



APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO CONCEITO DE ESTEQUIOMETRIA DO REAGENTE LIMITANTE: RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS ENVOLVENDO RECEITAS CULINÁRIAS E REAÇÕES QUÍMICAS

MEANINGFUL LEARNING OF CONCEPT LIMITANT REAGENT STOICHIOMETRY: PROBLEM RESOLVING INVOLVING CULINARY RECIPES AND CHEMICAL REACTIONS

Daniele Trajano Raupp  

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

✉ daniele.raupp@ufrgs.br

Franciele Tatiana Haupt  

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

✉ fran.haupt@hotmail.com

Fabrina Bentlin  

Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (LIBERATO)

✉ fabrina@liberato.com.br

Caroline da Silva Gomes  

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

✉ carolaine.gomes@ufcspa.edu.br

Lara Colvero Rockenbach  

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

✉ profelaraqmc@gmail.com

RESUMO: O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de estudantes na resolução de cálculos envolvendo o conceito de reagente limitante estudados em estequiometria a partir da implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). A estequiometria é considerada um dos tópicos de difícil compreensão, em função da mecanização da resolução dos problemas gerada pelo enfoque no aspecto matemático, em detrimento de uma interpretação mais abrangente envolvendo aspectos químicos e físicos. Essa mecanização se opõe à teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel que considera que novos conhecimentos interagem com conhecimentos prévios, portanto, é fundamental estabelecer relações com as quais o aluno já teve contato. Buscando superar as dificuldades de aprendizagem foi elaborada uma UEPS, e aplicada em uma turma de vinte e três alunos do ensino profissionalizante técnico em química, em uma escola pública da Região Metropolitana de Porto Alegre. A pesquisa, caracterizada como pesquisa de intervenção exploratória, teve como um dos instrumentos de coleta de dados um teste com questões envolvendo receitas culinárias e questões clássicas de cálculo estequiométrico, com foco no conceito de reagente limitante. Buscou-se identificar e categorizar, utilizando os pressupostos da análise de conteúdo de Bardin, os erros cometidos na resolução. Essa análise indica que as dificuldades não estão relacionadas apenas com a falta de domínio das linguagens matemática, física e química, já que um número expressivo de erros foi relacionado com incapacidade de interpretar e compreender os problemas propostos, evidenciando a clara necessidade do uso de estratégias de compreensão leitora durante o ensino de ciências.

PALAVRAS-CHAVE: Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. Compreensão Conceitual. Ensino de Química.

ABSTRACT: The development of this work aimed to analyse the performance of students in solving problems involving the concept of limiting reagent obtained from the implementation of a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMTU). Stoichiometry is considered one of the topics that are difficult to understand, due to the mechanization of problem solving generated by the focus on the mathematical aspect instead of a more comprehensive interpretation involving chemical and physical aspects. Such mechanization opposes to David Ausubel's theory of meaningful learning, which considers that new knowledge interacts with previous knowledge, therefore, it is essential to establish relationships with what the student already knows. Seeking to overcome the learning difficulties, the PMTU was elaborated and applied to a group of twenty-three students of technical vocational education in chemistry, in a public school in the Metropolitan Region of Porto Alegre. The research characterized as an exploratory intervention research had as one of the data gathering instruments a test with questions involving cooking recipes and classic questions of stoichiometric calculation, focusing on the concept of limiting reagent. We sought to identify and categorize, using the assumptions of Bardin's content analysis, the errors made in the resolution. This analysis indicates that the difficulties are not only related to the lack of mastery of mathematical, physical and chemical languages, as a significant number of errors was related to the inability to interpret and understand the proposed problems, highlighting the clear need to use strategies of reading comprehension during science teaching.

KEY WORDS: Potentially Meaningful Teaching Units. Conceptual Understanding. Chemistry Teaching.

Introdução

O conceito de estequiometria (do grego *stoicheion* = elemento, e *metria* = medida) é a base para o entendimento da diferença entre a química quantitativa e a qualitativa. (Mendes, Santana & Pessoa Júnior, 2017). É o campo da química "que lida com as relações quantitativas das transformações químicas que estão implícitas nas fórmulas e nas equações químicas" (Santos & Silva, 2014, p.134). O entendimento desse conceito está diretamente relacionado à compreensão de vários fenômenos científicos, tecnológicos e cotidianos.

A estequiometria das reações é considerada um dos tópicos mais difíceis de serem compreendidos, principalmente em situações nas quais as condições de reação não são estequiométricas, como é o caso da denominada "estequiometria do reagente limitante" (Kalantar, 1985; Le Marie, Verpoorten, Fauconnier & Colaux-Castillo, 2018). O reagente completamente consumido primeiramente em uma reação é chamado de reagente limitante e esse determina, ou limita, a quantidade de produto formado (Brown, LeMay & Bursten, 2005). Isso acontece porque os produtos químicos reagem de acordo com razões molares fixas, em outras palavras, eles reagem estequiometricamente (Sostarecz & Sostarecz, 2012; Tro, 2011).

Em função de tais dificuldades, pesquisadores se dedicam a compreender as razões pelas quais os estudantes cometem equívocos ao aplicar conceitos em estequiometria (Bou Jaoude & Barakat, 2003, Tóth & Sebéstyen, 2009). Tais dificuldades estão relacionadas à diversos fatores: falta de domínio das linguagens matemática (aritmética e proporção), física (unidades de medida) e química (simbologia, grandezas e equações químicas) (Pio-Venâncio, 2006); utilização de diferentes grandezas simultaneamente, como massa, volume e número de mols (Costa & Zorzy, 2009; Costa & Souza, 2013; Machado, Glugoski, Paiva, Galvão & Ramos 2013); à dificuldade da compreensão do conceito de mol ou quantidade de matéria (Fang, Hart & Clarke, 2014; Johnstone, Morrison & Sharp, 1971; Novick & Menis, 1976; Rogado, 2004) e cálculos envolvendo a constante de Avogadro (Leonard, 2011; Pekdağ & A zizoğlu, 2013; Rogado, 2005). Ademais as concepções alternativas sobre reação química e a falta de uma compreensão conceitual (Batinga & Teixeira, 2014), bem como a forma de abordagem, com enfoque matemático em detrimento de uma interpretação química, que pode levar a uma mecanização dos procedimentos para a solução de problemas (Costa & Souza, 2013).

Essa mecanização dos procedimentos se opõe à aprendizagem significativa que, segundo David Ausubel (2012), ocorre na medida em que as ideias expressas simbolicamente interagem de forma substantiva (não literal) e não arbitrária com o que o indivíduo já sabe, os chamados

subsunçores (Moreira, 2011). A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel está fundamentada na aquisição de novos conhecimentos a partir de um material potencialmente significativo e para que isso ocorra são necessárias duas condições: que o próprio material de aprendizagem possa permitir essa interação não arbitrária; e que a estrutura cognitiva do aprendiz contenha ideias relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. Quando o aluno não dispõe de subsunçores adequados para a ancoragem da nova informação, pode-se recorrer aos organizadores prévios, um recurso utilizado antes da abordagem do conceito, com um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação a esse. Podem também ser usados para auxiliar os alunos a perceberem a relação entre os novos conhecimentos e os seus conhecimentos prévios (Moreira, 2011), e o objetivo é de modificar o modelo de ensino, baseado na memorização dos conteúdos e que proporciona uma aprendizagem puramente mecânica. Desse modo, Moreira (2011) propõe a construção de uma proposta de ensino denominada de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), que são pautadas em teorias de aprendizagem cognitivistas. Neste contexto, esse trabalho tem como questão de pesquisa: Como o uso de uma UEPS utilizando receitas culinárias como organizadores prévios pode atenuar as dificuldades de aprendizagem em estequiometria?

O objetivo geral deste trabalho é analisar o desempenho de estudantes na resolução de cálculos envolvendo o conceito de reagente limitante estudados em estequiometria, a partir da implementação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

As Dificuldades de Aprendizagem em Estequiometria

Os estudantes precisam dominar uma vasta quantidade de conceitos para resolver questões comuns de estequiometria, tais quais os símbolos dos elementos, a terminologia reacionária, as equações químicas de reação de equilíbrio, o conceito de mol, a constante de Avogadro, as proporções estequiométricas ou mesmo álgebra (Leonard, 2011). Santos e Silva (2014) apontam como principais causas na resolução de problemas estequiométricos a dificuldade de abstração e transição entre os níveis de representação da matéria; a confusão na grandeza da constante de Avogadro (talvez um dos conceitos menos compreendidos em toda a química), a confusão entre mol, quantidade de matéria e massa molar; e, também, a dificuldade no manejo de técnicas matemáticas. Os problemas na compreensão dos conceitos de quantidade de matéria e mol, particularmente, podem estar relacionados com a confusão dos termos mol, molécula, molar, e assim por diante, também ocorre confusão entre o uso de índices e coeficientes (Sanger, 2005), o que ocasiona a falta de compreensão acerca dos conceitos de volume, massa ou número de partículas (Rogado, 2004).

No caso específico da estequiometria de reagente limitante, muitos dos erros cometidos comumente envolvem a compreensão de que produtos químicos reagem de acordo com razões molares fixas, o reconhecimento errôneo do reagente em menor quantidade como o reagente limitante, calcular a quantidade de produto somando as quantidades de reagentes (não considerando o rearranjos dos átomos nas moléculas durante a reação química), resolver o problema com unidades erradas (como quantidade de matéria em gramas, por exemplo, não convertendo para número de mols), não perceber que haverá algum excesso de reagente no final da reação e não atribuir os coeficientes aos reagentes descritos (Sostarecz & Sostarecz, 2012). Kalantar (1985) explana que seus alunos de química tiveram problemas de estequiometria envolvendo reagente limitante, especialmente em casos em que a estequiometria da reação não é de proporção 1:1, mesmo após compreenderem que as quantidades estequiométricas de reagentes eram exceção –e não regra– e apesar dos tratamentos, geralmente claros, apresentados nos textos. Essa dificuldade na interpretação dos textos está relacionada com a importância do conhecimento dos próprios conceitos científicos inerentes à área, uma vez que tal conhecimento constitui um suporte fundamental para uma interpretação crítica dos textos de ciências. (Rogado, 2005).

A falta de domínio da linguagem matemática gera dificuldade de compreensão sobre as diferentes grandezas químicas, além de que as concepções alternativas sobre conceitos básicos necessários para entendimento das relações estequiométricas se traduzem na falta de compreensão conceitual do tema. Galagovsky e Giudice (2015) ao analisar resolução de problemas de estequiometria com diferentes linguagens químicas (questões clássicas e questões que envolvem desenhos com partículas para descrever os estados inicial e final de sistemas reagentes), concluem que os estudantes universitários estariam aprendendo a resolver problemas realizando cálculos e procedimentos algorítmicos, e por isso não teriam desenvolvido o “pensamento conceitual” sobre a estequiometria.

Já Cárdenas (2006) afirma que as dificuldades se devem tanto à fatores internos (capacidade de processar informações), quanto à fatores externos (a própria natureza da Química). Em investigação usando testes padronizados concluíram que mesmo os estudantes que apresentam valores elevados de capacidade mental, tiveram baixo rendimento ao realizar as questões propostas. Assim, a confluência desses fatores internos e externos é tida como uma explicação plausível para o grau de aprendizagem dos sujeitos da pesquisa. A sobrecarga de instruções na memória de trabalho ou familiarização insuficiente com as operações básicas foram destacadas como as principais dificuldades relacionadas à aprendizagem do conceito.

As dificuldades em compreender as grandezas químicas e interpretação de texto são apontadas por Costa e Souza (2013). Alguns estudantes não compreendem o enunciado da questão para realizarem os cálculos, pois provavelmente memorizam mecanicamente os passos realizados para resolver o problema. Dessa maneira, passam mais tempo decorando do que tentando entender os conteúdos e interpretando as situações. Os autores ainda aludem à maneira como o assunto é abordado, privilegiando os aspectos matemáticos em detrimento de uma interpretação química, o que gera uma mecanização dos procedimentos para a resolução de problemas de estequiometria. E, além do problema da abordagem, a própria dificuldade com conhecimentos básicos de matemática que os alunos apresentam.

A Teoria da Aprendizagem Significativa e a Criação de Materiais Potencialmente Significativos

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, objetiva compreender como o conhecimento é adquirido e a nossa estrutura cognitiva é construída (Ausubel, 2012). Na perspectiva do autor, a aprendizagem é um processo por meio do qual novas informações (ideias expressas simbolicamente) interagem de forma substantiva (não literal) e não arbitrária com aquilo que o indivíduo já sabe (Moreira, 2011). A interação de forma literal está relacionada com a aprendizagem mecânica, uma vez que esse tipo de interação, em geral, limita-se a reproduzir o conhecimento de maneira idêntica à que foi apresentada ao aprendiz. A aprendizagem mecânica fundamenta-se na memorização de novas ideias sem que se estabeleçam conexões com ideias prévias. Por essa razão é um aprendizado com menores chances de permanecer na estrutura cognitiva a longo prazo. Quando há o estabelecimento de conexões entre a nova informação e o conhecimento prévio, tem-se como resultado a construção de significados pessoais para essa informação. A construção de significados pessoais é elaborada de forma “não literal”; desse modo, se caracteriza como uma aprendizagem significativa (Tavares, 2004).

A interação não arbitrária não deve ocorrer com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. Esse conhecimento prévio, isto é, aquilo que o sujeito já sabe, é o que Ausubel chamava de subsunçor, ou ideia-âncora. Em outras palavras, a nova informação ancora-se em conceitos ou proposições relevantes já presentes na estrutura cognitiva. Tais subsunçores são fundamentais no processo de aprendizagem e são enfatizados por Ausubel e colaboradores (1980). Segundo os autores, se fosse possível reduzir toda a psicologia educacional a um princípio único seria: “O fator isolado

mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso seus ensinamentos” (Ausubel, Novak & Hanesian, 1980, p. 137).

Em situações nas quais o aluno não dispõe de um subsunçor convergente para a ancoragem, pode-se empregar o organizador prévio (que é um recurso que deve anteceder o material de aprendizagem) em outros termos, deve ser aplicado previamente à abordagem do conhecimento científico a ser explanado no planejamento didático. Organizadores prévios devem, necessariamente, ter um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação a esse conhecimento que será apresentado. Além de suprirem a deficiência de subsunçores, os organizadores prévios podem ser utilizados para auxiliar os alunos a identificar o vínculo entre os novos conhecimentos apresentados e os seus conhecimentos pré-existentes (Moreira, 2011). O professor tem o papel de facilitar a construção desse vínculo por meio da utilização de princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, que são pressupostos dessa teoria. Na diferenciação progressiva, apresentam-se os conceitos mais gerais, os quais são discriminados progressivamente em conceitos mais específicos. Já a reconciliação integrativa consiste na construção e reconstrução das relações conceituais, visto que novos conceitos foram incorporados à estrutura cognitiva e precisam ser reorganizados (Konflanz *et al.*, 2020).

Visando a facilitar essa relação lógica, Moreira (2011) propõe a criação de materiais potencialmente significativos, com uma estrutura organizada, que façam sentido ao público para o qual se pretende desenvolver determinado conceito e que contribuam para uma aprendizagem com qualidade, se diferenciando da aprendizagem mecânica. As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS's) são propostas didáticas que objetivam a aprendizagem significativa e existem em oposição à aprendizagem mecânica, a qual é puramente memorística. Esse tipo de proposta didática tem como argumento principal a contribuição para romper com uma proposta de ensino na memorização de conteúdo, proporcionando apenas a aprendizagem mecânica (Moreira, 2011). Uma UEPS deve ter uma boa estrutura e um desencadeamento lógico. Assim sendo, o papel do professor é o de apresentar situações-problema que sejam cuidadosamente selecionadas objetivando a organização do ensino e mediando a captação de significados da parte do aluno. Tais situações devem fazer sentido ao grupo e contribuir na qualificação da aprendizagem.

Resumidamente, as UEPS são compostas por: Situação inicial – que objetiva compreender os conhecimentos prévios dos estudantes; Situação-problema inicial – uma situação-problema de nível introdutório que busca dar um sentido ao conceito; Aprofundamento do conhecimento – abordagem a partir da diferenciação progressiva; Nova situação-problema – questionamentos com um nível de profundidade maior, evidenciando as correspondências e contradições entre os conceitos; Avaliação somativa individual – de caráter processual, comparando as situações problemas, evidenciando a captação de significados; Aula integradora final – com uma ótica integradora, busca a reconciliação integrativa entre os conceitos; Avaliação da aprendizagem – deve-se buscar evidências de compreensão de significados e capacidade de utilização do conhecimento para diferentes situações ao longo da implementação da UEPS (avaliação processual), privilegiando as atividades colaborativas, e finalizando a mesma com uma avaliação somativa individual; Avaliação da própria UEPS – A fim de aprimorar as estratégias de ensino, realizar uma avaliação da perspectiva dos estudantes.

Considerando a importância do estudo da estequiometria e as dificuldades de aprendizagem relatadas, destacamos o relevante papel do professor em mediar esses pontos para favorecer o aprendizado. Assim, esperamos que a UEPS proposta nesse trabalho contribua para o ensino e para a aprendizagem do conteúdo proposto, uma vez que está pautada na utilização dos conhecimentos prévios que os estudantes apresentam sobre receitas e ingredientes culinários para a compreensão das relações quantitativas, das diferentes grandezas e das condições estequiométricas e não estequiométricas.

Metodologia

Nesse trabalho adotamos como metodologia a pesquisa aplicada do tipo intervenção pedagógica, na qual “a intenção é descrever detalhadamente os procedimentos realizados, avaliando-os e produzindo explicações plausíveis, sobre seus efeitos, fundamentadas nos dados e em teorias pertinentes” (Damiani *et al.*, 2013, p.59). A abordagem exploratória foi adotada pois a mesma “[...] possui planejamento flexível, o que permite o estudo do tema sob diversos ângulos e aspectos.” (Prodanov & Freitas, 2013, p.52). O estudo de caso ocorreu durante o Estágio de Docência em Ensino de Química no período de 2019/2. Os participantes consentiram em participar do estudo, após os devidos esclarecimentos a respeito da pesquisa, bem como da livre participação e anonimato dos participantes, que assinaram Termo de Consentimento Livre Esclarecido.

Amostragem

A amostragem foi composta por uma turma de 23 alunos do turno noturno de uma escola técnica localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre. Essa escola possui uma estrutura voltada para a educação profissional de nível técnico de forma integrada e posterior, conta com cerca de três mil alunos matriculados, alunos domiciliados em mais de 50 municípios do Rio Grande do Sul. Na forma integrada, ocorre articulado ao ensino médio durante o turno diurno e em regime seriado anual, destinado aos alunos que já tenham concluído o Ensino Fundamental. No período noturno, na forma posterior, é desenvolvido em regime semestral e consta com matrícula por disciplina, sendo destinado aos estudantes que já tenham concluído o Ensino Médio.

No primeiro semestre do Curso Técnico em Química noturno, a disciplina de Química Inorgânica I é considerada a disciplina introdutória que aborda conceitos básicos, como a teoria atômica, tabela periódica, ligações químicas, compostos inorgânicos, reações químicas, grandezas químicas e estequiometria. Apesar de ser uma disciplina introdutória, os alunos relatam dificuldades em acompanhar seus conteúdos, o que explica historicamente os altos índices de reprovação e evasão. Com o intuito de amenizar esse problema, a disciplina que antes era de quatro créditos passou a contar com oito créditos, sendo ministrada em duas noites por semana, prevendo assim um maior tempo disponível em sala de aula para esclarecimento de dúvidas e resolução de exercícios. Os conceitos relativos à estequiometria são os últimos a serem abordados no cronograma, e pertencem à denominada Unidade 8 – Cálculo estequiométrico, subdivida em partes: relações molares mol-mol, relações mol-massa, relação massa-massa, relação massa-volume, relações entre o número de moléculas ou de átomos e massa, quantidade em mols ou volume, problemas envolvendo reagentes em excesso e reagente limitante, sistema em que os reagentes são substâncias impuras e rendimento da reação.

Organização das atividades

A UEPS utilizada para a abordagem do conteúdo Cálculo estequiométrico contou com oito aulas, cada uma com quatro períodos de cinquenta minutos. Como nosso foco é apresentar uma análise das questões e não apresentar em detalhes a UEPS, apresenta-se uma síntese da organização da mesma no Quadro 1. As avaliações formativas (AF) foram realizadas com o objetivo de verificar os conhecimentos prévios e o progresso dos estudantes ao longo do processo de aprendizagem. A avaliação somativa individual (ASI) demanda a compreensão e deve ser evidenciada a captação dos significados (Moreira, 2011). Tais avaliações foram identificadas no quadro.

Quadro 1: UEPS aplicada

Sequência	Etapas da UEPS	Estratégias utilizadas
Aula 1	Situação inicial; Situações-problema iniciais; Aprofundamento do conteúdo.	Mapa conceitual para identificação dos conhecimentos prévios. (AF) Resolução da situação-problema inicial envolvendo 2 receitas de bolo;(AF) Aula expositiva com uso de preparo de sanduíche como organizador prévio e resolução de cálculos.
Aula 2	Nova situação-problema; Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositivo-dialogada com uso de receita de omelete como organizador prévio, uso do PhET Simulações Interativas ¹ e resolução de cálculos.
Aula 3	Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositiva sobre reagente limitante e resolução de cálculos.
Aula 4	Aprofundamento do conteúdo.	Aula expositivo-dialogada sobre rendimento de reação com uso de organizador prévio (preparação de pipoca em sala de aula) e resolução de cálculos.
Aula 5	Aprofundamento do conteúdo.	Resolução de cálculos.
Aula 6	Avaliação da UEPS.	Mapa conceitual final. (AF) Resolução de questão-desafio. (AF) Aplicação de questionário com questões abertas e fechadas para avaliação da UEPS.
Aula 7	Avaliação somativa individual.	Aplicação de prova. (ASI)
Aula 8	Aula integradora final	Resolução de dúvidas referentes às questões da avaliação formativa e somativa individual.

Fonte: Autoras.

Duas questões da avaliação final foram especificamente elaboradas para análise (Figura 1). Tais questões foram cuidadosamente organizadas, envolvendo basicamente cálculos estequiométricos do tipo relação massa-massa, sendo que ambos poderiam ser resolvidos com regra de três simples para identificação de proporcionalidade do ingrediente/ substância química. Na questão com a receita de mousse (questão 7), podemos constatar que o problema utiliza ingredientes culinários e unidades simples (nesse caso apenas a unidade de massa em gramas) e, portanto, engloba majoritariamente a linguagem matemática (aritmética e proporção), minimamente a linguagem física (unidades de medida do Sistema Internacional) e eliminou a necessidade de interpretação da linguagem química (simbologia, grandezas e equações químicas). Essa estratégia visou minimizar um dos fatores que contribuem para as dificuldades apresentadas pelos alunos referentes a necessidade de uso e interpretação dessas três diferentes linguagens (química, física e matemática) conforme exposto por Pio-Venâncio (2006).

¹ Simulação sobre Reagentes, Produtos e Excesso, utilizando preparo de sanduíches e reações químicas: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/reactants-products-and-leftovers

Figura 1: Questões Analisadas.

7. Antes de fazer *mousse* de chocolate, você verificou se teria em casa os ingredientes necessários. Encontrou 6 ovos, uma barra de 92 g de chocolate meio amargo, 4 sachês de 5 g (cada) de açúcar e 80 g de creme de leite. Quantos gramas de *mousse* você conseguirá fazer, no máximo, seguindo a proporção da receita abaixo?

Mousse de chocolate (670 g):

3 ovos

250 g de chocolate meio amargo

20 g de açúcar (2 colheres de sopa)

200 g de creme de leite (1 lata)

8. Nas estações de tratamento de água, eliminam-se as impurezas sólidas em suspensão através do arraste por flocos de hidróxido de alumínio, produzidos na reação entre sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio. Se forem misturados 80 g de sulfato de alumínio e 50 g de hidróxido de cálcio, qual será a massa de hidróxido de alumínio produzida?

Fonte: Autoras.

Na elaboração da questão envolvendo uma reação química (Questão 8), o enunciado foi construído objetivando uma resolução que visou eliminar o máximo número de obstáculos típicos da resolução de cálculos estequiométricos tais como: utilização de diferentes grandezas simultaneamente (Costa & Souza, 2013; Costa & Zorzy, 2009; Machado *et al.*, 2013), emprego do conceito de mol e quantidade de matéria (Fang *et al.*, 2014; Johnstone *et al.*, 1971; Novick & Menis, 1976; Rogado, 2004) e cálculos envolvendo a constante de Avogadro (Leonard, 2011; Pekdağ & Azizoğlu, 2013; Rogado, 2005).

Análise de dados

Procurou-se identificar as possíveis causas dos erros e agrupá-las por similaridade a fim de comparar o desempenho na pergunta clássica *versus* receita culinária, utilizando os pressupostos da Análise de Conteúdo de Bardin (2016), que compreende as etapas: pré-análise, exploração do material e tratamentos dos resultados. Para codificação foi utilizado método das categorias, usando como regra de enumeração a frequência de aparição, e tendo como regras de base as etapas propostas por Laville e Dionne (1999): Recorte de Conteúdos, Definição das Categorias Analíticas e Categorização Final das Unidades; utilizando o método a posteriori. As respostas analisadas dizem respeito à atividade de Avaliação somativa individual: questões calculadas envolvendo ou não ingredientes culinários. Na etapa de categorização, além da análise de conteúdo, realizou-se análise qualitativa descritiva das resoluções apresentadas.

Dessa forma, foram estabelecidas três categorias analíticas que serão detalhadas nos resultados (Correto, incorreto e não resolveu). A regra de enumeração utilizada foi a frequência, uma vez que “a importância de uma unidade registro aumenta com a frequência de aparição.” (Bardin, 2016, p. 138). A análise buscou ainda identificar as possíveis causas de erro ao resolver as questões propostas, bem como os métodos utilizados para a resolução, quando possível.

As formas de resolução foram categorizadas como Método A – Cálculo da quantidade necessária de um determinado reagente em função de outros reagentes para identificação do reagente limitante e a partir disso o cálculo da quantidade possível de um determinado produto final; e Método B – Cálculo da quantidade de produto obtido em função da quantidade de cada um dos reagentes e a partir disso o cálculo da identificação do reagente limitante. Por fim, na análise das questões da avaliação somativa individual, além de contabilizar o percentual de acertos e método de resolução, buscou-se identificar as causas de erros e agrupá-las conforme similaridade, criando as subcategorias que serão apresentadas nos resultados.

Resultados

Na etapa de pré-análise, foi realizada a correção das questões e os resultados obtidos foram agrupados de acordo com o grau de acerto (Tabela 1).

Tabela 1: Análise do Grau de Acerto das Questões.

Tipo de questão	Correto	Incorreto	Não respondeu
Receita de mousse	11	11	1
Reação química	9	10	4

Fonte: Autoras.

Essa pré-análise indica, inicialmente, uma diferença pouco expressiva no sucesso da resolução das questões, comparando a questão que utiliza ingredientes culinários e a questão com reagentes químicos. Assim, conforme a revisão de literatura, esperava-se um número maior de acertos na questão com ingrediente culinário. Ao contrário do que Le Maire e colaboradores (2018) afirmam acerca da complexidade do vocabulário químico impedir que os alunos usem operações matemáticas simples para resolvê-los, tal resultado evidenciou que mesmo na ausência da linguagem química os alunos não foram capazes de resolver questões simples. De forma semelhante, no estudo realizado por Santos e Silva (2014), foi observado que a dificuldade dos participantes em traduzir determinada equação química independia da forma de expressão desta (simbólica ou textual).

Tal constatação nos levou à fase seguinte da análise. Assim, realizou-se uma análise minuciosa do desenvolvimento dos cálculos apresentados por cada um dos estudantes de modo a cumprir a etapa de definição das categorias analíticas. Emergiram nessa, as categorias descritas na Tabela 2. Considera-se ainda que o mesmo estudante pode ter cometido mais de um tipo de erro na questão. Após definidas as categorias, organizou-se a etapa de tratamento dos resultados com a categorização final das unidades.

Tabela 2: Categorização dos Erros na Resolução das Questões.

Categoria	Receita de mousse	Reação química
Soma direta da massa dos reagentes sem considerar proporção	4	-
Erro na interpretação do enunciado da questão	2	-
Não considerou um caso não estequiométrico	-	2
Erro na identificação do limitante	1	-
Erro na montagem da regra de três	1	2
Erro de digitação na calculadora	1	-
Erro conceitual na aplicação dos resultados obtidos	2	6
Erro na representação da fórmula molecular utilizada para o cálculo	-	3
Erro ao escrever a equação química	-	1
Erro de cálculo da massa molar dos compostos	-	1
Não apresentou desenvolvimento da questão (não resolveu)	1	4

Fonte: Autoras.

Considerando que a importância de uma unidade registro aumenta com a frequência de aparição. Aprofundaremos, inicialmente, a discussão dos erros que foram mais observados na análise das provas de forma específica: Soma direta da massa dos reagentes sem considerar proporção, erro conceitual na aplicação dos resultados obtidos. Posteriormente, buscamos apresentar os outros exemplos e finalmente os que envolvem mais de um erro na resolução da mesma questão.

Soma direta da massa dos reagentes sem considerar proporção

Foram alocados nessa categoria os estudantes que apenas somaram as quantidades de ingredientes/reagentes informados no enunciado da questão. Na análise da questão receita de mousse, por exemplo, foi observado que o aluno 18 (Figura 2) a resolveu incorretamente porque não considerou que deveria utilizar a proporção de ingredientes dada na receita e, após calcular a massa correspondente às seis unidades de ovos, apenas somou a quantidade em massa dos ingredientes disponíveis.

Figura 2: Resolução da Questão Receita de Mousse pelo Aluno 18.

7. Antes de fazer *mousse* de chocolate, você verificou se teria em casa os ingredientes necessários. Encontrou 6 ovos, uma barra de 92 g de chocolate meio amargo, 4 sachês de 5 g (cada) de açúcar e 80 g de creme de leite. Quantos gramas de *mousse* você conseguirá fazer, no máximo, seguindo a proporção da receita abaixo? (0,95 pt)

Mousse de chocolate (670 g): $60\text{ ovos} + \text{barra } 92\text{g chco} + 4\text{ sachês } 5\text{g} + 80\text{g cr. leite}$

3 ovos $3 \times 60\text{ ovos} + 250\text{ chco} + 20\text{g acu} + 200\text{g ch}$

250 g de chocolate meio amargo $670 = 3 \times 60\text{ ovos} + 250 + 20 + 200$

20 g de açúcar (2 colheres de sopa) $3 \times 60\text{ ovos} = 670 - 470$

200 g de creme de leite (1 lata) $3 \times 60\text{ ovos} = 200$

Produto Final $60\text{ ovos} = 400\text{g} + 92\text{g choco} + 20\text{g acu} + 80\text{g ch}$

total = 592g

Fonte: Autoras.

Esse tipo de erro observado na resolução do problema utilizando uma receita culinária está entre os erros mais comuns cometidos pelos alunos ao determinar a quantidade de produto em questões clássicas, conforme evidenciado por Sostarecz e Sostarecz (2012). Isso acontece porque os estudantes têm dificuldade em compreender que uma reação ocorre de acordo com razões molares fixas (Sostarecz & Sostarecz, 2012; Tro, 2011). Essa falta de compreensão se relaciona com os aspectos sinalizados por Galagovsky, Di Giacomo e Alí (2015) ao inferir que os estudantes generalizam o termo “produtos” como sendo equivalente a “sistema final” e, por este motivo, aplicam a Lei de Conservação das Massas sem considerar a presença de impurezas, de reagentes em excesso ou os casos de reações reversíveis, nos quais o sistema final é constituído também por reagentes. Ou seja, a incapacidade de desenvolver um pensamento conceitual (Galagovsky & Giudice, 2015) acerca do problema a ser resolvido, pode ser identificada nesse tipo de erro. Analogamente, no caso do exemplo culinário os alunos deveriam considerar que a soma das massas dos ingredientes correspondia à massa do “sistema final”, e esse, por sua vez, era composto tanto pelo mousse (“produto”) quanto pela parte dos ingredientes que não seria utilizada na receita (“reagentes em excesso”).

Erro conceitual na aplicação dos resultados obtidos

Nessa categoria alocou-se os estudantes que calcularam a quantidade de produto obtida a partir de cada um dos reagentes individualmente, mas não identificaram que o menor valor seria a resposta correta, ou; calcularam a quantidade necessária de um reagente para o consumo total do outro, mas calcularam a quantidade de produto considerando o consumo total do reagente que estava em excesso. Na questão receita de mousse (Questão 7), o aluno 13 (Figura 3) foi alocado nesta categoria pois identificou que o ingrediente limitante seria o chocolate ou o creme de leite (uma vez que estavam disponíveis em quantidades menores do que as descritas na receita) e calculou a quantidade de mousse proporcionalmente à quantidade de cada um destes, porém, ao invés de identificar entre os dois resultados qual seria a resposta do problema, somou os valores à massa de açúcar.

Figura 3: Resolução da Questão Receita de Mousse pelo Aluno 13.

proporção da receita abaixo? (0,95 pt)

Mousse de chocolate (670 g):

200% 3 ovos — 6 ovos 400g *vai ser 3*

250 g de chocolate meio amargo — 92g — 158 amargo

20 g de açúcar (2 colheres de sopa) 20g — *constante*

200 g de creme de leite (1 lata) 80g — 120g

470g

670g — 250g
x — 92
x = 246,5g

670g — 200g
x — 80g
x = 268g

246,5 + 20 + 268g = 534,5g

Fonte: Autoras.

Na análise da questão 8 foi possível perceber que a maior parte dos alunos que não a resolveu corretamente cometeu algum erro conceitual na interpretação ou aplicação dos resultados obtidos. Foi o caso da aluna 23 (Figura 4), que calculou a quantidade de produto que seria gerado com o consumo total de cada reagente individualmente (estratégia do Método B), mas, ao invés de identificar entre os resultados qual seria a massa de hidróxido de alumínio possível de ser produzida, apresentou como resposta final a soma destes valores.

Figura 4: Resolução da Questão 8 da Prova pela Aluna 23.

8. Nas estações de tratamento de água, eliminam-se as impurezas sólidas em suspensão através do arraste por flocos de hidróxido de alumínio, produzidos na reação entre sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio. Se forem misturados 80 g de sulfato de alumínio e 50 g de hidróxido de cálcio, qual será a massa de hidróxido de alumínio produzida? (0,95 pt)

Sulf. AL Hidróx. CA Hidróx. AL

$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4$ ✓

312g 222g 156g 408g

312g $Al_2(SO_4)_3$ — 156g $Al(OH)_3$

80g — x

x = 36,4 g $Al(OH)_3$

222g $Ca(OH)_2$ — 156g $Al(OH)_3$

50g — x

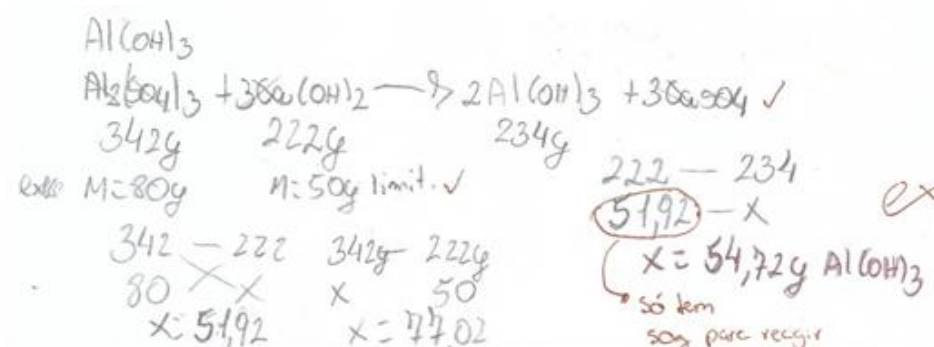
x = 35,1 g $Al(OH)_3$

36,4 + 35,1 = 71,5g $Al(OH)_3$ ✗

Fonte: Autoras.

Da mesma forma, o aluno 18 (Figura 5) resolveu incorretamente a questão por cometer um erro conceitual ao aplicar os dados obtidos por ele no desenvolvimento dos cálculos. Esse, por sua vez, identificou corretamente o reagente limitante, porém, ao calcular a massa de produto que seria obtida, aplicou na regra de três a massa de reagente limitante que seria necessária para consumir todo o reagente que estava em excesso, ao invés de considerar apenas a quantidade de reagente disponível no enunciado.

Figura 5: Resolução da Questão 8 da Prova pelo Aluno 18.



Fonte: Autoras.

Percebe-se aqui, independente da demanda da resolução de uma de receita culinária ou de uma questão clássica, conforme Cárdenas (2006) uma falta de capacidade de processar informações. Essa dificuldade na interpretação dos textos (ou enunciados) científicos, está relacionado, segundo (Rogado, 2005) a falta de domínio dos conceitos científicos necessários para resolução de problemas de uma determinada área. Ainda, conforme Huddle & Pillay (1996), não é óbvio para todos os alunos que uma determinada reação química representa muitas situações experimentais, e nem sempre resulta na mesma quantidade de produtos, em função das condições estequiométricas e isso vai contra seus hábitos de aplicar um procedimento padronizado para resolver problemas, ou seja, uma mecanização dos procedimentos de resolução no lugar da interpretação do problema, o que segundo Galagovsky e Giudice (2015) está relacionado com a falta de compreensão conceitual de estequiometria.

Erro na interpretação do enunciado da questão

Considerou-se os alunos que não souberam extrair corretamente os dados fornecidos no enunciado da questão ou que entenderam de forma errada o que estava sendo questionado. O aluno 20 (Figura 6), por exemplo, interpretou que a massa de açúcar contida em cada um dos sachês disponíveis na realidade correspondia à massa total dos quatro sachês, o que fez com que considerasse o açúcar como ingrediente limitante e calculasse a quantidade de mousse possível de produzir a partir deste.

Figura 6: Resolução da Questão Receita de Mousse pelo Aluno 20.

Handwritten solution for a recipe problem:

7. Antes de fazer *mousse* de chocolate, você verificou se teria em casa os ingredientes necessários. Encontrou 6 ovos, uma barra de 92 g de chocolate meio amargo, 4 sachês de 5 g (cada) de açúcar e 80 g de creme de leite. Quantos gramas de *mousse* você conseguirá fazer, no máximo, seguindo a proporção da receita abaixo? (0,95 pt)

Ingredients list:

- Mousse de chocolate (670 g):
- 3 ovos - excesso
- 250 g de chocolate meio amargo - excesso
- 20 g de açúcar (2 colheres de sopa) - limitante
- 200 g de creme de leite (1 lata) - excesso

Calculations:

- 6 ovos
- 92g Cho
- 5g de aç
- 80g Cr
- 20g de açúcar - 670g
- 5g - e

Final result: $x = 167,5g$ de mousse

Fonte: Autoras.

Tal tipo de dificuldade em compreender o enunciado da questão, pode estar relacionado ao fato de que, os alunos provavelmente memorizam, de uma maneira mecânica, os passos que o professor realiza ao resolver o problema e assim passam mais tempo decorando do que tentando entender os conteúdos e interpretar as situações (Costa & Souza, 2013). Esta lacuna, que é apresentada quando os alunos não priorizam entender os conteúdos e interpretar as situações (Galagovsky & Giudice, 2015) e acabem resolvendo os problemas de forma mecanizada.

Erro na identificação do limitante

Nessa categoria foi alocado o aluno 11 (Figura 7), que calculou a quantidade de mousse produzida proporcionalmente à quantidade dada de creme de leite, como se este fosse o ingrediente limitante ao invés do chocolate.

Figura 7: Resolução da Questão Receita de Mousse pelo Aluno 11.

$3 \text{ ovos} + 250 \text{g choco} + 20 \text{g Ag} + 200 \text{g cl} = 11670 \text{g}$
 $200 \text{g} - 670 \text{g}$
 $80 \text{g} - x$
 $x = 268 \text{g de mousse}$
 X
 chocolate é o limitante

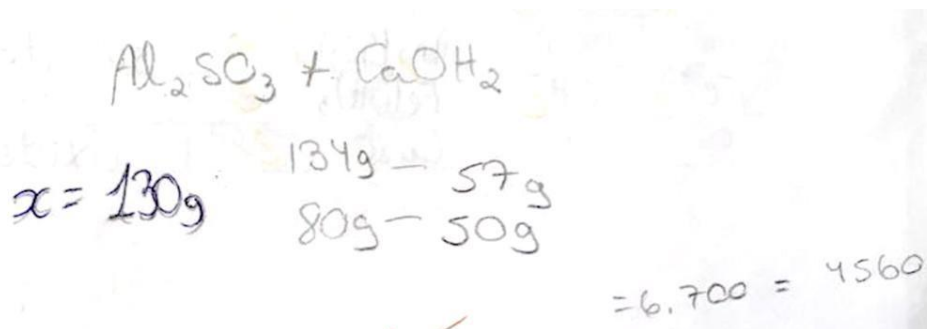
Fonte: Autoras.

Mesmo sendo uma questão simples, fica evidente que o conceito de reagente limitante é um conceito complexo e muitos alunos têm dificuldades com o tópico, incluindo a seleção do reagente limitante arbitrariamente, como nesse caso. Essa escolha arbitrária está relacionada com a incapacidade de determinar o reagente limitante quando um dos reagentes está em excesso, ou a indicação de que o limitante é o reagente que tem o menor coeficiente estequiométrico ou que está na menor quantidade de material (González-Sánchez, Ortiz-Nieves & Medina 2014).

Erro ao escrever a equação química, erro na montagem da regra de três, erro na representação da fórmula molecular utilizada para o cálculo

O aluno 1 (Figura 8) além de apresentar erro nas fórmulas moleculares dos reagentes (Erro na representação da fórmula molecular utilizada para o cálculo), não soube representar a reação química descrita no problema (representação esta que era necessária para relacionar a quantidade de reagente com a quantidade de produto). Assim como no caso do aluno 7 (Figura 12), este aluno aplicou no cálculo a massa total fornecida dos dois reagentes, não considerando que haveria excesso de um deles (“Não considerou um caso não estequiométrico”) e não soube utilizar corretamente a regra de três (apresentou “Erro na montagem da regra de três”). O aluno 1 também apresentou uma montagem semelhante e errônea da regra de três na questão receita de mousse, indicando uma dificuldade na utilização desta ferramenta matemática independentemente de estar relacionada a questões químicas ou não.

Figura 8: Resolução da Questão Reação Química pelo Aluno 1.



Fonte: Autoras.

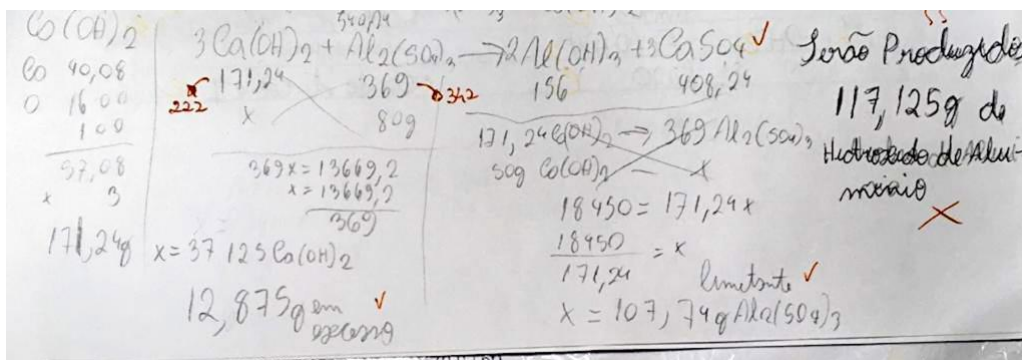
No caso específico da questão envolvendo reação química, não foi fornecida a reação completa no problema, assim os estudantes deveriam inicialmente escrevê-la e balanceá-la corretamente, para então resolver o problema. Ballén (2009) relata a dificuldade que os alunos têm em escrever as estruturas nas equações químicas de forma adequada, conforme observado nesses casos (Figura 7 e 9). Esse erro ao tentar representar simbolicamente uma reação química, refere-se às situações nas quais os estudantes desconsideram as relações estequiométricas (Santos & Silva, 2014). Da mesma forma que o aluno 7 a tentativa da montagem da regra de três simples, está equivocada apresentando quatro elementos. Esse tipo de erro também revela a dificuldade dos estudantes nos cálculos matemáticos de proporções ao resolver problemas envolvendo leis ponderais (Veronez & Piazza, 2007).

Outro ponto a ser observado nessa resolução é a montagem errada da regra de três simples, compatível com os relatos da literatura acerca da falta de conhecimentos de operações matemáticas básicas necessárias para a resolução de cálculos estequiométricos (Cárdenas, 2006; Costa & Souza, 2013). Constatou-se que, na tentativa da montagem da regra de três simples, que deveria apresentar apenas três elementos em sua montagem, o aluno apresenta quatro elementos. O uso da regra de três para resolver problemas de proporcionalidade, é um tópico central do currículo escolar segundo Lautert, Schliemann & Leite (2017), mas nem sempre considerando as relações escalares e funcionais entre as quantidades descritas no problema, o que pode ser apreciado nos três casos nos quais esse foi um erro identificado.

Erro de cálculo da massa molar dos compostos

Apesar de ter escrito corretamente as fórmulas moleculares e a equação química, foi alocado nessa categoria o aluno 8 (Figura 9) uma vez que apresentou dados incorretos das massas molares dos reagentes Hidróxido de cálcio e Sulfato de alumínio, apesar de ter representado corretamente as fórmulas moleculares dos compostos e a reação química envolvida. O erro específico no cálculo da massa molar do hidróxido de cálcio pode ser observado à esquerda da Figura, na qual verifica-se que apenas somou-se uma unidade de massa de cada elemento, quando deveria ter sido considerado que tal composto contém duas hidroxilas e por isso tanto a massa do oxigênio quanto a do hidrogênio, deveria ter sido duplicada.

Figura 9: Resolução da Questão Reação Química pelo Aluno 8.



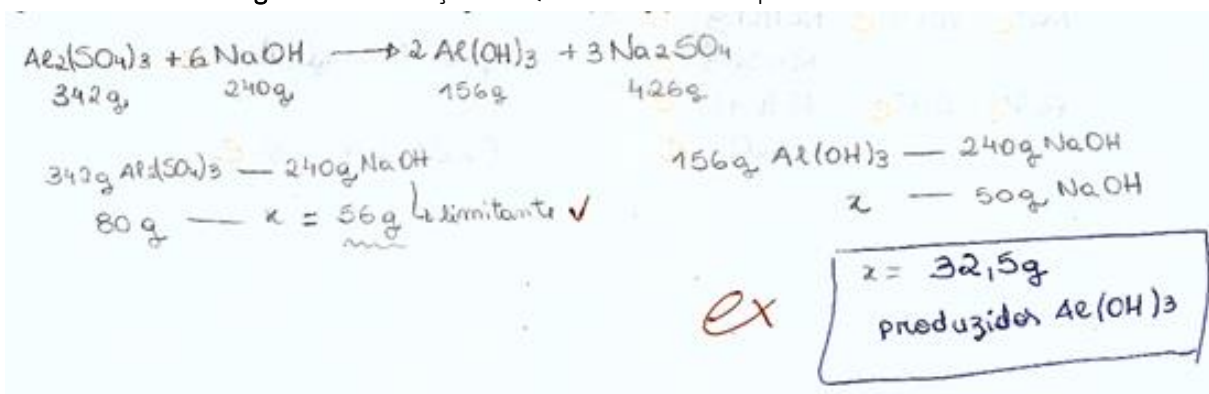
Fonte: Autoras.

Embora os alunos possam usar uma equação balanceada em um algoritmo estequiométrico corretamente, eles não entendem os conceitos de química que uma equação balanceada representa (Sanger, 2005). A dificuldade de compreensão acerca do significado simbólico das fórmulas químicas, experiência dos professores e a literatura mostram que os alunos de Ensino Médio não têm um modelo mental correto do significado dos coeficientes e subscritos existentes nas fórmulas químicas (Mendes *et al.*, 2017). Veronez e Piazza (2007) observaram ao precisar balancear uma reação química completa, os alunos conseguiram identificar a quantidade de átomos de um elemento nas fórmulas químicas, mas não compreendem o significado dessas fórmulas. Não demonstram compreensão da relação do nível macroscópico com o submicroscópico dos fenômenos, o que dificulta a atribuição de significados de uma equação química e a compreensão do conceito de quantidade de matéria (Santos & Silva, 2014).

Erro na representação da fórmula molecular

Erros na representação da reação química envolveram múltiplos aspectos. Nessa categoria foram alocados os alunos que não souberam escrever corretamente as fórmulas moleculares dos compostos e conseqüentemente calcularam erroneamente a massa. Nessa questão, a partir do nome dos compostos os alunos deveriam escrever suas fórmulas moleculares e montar a reação química balanceada (Figura 10).

Figura 10: Resolução da Questão 8 da Prova pelo Aluno 3.



Fonte: Autoras.

Observa-se na Figura 10, que o aluno 3 apresentou um desenvolvimento correto para identificação do reagente limitante e para o cálculo da massa de produto, mas trocou hidróxido de cálcio por hidróxido de sódio ao escrever a equação química, o que acarretou um resultado diferente do esperado.

Representação simbólica inadequada para as espécies (Santos & Silva, 2014) é um dos fatores que contribui para a falta de sucesso na resolução dos cálculos estequiométricos. Além da

questão da correta identificação dos símbolos dos elementos, outros estudos igualmente indicam que a representação simbólica construída erroneamente é comum devido alguma confusão entre o uso de índices e coeficientes estequiométricos (Sanger, 2005). A interpretação dos coeficientes estequiométrico e dos índices das fórmulas de fato são as dificuldades mais comuns na estequiometria, pois alguns alunos não tem a clareza de que os números subscritos indicam o número de átomos em uma molécula, enquanto os coeficientes estequiométricos estabelecem o número de mols em uma equação equilibrada (Cotes & Cotuá, 2014).

Não considerou um caso não estequiométrico, erro na montagem da regra de três, erro na representação da fórmula molecular utilizada para o cálculo

Esse é um exemplo resolução que pode ser alocada em mais de uma categoria. Inicialmente na categoria “Não considerou um caso não estequiométrico” foram alocados os casos nos quais os estudantes não consideraram que os dados apresentados no enunciado se traduziam em uma condição reacional não estequiométrica. O aluno 7 (Figura 11), por exemplo, utilizou as massas dos dois reagentes ao efetuar o cálculo, não considerando que estas não foram dadas na mesma proporção que aquela predita pela estequiometria da reação. O mesmo aluno não soube utilizar a regra de três corretamente para relacionar os dados e a resposta do problema (apresentou “Erro na montagem da regra de três”). Ao escrever a reação química envolvida, o aluno também cometeu equívocos categorizados como “Erro na representação da fórmula molecular utilizada para o cálculo”, pois considerou a fórmula molecular do sulfato de cálcio CaSO_3 quando a correta representação da fórmula é CaSO_4 , Al_2SO_3 quando o correto $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Tais erros impediram o balanceamento correto para chegar na equação balanceada:

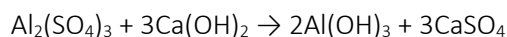
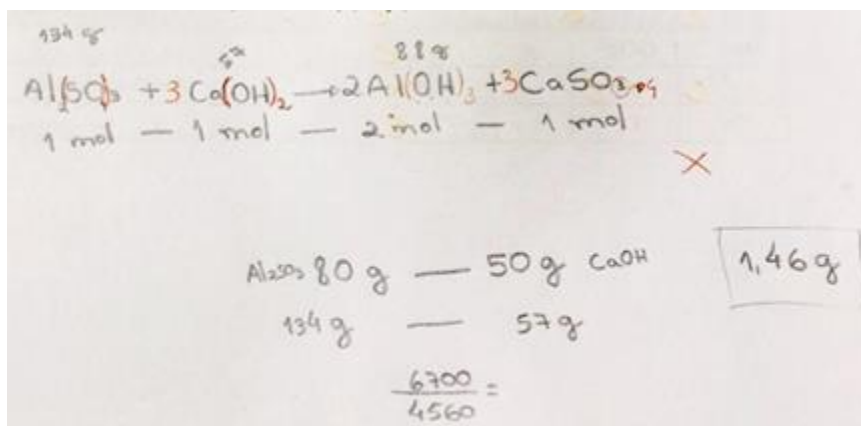


Figura 11: Resolução da Questão Reação Química pelo Aluno 7.



Fonte: Autoras.

Esse erro, identificado também em outros casos, indica que os estudantes procuram associar os índices das fórmulas moleculares e os coeficientes estequiométricos de forma algébrica, pensando a equação química em termos de uma equação matemática e não como a expressão de um processo em escala microscópica (Sanger, 2005; Santos, 2013). Ao expressar a equação química, identifica-se que o aluno 7 considera que a reação é representada da seguinte forma: $\text{Al}_2\text{SO}_3 + \text{CaOH} \rightarrow 2\text{AlOH} + \text{CaSO}_3$, o que evidencia desconhecimento do significado das fórmulas químicas, demonstrado pelo uso incorreto dos índices das fórmulas moleculares (Santos, 2013; Veronez & Piazza, 2007). Por isso é considerado que alunos com uma melhor compreensão dos índices subscritos e dos coeficientes estequiométricos são mais eficazes com problemas de estequiometria (Kimberlin & Yezierski, 2016).

Verifica-se na resolução, a tentativa de estabelecer as relações molares entre as substâncias, o que está relacionado com o fato de que os alunos assumem que as substâncias reagem em

números molares iguais e as razões molares são confundidas com as razões de massa, ou a massa molar é confundida com a massa total no problema (González-Sánchez *et al.*, 2014). Observa-se também a montagem errada da regra de três simples com quatro elementos. No caso específico desse aluno, o foco no pensamento matemático permitiu que mesmo utilizando incorretamente as fórmulas moleculares dos compostos, houvesse uma preocupação com a lei de conservação de massa, uma vez que, mesmo não considerando os índices na montagem das fórmulas químicas, realizou o balanceamento necessário para se igualar a quantidade dos átomos dos elementos presentes nos reagentes e nos produtos.

Nesse caso podemos identificar os aspectos identificado por Cardenás (2006) quanto a sobrecarga de instruções na memória de trabalho, considerado uma das principais dificuldades relacionadas à aprendizagem pelo autor. Isso porque o processo de resolução de problemas envolve basicamente três fases: leitura, planejamento e cálculo. A leitura dos enunciados exige a compreensão leitora para correta identificação das substâncias químicas, quantidades e proporções apresentadas para correta montagem da equação química e seu respectivo balanceamento. Na etapa de planejamento é preciso configurar procedimentos matemáticos baseados na interpretação do enunciado para finalmente realizar os cálculos. (Cotes & Cotuá, 2014; González-Sánchez *et al.*, 2014).

Toda a demanda de compreensão conceitual de aspectos químicos físicos e matemáticos, somados aos múltiplos fatores que impactam no sucesso da realização dos cálculos estequiométricos torna evidente que tal conteúdo é considerado pelos alunos do Ensino Médio como sendo um dos conceitos mais difíceis da química. Esperava-se um maior percentual de acertos na questão com receita culinária, uma vez que ela não englobava a necessidade do uso da linguagem química, pois a complexidade do vocabulário químico associado a problemas estequiométricos pode impedir que os alunos usem operações matemáticas simples para resolvê-los (Le Marie *et al.*, 2018).

Considerações Finais

Nesse estudo exploratório, buscou-se identificar as causas de erro na resolução de questões envolvendo o conceito de reagente limitante, obtidos a partir da aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa com estudantes do Ensino Técnico Profissionalizante. A análise dos resultados indica claramente que as dificuldades dos estudantes estão relacionadas com a falta de domínio das linguagens matemática, física e química, conforme apontado em outros estudos, já que um número expressivo de erros estão relacionados com incapacidade de resolver operações matemáticas básicas como uso de regra de três simples ou calcular a correta massa molar da substância utilizando operações de soma e multiplicação de acordo com os índices e coeficientes estequiométricos. A falta de domínio da linguagem química foi comprovada pela inabilidade de representar as fórmulas moleculares e montar a reação química balanceada corretamente, em outras palavras, existe uma falta de domínio de conceitos de química básica que se traduz na dificuldade de compreensão conceitual dos aspectos pertinentes ao campo de estequiometria. A esses problemas, soma-se a dificuldade de interpretar e compreender os enunciados, o que impossibilitou em alguns casos a correta resolução da questão, evidenciando a clara necessidade do uso de estratégias de compreensão de leitura durante o ensino de ciências, para que os estudantes possam desenvolver suas habilidades para compreender e interpretar textos científicos.

O uso específico das questões com ingredientes culinários para abordagem da estequiometria do reagente limitante foi considerado determinante na elaboração da UEPS, pois permitiu identificar que, em alguns casos os problemas de resolução de casos não estequiométricos, ocorre mesmo sem a necessidade do uso da linguagem química e física. Se tal obstáculo já pode ser identificado nesse estágio inicial da proposta didática, a compreensão das dificuldades específicas pela

identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes e pelas estratégias de avaliação processual, proporciona ao professor a possibilidade de proposição de materiais potencialmente significativos, com uma estrutura que objetiva minimizar as dificuldades e pode contribuir para uma aprendizagem significativa. Dessa forma é possível se distanciar da aprendizagem mecânica evidenciada nas tentativas de resolução de questões por meio de estratégias que envolvem uma mecanização dos procedimentos para a solução dos problemas, em detrimento de uma compreensão conceitual do tópico.

Os resultados ainda que preliminares são motivadores e reforçam a necessidade do uso de estratégias de ensino, cuidadosamente organizadas, baseadas em teorias de aprendizagem com o objetivo de contribuir na organização do ensino de tópicos difíceis de serem compreendidos no campo da química e das ciências em geral.

Referências

Ausubel, David P., Novak, Joseph, & Hanesian, Helen (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Editora interamericana.

Ausubel, David P. (2012). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Berlim: Springer Science & Business Media.

Bardin, Laurence (2016). *Análise de Conteúdo*. São Paulo: Almedina Brasil.

Batinga, Verônica T. S., & Teixeira, Francimar M. (2014). A Abordagem de Resolução de Problemas por uma professora de Química: análise de um problema sobre a Combustão do Álcool envolvendo o conteúdo de Estequiometria. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 7(1).

Bernal-Ballén, Andrés (2009). *Identificación y superación de errores conceptuales en la enseñanza y aprendizaje del concepto estructurante estequiometria*. Bogotá: Kimpres LTDA.

BouJaoude, Saouma, & Barakat, Hala (2003). Students problem-solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *The Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education*. Disponível em: <https://ejrsme.icrsme.com/article/view/7709>.

Brown, Theodore, LeMay, Eugene H., & Bursten, Bruce E. (2005). *Química, a ciência central*. São Paulo: Pearson Prentice Hall.

Cárdenas, Fidel A. S. (2006). Dificultades de aprendizaje en química: caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas. *Ciência & Educação*, 12(3), 333-346.

Costa, Eliana T. H., & Zorzi, Marilde B. (2009) Uma proposta de ensino diferenciada para o estudo da estequiometria. In: *Anais do I Congresso Paranaense de Educação em Química*, 1. Maringá-PR.

Costa, Ana A. & Souza, Jorge, R. T. (2013). Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 10(19), 106-116.

Cotes, Sandra, & Cotuá, José (2014). Using audience response systems during interactive lectures to promote active learning and conceptual understanding of stoichiometry. *Journal of chemical education*, 91(5), 673-677.

Damiani, M. F., Rochefort, R. S., de Castro, R. F., Dariz, M. R., & Pinheiro, S. S. (2013). Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. *Cadernos de educação*, (45), 57-67.

Fang, Su-Chi, Hart, Cristina, & Clarke, David (2014) Unpacking the meaning of the mole concept for secondary school teachers and students. *Journal of Chemical education*, 91(3), 351-356.

- Galagovsky, Lydia R., Di Giacomo, Maria A., & Ali, Salvador (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. *Ciência & Educação*, 21(1), 351-360.
- Galagovsky, Lydia R., & Giudice, Jimena (2015). Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. *Ciência & Educação*, 21(1), 85-99.
- González-Sánchez, Angélica M., Ortiz-Nieves, Edgardo L., & Medina, Zuleica (2014). A Hands-On Activity Incorporating the Threefold Representation on Limiting Reactant. *Journal of Chemical Education*, 91(9), 1464-1467.
- Huddle, P A., & Pillay, A E. (1996). Um estudo aprofundado de equívocos em estequiometria e equilíbrio químico em uma universidade sul-africana. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(1), 65-77.
- Johnstone, Alex H., Morrison, Ian, & Sharp, David (1971) *Topic Difficulties in Chemistry*. *Chemical Education*, 6(8), 212-213.
- Kalantar, Alfredo H. (1985). Limiting reagent problems made simple for students. *Journal of Chemical Education*, 62(2), 106.
- Kimberlin, Stephanie, & Yeziarski, Ellen (2016). Effectiveness of inquiry-based lessons using particulate level models to develop high school students' understanding of conceptual stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1002-1009.
- Konflanz, Gabriel M., Ferreira, Vera L. D., Martins, Marcio M., & Menegais, Denise A. F. N. (2020). Unidade de Ensino Potencialmente Significativa mediada pelas Tecnologias de Informação e Comunicação para o ensino de Séries de Fourier. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 2(2).
- Lautert, Síntria L., Schliemann, Analúcia D., & Leite, Anna B. B. (2017). O uso da regra de três e a compreensão das relações em problemas de proporção múltipla. In: *Anais do II Colóquio Internacional Sobre a teoria dos Campos Conceituais*, Porto Alegre. <https://www.geempa.com.br/wp-content/uploads/2017/08/O-USO-DA-REGRA-DE-TR%C3%8AS-E-A-COMPREENS%C3%83O-DAS-RELA%C3%87%C3%95ES.pdf>
- Laville, Christian, & Dionne, Jean (1999). *A Construção do Saber: Manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas*. Porto Alegre: Artmed.
- Le Maire, Nathalie V., Verpoorten, Dominique P., Fauconnier, Marie-Laure S., & Colaux-Castillo, Catherine G. (2018). Clash of Chemists: A Gamified Blog to Master the Concept of Limiting Reagent Stoichiometry. *Journal of Chemical Education*, 95(3), 410-415.
- Leonard, Brian P. (2011) Why the invariant atomic-scale unit, entity, is essential for understanding stoichiometry without 'Avogadro anxiety'. *Accreditation and quality assurance, Springer Nature*, 16(3), 133-141.
- Machado, Silvane, Glugoski, Letícia P., Paiva, Camila, Galvão, Davi S., & Ramos, Elaine S. (2013). Ensino de Cálculo Estequiométrico a partir de uma perspectiva contextualizada. In: *Encontro Paulista de Pesquisa em Ensino de Química*, Santo André-SP.
- Mendes, Abinadabis, Santana, Genilson, & Pessoa Júnior, Erasmo (2017). O uso do software PhET como ferramenta para o ensino de balanceamento de reação química. *Areté*, 8(16), 52-60.
- Moreira, Marco A. (2011). Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43-63.
- Novick, Stewart, & Menis, Joseph (1976) A Study of Student Perceptions of the Mole Concept. *Journal of Chemical Education*. 53(11), 720-722.

Pekdağ, Bülent, & Azizoğlu, Nursen (2013). Semantic mistakes and didactic difficulties in teaching the “amount of substance” concept: a useful model. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(1), 117-129.

Pio-Venâncio, Jucélia M. (2006). *Visão de alunos do ensino médio sobre dificuldades na aprendizagem de Cálculo Estequiométrico*. Monografia (Licenciatura em Química), Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Prodanov, Cleber C., & Freitas, Ernani C. (2013). *Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico*, 2 ed. Novo Hamburgo-RS: Editora Feevale.

Rogado, James (2004). A grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: algumas considerações sobre dificuldades de ensino e aprendizagem. *Ciência & Educação*, 10(1), 63-73.

Rogado, James (2005) Ensino e aprendizagem da grandeza quantidade de matéria e sua unidade, o mol: a importância da história da ciência para sua compreensão. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 1-4.

Sanger, Michael J. (2005). Evaluating students' conceptual understanding of balanced equations and stoichiometric ratios using a particulate drawing. *Journal of Chemical Education*, 82(1), 131.

Santos, Lívia C., & Silva, Márcia G. L. (2014). Conhecendo as dificuldades de aprendizagem no ensino superior para o conceito de estequiometria. *Acta Scientiae*, 16(1), 133-152.

Santos, Lívia C. (2013). *Dificuldades de aprendizagem em estequiometria: uma proposta de ensino apoiada na modelagem*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais e Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Sostarecz, Michael C., & Sostarecz, Audra G. (2012). A conceptual approach to limiting-reagent problems. *Journal of Chemical Education*, 89(9), 1148-1151.

Tavares, Romero (2004). Aprendizagem significativa. *Revista conceitos*, 10(55).

Tóth, Zoltán, & Sebestyén, Annamária (2009). Relationship between students' knowledge structure and problem-solving strategy in stoichiometric problems based on the chemical equation. *International Journal of Physics & Chemistry Education*, 1(1), 8-20.

TroNivaldo, J. (2011) *Chemistry: A Molecular Approach*. 2 ed. Pearson Prentice Hall.

Veronez, Karine N. S., & Piazza, Maria C. R., (2007). Estudo sobre dificuldades de alunos do ensino médio com estequiometria. In: *Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências*. Florianópolis.