------------|
| Relações quantitativas em cálculos químicos (1)   | 1 – 37,5%                |
| Relações quantitativas em reações químicas (2, 5) | 2 – 3,57 %<br>5 – 30,35% |
| Massa (2)                                         | 2 – 3,57%                |
| Massa atômica (1)                                 | 1 – 37,5%                |
| Mol (1, 2)                                        | 1 – 37,5%<br>2 – 3,57%   |
| Massa Molecular (1,2)                             | 1 – 37,5%<br>2 – 3,57%   |
| Reagente limitante e em excesso (5)               | 5 – 30,35%               |
| Concentração (4, 5)                               | 4 – 28,57%               |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
|                             | 5 – 30,35% |
| Reatividade de metais (3)   | 3 – 14,28% |
| Propriedades dos metais (3) | 3 – 14,28% |
| Cátions e ânions (3)        | 3 – 14,28% |
| Metais pesados (4)          | 4 – 28,57% |
| Análises laboratoriais (4)  | 4 – 28,57% |

Fonte: Autoria própria (2024).

### Relações quantitativas em cálculos químicos

As relações quantitativas em cálculos químicos descrevem as quantidades de reagentes e produtos em uma reação, fundamentadas nas leis da Química, sendo essenciais para determinar a quantidade de matéria consumida ou gerada, utilizando unidades como massa, volume ou número de entidades elementares (Atkins; Jones, 2012).

A questão que aborda esse conceito é a 1 e, para resolvê-la, exigia-se calcular a massa molar das substâncias  $\text{PbSO}_4$  e  $\text{HgCl}_2$ . Verificamos que 37,5% dos alunos apresentaram a resposta esperada, demonstrando compreensão do conceito, embora não tenham exposto o cálculo. Segundo Pozo e Crespo (2009), diante da necessidade de estabelecer uma certa quantificação, geralmente induzida pelo contexto escolar, os alunos recorrem às regras simplificadoras de caráter basicamente intuitivo e aproximativo.

### Relações quantitativas em reações químicas

As relações quantitativas em reações químicas descrevem as proporções entre reagentes e produtos, permitindo calcular a quantidade de uma substância a partir de outra, com base em equações químicas balanceadas. Essas relações são fundamentadas nas leis da Conservação de Massa e Energia, utilizando unidades como mols, massa, volume ou número de partículas (Brown; *et al.*, 2016).

As questões que abordam esse conceito são a 2 e a 5. Para resolver a questão 2, necessitava-se realizar uma regra de três simples para calcular a massa de cádmio a partir da massa de hidróxido de cádmio II, considerando a proporção estequiométrica das substâncias na equação química. Verificamos que somente 3,57% dos alunos

conseguiram interpretar a reação química e realizar o cálculo a partir da relação de massa em gramas e em quantidade de matéria, demonstrando dificuldade em analisar, quantitativamente, as substâncias envolvidas na reação.

De acordo com Pozo e Crespo (2009), a aplicação de cálculos estequiométricos em reações químicas, geralmente, apresenta dificuldades por parte dos alunos, como a confusão entre os coeficientes estequiométricos e os subíndices das fórmulas químicas ao se ajustar ou trabalhar com equações. Essa confusão pode levar à formulação de falsas leis de conservação ou à incapacidade de diferenciar, corretamente, entre relações em mols e em massas.

A questão 5 não requeria cálculo, mas demandava a compreensão dos conceitos relacionados à estequiometria como instrumento de controle e monitoramento na preservação ambiental. Nesta questão, verificamos que 30,35% dos alunos demonstraram compreensão no conceito envolvido, desenvolvendo o raciocínio proporcional, o qual permite estabelecer conexões com o cotidiano deles, com outros tópicos matemáticos e outras disciplinas, o que constitui um elemento importante da iniciação dos alunos ao pensamento algébrico (Ponte, 2006).

### Massa

A massa é uma propriedade física fundamental que expressa a quantidade de matéria contida em um corpo, medindo sua inércia. Expressa em unidades como gramas (g) ou quilogramas (kg), está relacionada à quantidade de partículas que compõem a substância (Feltre, 2011).

A questão que aborda esse conceito é a 2, com um percentual de compreensão de 3,57%. Para a solução dessa questão, os alunos necessitavam realizar, inicialmente, uma conversão de unidades (mg para g), para posteriormente calcular, por meio de regra de três simples, a massa referente às substâncias indicadas na questão. Analisando as respostas é notável a dificuldade dos alunos no reconhecimento e na conversão de unidades (mg e g), na compreensão das grandezas e na realização dos cálculos estequiométricos com base nas relações quantitativas envolvendo o conceito massa.

### Massa atômica

A massa atômica corresponde à massa de um átomo, expressa em unidades

de massa atômica (u). Uma unidade de massa atômica (1 u) é definida como um doze avos ( $1/12$ ) da massa de um átomo de carbono-12, o isótopo natural do carbono mais abundante, que possui seis prótons e seis nêutrons, totalizando um número de massa igual a 12 (Brown; *et al.*, 2016).

O conceito massa atômica é abordado na questão 1, a qual requer a utilização das massas atômicas para realizar o cálculo das massas molares das substâncias envolvidas. Dahsah e Coll (2008), em seu estudo sobre compreensão da estequiometria e conceitos relacionados, solicitaram que os alunos comparassem a massa de um átomo com a massa de C12. Apenas 10,3% de 97 alunos demonstraram compreensão do conceito, enquanto a maioria deles, 32%, apresentaram um entendimento parcial.

Na presente pesquisa, verificamos que 37,5% de 56 alunos demonstraram compreensão do conceito, ou seja, conseguiram se apropriar do conceito de massa atômica para calcular, de forma adequada, as massas molares das substâncias, um resultado similar ao identificado pelos autores.

### Mol

O mol é a unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) utilizada para expressar a quantidade de substância, correspondendo a um número fixo de entidades elementares. Define-se como a quantidade de matéria que contém exatamente  $6,022 \times 10^{23}$  entidades elementares, valor conhecido como número de Avogadro. As entidades elementares podem incluir átomos, moléculas, íons, elétrons ou outras partículas, dependendo da substância em análise (Brown; *et al.*, 2016).

As questões que contemplam esse conceito são a 1 e a 2 e, ambas, requeriam cálculos na sua resolução. Na questão 1, necessitava-se calcular a massa molar das substâncias com base na relação de massa em gramas (g) e em quantidade de matéria (mol). No que se refere à questão 2, além do cálculo, exigia-se a análise estequiométrica da reação.

Na primeira questão, identificamos que 37,5% dos alunos demonstraram compreender a relação do conceito mol à massa molar das substâncias. Entretanto, na segunda questão, verificamos que apenas 3,57% dos alunos evidenciaram tal compreensão. Dahsah e Coll (2008) identificaram, em seu estudo, que 36,1% de 97 alunos tiveram uma compreensão efetiva do conceito de massa em mol (massa

molar). Percebemos uma relação entre tais resultados, o que revela a dificuldade dos alunos em compreenderem os conceitos envolvidos, principalmente quando se trata do conceito de mol que, segundo Pozo e Crespo (2009), apesar de seu papel simplificador, parece ser obscuro e difícil de se compreender e de se aplicar para a maioria dos alunos, dificultando a compreensão de outros conceitos na Química.

### Massa molecular

A massa molecular é a soma das massas atômicas dos átomos que constituem uma molécula, considerando as quantidades relativas de cada átomo conforme sua presença na fórmula molecular e expressada em unidades de massa atômica (u). Assim, ela é uma medida da quantidade de matéria contida em uma molécula e está diretamente relacionada à sua composição atômica (BROWN; *et al.*, 2016).

O conceito foi abordado nas questões 1 e 2. A questão 1 requeria o cálculo da massa molecular das substâncias com base na massa atômica dos elementos e sua quantidade na fórmula molecular. Para a solução da questão 2, necessitava realizar o cálculo estequiométrico por meio de uma regra de três simples, com a massa molecular das substâncias envolvidas, a qual foi informada no exercício.

No entanto, muitos alunos não utilizaram a massa molecular das substâncias envolvidas ou não souberam relacioná-las às demais grandezas. A análise percentual das respostas, indicou que na primeira questão, 37,5% dos alunos demonstraram compreensão do conceito, enquanto na segunda questão, somente 3,57% deles conseguiram estabelecer relações entre os conceitos para resolver a questão.

### Reagente limitante e em excesso

O reagente limitante é aquele que, ao ser consumido totalmente durante a reação, determina a quantidade máxima de produto que pode ser formado. Por outro lado, o reagente em excesso, é aquele presente em quantidade superior à necessária para reagir completamente com o reagente limitante, permanecendo não consumido ao término da reação (Brown; *et al.*, 2016).

O referido conceito foi exposto na questão 5. A questão solicitava que os alunos identificassem como a estequiometria pode contribuir com a implementação de

medidas de controle e monitoramento, a fim de minimizar o problema ambiental ocasionado pelo descarte de metais pesados nas águas dos rios. A análise percentual da compreensão dos alunos indicou que 30,35% deles identificam e diferenciam reagente limitante e em excesso em uma reação química e estabelecem relações entre os conceitos envolvidos.

Segundo pesquisas sobre as dificuldades de ensino e de aprendizagem de conceitos relacionados à estequiometria, os alunos tendem a acreditar que a proporção de reagente e produto, em uma reação, é sempre um para um, ignorando o balanceamento das equações químicas, assim como o reagente limitante que é aquele com o menor coeficiente estequiométrico. Esses dados corroboram com os resultados obtidos nessa pesquisa, a qual indica que a maioria dos alunos demonstram compreensão sólida do referido conceito.

### Concentração

Na Química, a concentração é a medida da quantidade de soluto dissolvido em uma quantidade específica de solução, expressa geralmente em unidades como mol/L, porcentagem em massa ou volume (atkins; jones, 2012).

As questões que abordaram esse conceito são a 4 e a 5, com percentuais de compreensão do conceito de 28,57% e 30,35%, respectivamente. Para a solução das duas questões necessitava-se a compreensão do conceito, assim como estabelecer relações com a estequiometria. Analisando o percentual de compreensão do conceito envolvido, é perceptível a dificuldade dos alunos em compreender os aspectos quantitativos estabelecidos na questão. Pozo e Crespo (2009) afirmam que as dificuldades também surgem quando se trabalha com soluções, sendo preciso calcular, interpretar ou comparar concentrações.

### Reatividade dos metais, propriedades dos metais, cátions e ânions

A reatividade dos metais refere-se à sua tendência a reagir com substâncias como ácidos, água e oxigênio, variando de acordo com o metal, sendo mais reativos os metais como sódio e potássio, enquanto metais menos reativos, como ouro e platina, são mais estáveis. As propriedades dos metais incluem alta condutividade elétrica e térmica, maleabilidade, ductilidade, brilho metálico, alta densidade e elevados pontos de fusão e ebulição, sendo sólidos à temperatura ambiente, exceto

o mercúrio. Cátions são íons positivos formados pela perda de elétrons, enquanto ânions são íons negativos gerados pela aquisição de elétrons (Atkins; Jones, 2012).

A questão que relacionou esses conceitos é a 3. Para a solução, exigia-se identificar as características que os metais pesados apresentam e os tornam tóxicos. Analisando as respostas, verificamos que apenas 14,28% dos alunos compreendem os conceitos envolvidos e estabelecem relações entre eles. A maioria dos alunos não compreendem ou reconhecem as propriedades dos metais, limitando-se, também, a identificação de alguns metais.

### Metais pesados

Metais pesados são elementos químicos com alta densidade, geralmente tóxicos em baixas concentrações. Esses metais possuem potencial de acúmulo em organismos vivos, causando efeitos adversos à saúde e persistindo no ambiente (Atkins; Jones, 2012).

O conceito foi exposto na questão 4, a qual requeria que os alunos analisassem ações das autoridades governamentais para identificar a presença de metais pesados na água. Analisando as respostas, apenas 28,57% dos alunos compreendem o conceito envolvido. Essa questão, refere-se a um problema qualitativo que o estudante pode resolver por meio de raciocínios teóricos, baseando-se em seus conhecimentos, sem necessidade de recorrer a cálculos numéricos e manipulações experimentais (Pozo; Crespo, 2009). Mesmo se tratando de uma questão que estabelece relações entre o conteúdo específico de Química e o conhecimento de senso comum, 26 dos 56 alunos não compreendem o conceito e 14 não responderam, o que demonstra a dificuldade e/ou resistência deles em expor suas ideias e refletir sobre o seu significado. Isso revela, também, a importância e necessidade de o professor incentivar e motivar os alunos a dialogarem em sala de aula.

### Análises laboratoriais

A análise laboratorial consiste na investigação da composição e propriedades de substâncias por meio de técnicas e métodos químicos, visando quantificar e qualificar seus componentes, sendo aplicada em áreas como controle de qualidade, pesquisa, análise ambiental e diagnóstico clínico (Silva; Costa, 2018).

A questão que abordou o referido conceito é a 4. O percentual de compreensão para esse conceito foi de 28,57%, demonstrando que a maioria dos alunos não reconhece a importância e a necessidade de análises laboratoriais para a detecção de metais pesados na água.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do objetivo de identificar e analisar as compreensões de alunos da 3ª série do Ensino Médio sobre conceitos de estequiometria na resolução de situações-problema, percebemos que os alunos demonstram maior facilidade na compreensão de conceitos quando abordados de forma isolada, mas possuem dificuldade em estabelecer relações entre eles, especialmente quando exigem o raciocínio proporcional e o estabelecimento de relações estequiométricas em reações químicas. Observamos, por exemplo, um número significativamente menor de acertos nas questões que envolviam cálculos quantitativos em comparação às questões teóricas sobre os mesmos conceitos.

No caso da SP1, que apresentava mais questões envolvendo cálculos matemáticos, analisamos que as dificuldades dos alunos se acentuaram na linguagem matemática e no nível simbólico do conhecimento químico. No que condiz à SP2, que envolvia mais questões teóricas, observamos que as dificuldades dos alunos se evidenciaram nas linguagens química e matemática, assim como nos níveis simbólico e submicroscópico do conhecimento químico. Isso indica que o aspecto central das dificuldades dos alunos está na conexão entre a linguagem matemática e a química, ou seja, em articular os conhecimentos químicos e matemáticos para a solução dos problemas.

A análise percentual da situação-problema 1 (SP1) revelou que, na primeira questão, 41,1% dos alunos associaram a estequiometria à dosagem de medicamentos, enquanto 53,6% não realizaram essa associação. Na segunda questão, apenas 5,3% dos alunos foram capazes de estabelecer relações quantitativas entre os conceitos, ao passo que 48,21% não conseguiram fazê-lo. Quanto à questão 3a, 39,3% dos alunos representaram corretamente as fórmulas moleculares e estruturais, enquanto 42,8% apresentaram erros nessa representação. Na 3b, 14,28% dos alunos conseguiram estabelecer relações quantitativas na reação química, ao passo que 42,8% não obtiveram êxito nesse aspecto.

No que condiz a análise percentual da SP2, identificamos que, na primeira questão, 37,5% dos alunos conseguiram estabelecer relações quantitativas entre os conceitos, enquanto 44,7% não tiveram êxito; na segunda questão, 3,57 % dos alunos conseguiram estabelecer relações quantitativas em reações químicas, no entanto, 51,8% não demonstraram esse conhecimento.

Na terceira questão, 14,28% dos alunos conseguiram relacionar a toxicidade dos metais à sua capacidade reativa, enquanto 60,71% não estabeleceram essa conexão. Na quarta questão, 28,57% dos alunos reconheceram a existência de análises laboratoriais voltadas à identificação e ao monitoramento da presença de metais pesados na água, ao passo que 46,43% não demonstraram esse conhecimento. Já na quinta questão, 30,35% dos alunos identificaram as contribuições da estequiometria com base nas relações quantitativas, enquanto 16,07% não evidenciaram tal compreensão.

Dessa forma, os resultados obtidos corroboram os achados da literatura no que se refere às dificuldades enfrentadas pelos alunos na aprendizagem dos conceitos de estequiometria. Além disso, revelam que tais dificuldades circundam pelas linguagens química, física e matemática e pelos níveis submicroscópico, simbólico e macroscópico, com destaque para a linguagem matemática, assim como para o nível simbólico.

Essa constatação foi evidenciada tanto na análise da SP1 quanto da SP2. Diante disso, reafirmamos a necessidade de abordar a estequiometria por meio da articulação entre a linguagem matemática e o nível simbólico. Para que isso ocorra de forma significativa, é fundamental a adoção de metodologias que favoreçam a participação ativa dos alunos, como a resolução de problemas, a experimentação investigativa, as sequências didáticas de caráter investigativo, os três momentos pedagógicos, entre outras estratégias que visem a promoção e a construção do conhecimento de maneira contextualizada e reflexiva.

Além disso, este estudo defende a Resolução de Problemas (RP) como eixo estruturante da proposta e do Produto Educacional, por favorecer o protagonismo do aluno, estimular a investigação e possibilitar a superação de obstáculos conceituais. As situações-problema cumprem, nesse sentido, uma função essencial: aproximam o conteúdo da realidade dos alunos, vinculando-o a temas sociais relevantes, como saúde, meio ambiente e segurança. Essa contextualização amplia o potencial das SP, pois além de apoiar a aprendizagem de um conteúdo reconhecidamente difícil, promove também a formação crítica e cidadã.

Outro aspecto a destacar é a utilização de uma ferramenta analítica desenvolvida especificamente para este trabalho, que consistiu em integrar dois referenciais teóricos: o triângulo de Johnstone (2010), que contempla os níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico do conhecimento químico; e as

linguagens destacadas por Pio (2006) – química, física e matemática. Essa integração possibilitou analisar como os alunos transitam entre diferentes representações e linguagens ao resolverem as situações-problema. Assim, a ferramenta não se limita a verificar acertos e erros, mas permite compreender as estratégias de pensamento dos alunos, identificar suas dificuldades e orientar a proposição de práticas pedagógicas mais eficazes. Por fim, reconhecemos algumas limitações desta investigação, como o tempo restrito de aplicação das atividades e o fato de nem todos os alunos terem respondido as situações-problema que reduziu a possibilidade de aprofundamento e acompanhamento contínuo, bem como a não aplicação da SP3 no período investigativo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. M. **Uma proposta de abordagem no ensino de cálculo estequiométrico para o ensino de Química básica**. Orientadora: Carla de Moura Martins. 2018. 39 f. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto Federal Goiano, Morrinhos, 2018.

ASSAI, N. D. S.; BEDIN, E. Resolução de problemas no ensino de Química: uma revisão integrativa. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 24, n. 82, p. 1104-1120, 2024.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BATINGA, V. T. S. **A Abordagem de resolução de problemas por professores de Química do ensino médio**: um estudo sobre o conteúdo de estequiometria. Orientadora: Francimar Martins Teixeira. 2010. 283 f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

BATINGA, V. T. S.; TEIXEIRA, F. M. O que pensam os professores de química do Ensino Médio sobre o conceito de problema e exercício. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7., 2009, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABRAPEC, 2009.

BELTRAN, N. O.; CISCATO, C. A. M. **Química**. São Paulo: Cortez, 1999.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em Educação**. Porto: Porto Editora, 1994.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**: Educação é a base. ensino médio. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 01 nov. 2024.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: ensino médio. Brasília, DF: Secretaria de Educação Média e Tecnológica; MEC, 2002.

BRASIL. **Orientações curriculares para o ensino médio**: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília, DF: Secretaria de Educação Básica; MEC, 2006.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E.; MURPHY, C. J.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M. W. **Química**: a ciência central. 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

BRUFREM, L. S.; SAKAKIMA, A. M. O ensino, a pesquisa e a aprendizagem baseada em problemas. **Transinformação**, Campinas, v.15, n.3, p. 351-361, dez. 2003.

CANAL, R.; MORAES, J. A. Movimentos contemporâneos. **Revista Filosofia ciência e vida**, São Paulo, p. 56-65, fev. 2014.

CARDOSO, S. P.; COLINVAUX, D. Explorando a motivação para estudar química. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 401-404, 2000.

CARLETTO, B. M.; MENDES, A. N. F.; BIANCO, G. Aprendizagem baseada em problema: aplicação e avaliação desta metodologia para o ensino de estequiometria. *In*: FREITAS, J. C. R.; FREITAS, L. P. S. R. (Org.). **Atividades de ensino e de pesquisa em Química**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 48-61.

CAZZARO, F. Um experimento envolvendo estequiometria. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 10, p. 53-54, nov. 1999.

CYRINO, E. G.; TORALLES-PEREIRA, M. L. Trabalhando com estratégias de ensino-aprendizado por descoberta na área da saúde: a problematização e a aprendizagem baseada em problemas. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, jun. 2004.

COSTA, S. C. H. C. **O raciocínio proporcional dos alunos do 2º ciclo do ensino básico**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007.

COSTA, S.; PONTE, J. P. O raciocínio proporcional dos alunos do 2º ciclo do ensino básico. **Revista da Educação**, v. 16, n. 2, p. 65-100, 2008.

COSTA, E. T. H.; ZORZI, M. B. Uma proposta de ensino diferenciada para o estudo da estequiometria. *In*: CONGRESSO PARANAENSE DE EDUCAÇÃO QUÍMICA, 1, 2009, Londrina. **Anais....** Londrina: UEL, 2009.

DAHSAH, C.; COLL, R. K. Thai grade 10 and 11 students' understanding of stoichiometry and related concepts. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 6, n. 3, p. 573-600, 2008.

FELTRE, R. **Química**: Química geral. São Paulo: Moderna, 2011. v. 1.

FERNANDES, C. G. **A metodologia de resolução de problemas como estratégia para desenvolver habilidades cognitivas de alta ordem nas aulas**: o que pensam os professores de Química? Orientadora: Maria Eunice Ribeiro Marcondes. 2022. 204 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

FERNANDES, L. S.; CAMPOS, A. F. Tendências de pesquisa sobre a resolução de problemas em Química. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 16, n. 3, p. 458-482, 2017.

FLICK, U. **Introdução à pesquisa qualitativa**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GIL-PÉREZ, D.; MARTÍNEZ TORREGROSA, J.; SEMENT PÉREZ, R. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência e Ensino**, n. 10, p. 9-21, 1988.

GOI, M. E. J.; SANTOS, F. M. T. Dos. Reações de combustão e impacto ambiental por meio de resolução de problemas e atividades experimentais. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 203-209, ago. 2009.

GOMES, R. S.; MACEDO, S. da H. Cálculo estequiométrico: o terror nas aulas de Química. **Vértices**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 149-160, 2007.

HUNG, W. Theory to reality: a few issues in implementing problem-based learning. **Educational Technology Research and Development**, v. 57, p. 529-552, 2009.

JOHNSTONE, A. H. You Can't Get There from Here. **Journal of Chemical Education**, Washington, DC, v. 87, n. 1, p. 22-29, 2010.

KEMPA, R. Students learning difficulties in science: causes and possible remedies. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 9, n. 2, p. 119-128, 1991.

KUO, H.; CHANG, Y. A practical approach to teaching stoichiometry through real-life examples. **Journal of Chemical Education**, v. 86, n. 8, p. 952-956, 2009.

LE MAIRE, N.; VERPOORTEN, D.; FAUCONNIER, M. L.; COLAUX-CASTILHO, C. Clash of chemists: A gamified blog to master the concept of limiting reagent stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 95, n. 3, p. 01-18, 2018.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais pesados no ensino de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 4, nov. 2011.

LIVRAMENTO, P. C. C.; SOUZA, K. F.; MALTA, S. H. S. A resolução de problemas como subsídio didático para o conteúdo de cálculo estequiométrico. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5., 2018, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande, PB, Realize Editora, 2018.

LOPES, J. B. **Resolução de problemas em Física e Química**: modelo para estratégias de ensino aprendizagem. Lisboa: Texto Editora, 1994.

MACHADO, S.; GLUGOSKI, L. P.; PAIVA, C.; GALVÃO, D. S.; RAMOS, E. S. Ensino de Cálculo Estequiométrico a partir de uma perspectiva contextualizada. *In*: ENCONTRO PAULISTA DE PESQUISA EM ENSINO DE QUÍMICA, 7., 2013, Santo André, SP. **Anais...** Santo André, SP: UFABC, 2013.

MENDOZA, M. C. M. **Ensino por investigação**: fundamentos e práticas. São Paulo: Cortez, 2009.

NASCIMENTO, S. A. M; BARBOSA, J. S. F. Qualidade da água do aquífero freático no alto cristalino de Salvador, Bacia do rio Lucaia, Salvador, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 543-550, 2005.

PINHEIRO, N. A. M.; MATOS, E. A. S. Á.; BAZZO, W. A. Refletindo acerca da ciência, tecnologia e sociedade: enfocando o ensino médio. **Revista Ibero-Americana de Educação**, Araraquara, n. 44, p. 147-165, 2007.

PIO, J. M. **Visão de alunos do ensino médio sobre dificuldades na aprendizagem de Cálculo Estequiométrico**. 2006. 33 f. Monografia (Graduação de Licenciatura em Química) – Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

POLYA, G. **A arte de resolver problemas**. Trad. de Heitor Lisboa de Araújo. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006.

PONTE, J. P. Números e álgebra no currículo escolar. *In*: Vale, I.; Pimentel, T.; Barbosa, A.; Fonseca, L.; Santos, L.; Canavarro, P. (Ed.). **Números e álgebra na aprendizagem da Matemática e na formação de professores**. Lisboa: SEM-SPCE, 2006. p. 5-27.

POZO, J. I. **Aprendizes e mestres**: a nova cultura da aprendizagem. Porto Alegre: Artmed, 2002.

POZO, J. I. M.; CRESPO, M. Á. G. **Aprender y enseñar ciencia**: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Madrid: Morata, 1998.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **Aprendizagem e o ensino de Ciências**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296p.

POZO, J. I.; POSTIGO, A. M. **A solução de problemas**: aprender a resolver, resolver para aprender. Porto Alegre: Artmed, 1993.

RIBEIRO, L. R. C. **Aprendizagem baseada em problemas (PBL)**: uma experiência no ensino superior. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2008. 151 p.

RIBEIRO, L. M.; PASSOS, N. C.; SALGADO, I. A abordagem de ensino por investigação nas práticas pedagógicas. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 1-26, 2020.

RIZZATTI, I. M.; MENDONÇA, A. P.; MATTOS, F.; RÔÇAS, G.; SILVA, M. A. B. V.; CAVALCANTI, R. J. S.; OLIVEIRA, R. R. Os produtos e processos educacionais dos programas de pós-graduação profissionais: proposições de um grupo de colaboradores. **ACTIO**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1-17, 2020.

SANTOS, L.C. dos. **Dificuldades de aprendizagem em estequiometria**: uma proposta de ensino apoiada na modelagem. Orientadora: Márcia Gorette Lima da Silva. 2013. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais e Matemática) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

SANTOS, L. C. dos; SILVA, M. G. L. da. Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 16, n. 1, p. 133-152, 2014.

SCHMIDT, H. Watch out for “Red Herrings”: Pupils misunderstanding of concepts in (chemical) stoichiometry diagnosed by incorrect responses to multiple-choice questions. **The School Science Review**, Londres, v. 67, n. 241, p. 759-62, 1986.

SALES, A. M. V. M. **A Resolução de Problemas na Formação Inicial de Professores de Química**. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, F. S. da; CATELLI, F. Os modelos na ciência: traços da evolução histórico-epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 4, p. e20190029, 2019.

SILVA, M. S.; COSTA, M. L. **Química analítica: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2018.

SILVA, S. P.; BATINGA, V. T. S. Ensino e aprendizagem baseados na resolução de problemas: um processo formativo no mestrado em ensino das ciências. *In*: CAMPOS, A. F.; BATINGA, V. T. S. B. (Org.). **Experiências de pesquisa sobre resolução de problemas no ensino das ciências**. Recife: Edupe, 2022. p. 137-162.

SOUZA, N. P. C. de; VALENTE, J. A. S. Debatendo a eficiência da metodologia da aprendizagem baseada em problemas: uma proposta de solução: a transição de metodologias. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia-SP. **Anais...** Águas de Lindóia: ENPEC, 2013.

SOUZA, Yrailma; BATINGA, Veronica. A resolução de problemas no ensino de Química: possibilidade para promoção da autorregulação de aprendizagem. **International Journal Education and Teaching**, (PDVL), v. 6, p. 36-51, 2023.

VIGOTSKI, L. S.; **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

YARROCH, W.L. Students understanding of chemical equation balancing. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 22, n. 5, p. 449-459, 1985.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

### Situação-problema 1 – Medicamentos

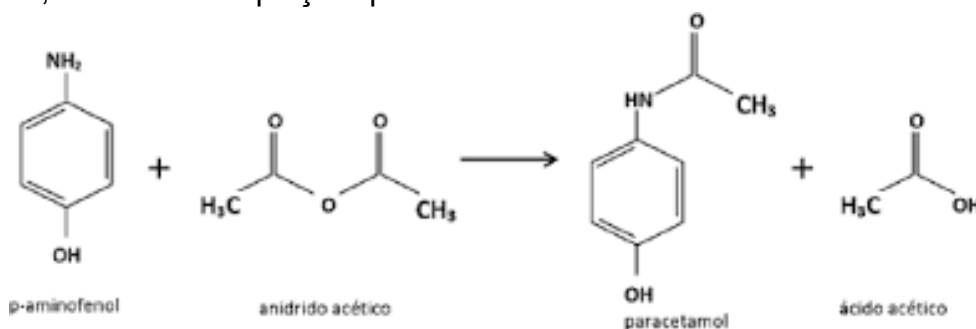
A dosagem correta de medicamentos é extremamente importante para garantir que o paciente receba a quantidade apropriada para o tratamento da sua condição médica. Nesse sentido, é essencial que a reação química do medicamento no organismo seja adequada e que não haja excesso ou falta do medicamento no corpo. A dosagem incorreta pode levar a efeitos colaterais graves e até mesmo colocar a vida do paciente em risco. Existem muitos fatores que podem afetar a dosagem de um medicamento, incluindo a idade do paciente, peso, sexo, condições médicas subjacentes e outros medicamentos que o paciente está tomando. Por isso, é importante que os profissionais de saúde prescrevam a dosagem considerando todos os fatores relevantes. Além disso, é importante que os pacientes sigam as instruções cuidadosamente, incluindo a frequência e o horário de administração.



Existem muitos fatores que podem afetar a dosagem de um medicamento, incluindo a idade do paciente, peso, sexo, condições médicas subjacentes e outros medicamentos que o paciente está tomando. Por isso, é importante que os profissionais de saúde prescrevam a dosagem considerando todos os fatores relevantes. Além disso, é importante que os pacientes sigam as instruções cuidadosamente, incluindo a frequência e o horário de administração.

Analise a seguinte situação: Um paciente com dor de cabeça forte decide tomar um analgésico sem prescrição médica. Ele toma 3 comprimidos do analgésico de 500mg sendo que a dosagem recomendada para um adulto é de apenas 500mg. Como resultado, ele apresenta sintomas como náuseas, tontura e visão turva. O paciente precisou ser levado ao hospital, onde foi tratado e monitorado para evitar complicações. Diante da situação apresentada, responda:

1. Qual é a relação da estequiometria com a dosagem de medicamentos?
2. Considere que o medicamento ingerido pelo paciente seja o paracetamol, um fármaco com potente ação analgésica e antitérmica, que em excesso pode causar intoxicação. Sabendo que a dose adequada para um adulto com febre é de 500mg, calcule quantos mols de paracetamol há em um comprimido. Dados: Massa molar do paracetamol ( $C_8H_9O_2N$ ) = 151g/mol;
3. O paracetamol é sintetizado a partir da reação do p-aminofenol com anidrido acético, conforme a equação química abaixo.



Devido às suas aplicações farmacológicas, o paracetamol é utilizado na forma de comprimidos, nos quais se emprega tipicamente uma massa de 500mg dessa substância.

- a) Escreva a fórmula molecular de todos os compostos presentes na equação química;
- b) Sabendo que a dose diária máxima de paracetamol é de 4000mg, calcule a massa de p-aminofenol utilizada para fabricar a quantidade de comprimido recomendada na dose diária. Dados: Massa molar do p-aminofenol = 109g/mol; massa molar do paracetamol = 151g/mol.

## APÊNDICE B

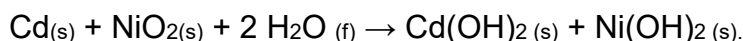
### Situação-problema 2 – Meio Ambiente

Algumas atividades humanas vêm aumentando os níveis de metais pesados nos ecossistemas aquáticos naturais. A principal fonte de contaminação das águas de rios são metais pesados, como o chumbo, o mercúrio e o cádmio, que são liberados no meio ambiente por fontes como a mineração e a indústria. Esses metais são substâncias tóxicas que podem ter efeitos negativos na saúde humana, na fauna e flora aquática. Quando esses metais são liberados no rio, eles podem reagir com compostos presentes na água e formar sais insolúveis, como o sulfato de chumbo II ( $\text{PbSO}_4$ ) e o cloreto de mercúrio II ( $\text{HgCl}_2$ ).

Para prevenir a contaminação dos rios por metais pesados, é importante que as empresas sigam as regulamentações e os padrões ambientais. As autoridades governamentais também devem realizar monitoramento regular da qualidade da água e aplicar punições severas para aqueles que violam as leis ambientais. Além disso, é importante que os indivíduos façam a sua parte, reduzindo a produção de lixo, fazendo o descarte correto de resíduos e evitando o uso de produtos químicos tóxicos que possam acabar nos rios.



1. Calcule a massa molecular do: sulfato de chumbo II ( $\text{PbSO}_4$ ) e cloreto de mercúrio II ( $\text{HgCl}_2$ );
2. O elemento cádmio é um dos componentes da pilha seca (bateria de níquel-cádmio) que, quando descartado em lixo comum, contamina o solo, os rios e o lençol freático, atingindo a flora e a fauna. A reação do cádmio com a água produz o hidróxido de cádmio II que se absorvida pelo organismo pode causar riscos à saúde. A partir da reação da bateria de níquel-cádmio, calcule a massa de cádmio necessária para produzir 5mg de  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ . Dados: Massa molar do  $\text{Cd} = 112 \text{ g/mol}$ , massa molar do  $\text{Cd}(\text{OH})_2 = 146 \text{ g/mol}$ ;



3. Quais características os metais pesados apresentam que os tornam tóxicos?
4. Como as autoridades governamentais podem identificar a presença de metais pesados na água?
5. Com base no problema ambiental ocasionado pelo descarte de metais pesados nas águas dos rios, identifique como a estequiometria pode contribuir com a implementação de medidas de controle e monitoramento a fim de minimizar os impactos ambientais e os problemas de saúde.