

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

Luciana Paula de Assis

**POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PEDAGÓGICAS NO USO DE  
MODELOS ANALÓGICOS PARA O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA NA  
EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA**

Belo Horizonte

2020

Luciana Paula de Assis

**POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PEDAGÓGICAS NO USO DE  
MODELOS ANALÓGICOS PARA O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA  
NA EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry

Linha de Pesquisa: Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia

Belo Horizonte  
2020

A848p Assis, Luciana Paula de  
Potencialidades e limitações pedagógicas no uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria na educação tecnológica / Luciana Paula de Assis. – 2020.  
217 f.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica.

Orientador: Alexandre da Silva Ferry.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

1. Analogias – Modelos – Teses. 2. Química – Estudo e ensino – Teses  
3. Estequiometria – Estudo e ensino – Teses. I. Ferry, Alexandre da Silva.  
II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDD 370.15



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA - PPGET  
Portaria MEC n°. 1.077, de 31/08/2012, republicada no DOU em 13/09/2012

Luciana Paula de Assis

**“POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PEDAGÓGICAS NO USO DE MODELOS  
ANALÓGICOS PARA O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA NA EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA”**

---

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, em 16 de setembro de 2020, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica, aprovada pela Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação constituída pelos professores:

Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry –  
Orientador Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Minas Gerais

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Terezinha Ribeiro Alvim  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais

Prof. Dr. Marcel Thiago Damasceno  
Ribeiro Universidade Federal de  
Mato Grosso

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em especial a luz divina que contribuiu incansavelmente com toda força e amparo para a realização de mais esta etapa acadêmica. Em especial, também, aos meus pais que na humildade e dignidade sempre apoiaram todas as decisões e trajetórias da minha vida. Aos meus irmãos, pela parceria e carinho. E, ao Reginaldo, pelo companheirismo, amizade, amor e apoio incondicional. Gratidão por fazerem parte da minha vida.

Ao orientador Alexandre Ferry, que com todo o seu saber, carinho e empatia, transformou minha formação profissional, acadêmica e pessoal. Obrigada por compartilhar os seus conhecimentos e experiências com tanta humildade e generosidade.

Aos integrantes do GEMATEC e AMTEC, que compartilharam momentos de muito aprendizado, o que contribuiu de forma substancial nessa minha trajetória.

A Michelle Grangeiro por sua parceria e dedicação durante seu trabalho como bolsista do PIBIC-EM.

Aos professores do Programa Especial de Formação de Docentes, que permitiram o meu encontro com a licenciatura e com a pós-graduação. Aos professores do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica que me permitiram vivenciar uma nova relação docente e aprendiz, abandonando qualquer concepção negativa existente nas inter-relações do ambiente acadêmico.

Aos diversos amigos que nesse caminho de descoberta ouviram pacientemente diversas vezes sobre esta dissertação e o meio acadêmico saudável que ela estava inserida. Espero inspirar vários de vocês em uma futura pós-graduação. Aos colegas e amigos do mestrado, obrigada por caminharem compartilhando cada momento de aprendizado. Em especial: Arielle, Josie, Kellyne, Magda, Renato, Taís e Wilbert por todo apoio e palavras de motivação. A Família da Escola Estadual Padre João Botelho, que me acolheu na rede estadual de ensino com tanto carinho. Estendo os agradecimentos a todos meus familiares e amigos que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao CEFET-MG e a CAPES pelo apoio institucional e financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Assis, Luciana Paula de. Potencialidades e Limitações Pedagógicas no Uso de Modelos Analógicos para o Ensino de Estequiometria na Educação Tecnológica. Orientador: Alexandre da Silva Ferry. 2020. 217 f. Dissertação (Mestrado em Educação Tecnológica). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte.

## RESUMO

Esta dissertação de mestrado, inserida na linha de pesquisa sobre práticas educativas em Ciência e Tecnologia do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica, apresenta os resultados de uma investigação que analisou analogias e modelos no contexto da estequiometria química. A questão de pesquisa orientadora foi: quais as potencialidades e limitações pedagógicas de modelos analógicos concebidos para o ensino de Química, no contexto da estequiometria, a partir das percepções de professores da Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM)? Dentro da perspectiva da Teoria do Mapeamento Estrutural (TME), concebemos as analogias como comparações relacionais, ou seja, com foco nas correspondências de relações entre um domínio base, conhecido, e outro domínio alvo, desconhecido. Os modelos foram concebidos como representações parciais das entidades de interesse científico desenvolvidos com objetivos pedagógicos específicos. Diante disso, o estudo investigou aspectos dos processos de criação, desenvolvimento e apropriação de modelos fundamentados em analogias para o ensino de estequiometria no contexto da Educação Tecnológica, e analisou a percepção de professores da EPTNM a respeito das potencialidades e limitações desses recursos mediacionais em eventuais situações de uso. Para isso, a pesquisa, caracterizada por uma abordagem qualitativa, com o objetivo de um estudo exploratório, envolveu um Estudo de Caso e foi desenvolvida em três etapas: (i) Análise do potencial analógico das comparações no contexto da estequiometria presentes nos livros didáticos de Química aprovados no PNLD/2018, por meio de mapeamentos estruturais; (ii) Elaboração de um modelo analógico, a partir de analogias estruturalmente consistentes, sistemáticas e pragmáticas; (iii) Apresentação dos modelos analógicos para professores de Química da formação geral e técnica da EPTNM, do CEFET-MG, por meio de grupos focais. Na primeira etapa foram identificados 19 recursos distintos adotados como comparações pelos autores dos livros didáticos, destas, 16 foram classificadas de acordo com a TME: 11 analogias, 4 abstrações e 1 metáfora relacional. Apenas 3 foram classificadas em outras categorias: 1 categoria emergente (comparação por contraste), 1 modelo convencional e 1 modelo analógico, em função do não enquadramento de suas características em nenhum dos outros tipos de comparação previstos pelo referencial teórico. Na segunda etapa, uma comparação consistente, sistemática e pragmática inspirou a elaboração do modelo analógico “balança de equações” com o objetivo de representar uma equação química a partir da analogia com uma balança de dois pratos. Por fim, modelos analógicos e convencionais foram analisados por professores da EPTNM que identificaram potencialidades e limitações nos seus usos. Apesar dos docentes não relacionarem de forma direta como o uso de modelos pode contribuir para uma Educação Tecnológica, destacamos nas falas dos participantes, independente das limitações identificadas, que os modelos se constituem uma ferramenta de ensino vantajosa para representar entidades de interesse científico, bem como, para facilitar a aplicabilidade de conceitos e procedimentos profissionais e do cotidiano dos estudantes.

Palavras chave: Analogias. Ensino de Química. Estequiometria. Modelos.

Assis, Luciana Paula de. Pedagogical Potentialities and Limitations in the Use of Analog Models for Teaching Stoichiometry in Technological Education. Advisor: Alexandre da Silva Ferry. 2020. 217 f. Thesis (Master in Technological Education). Federal Center for Technological Education of Minas Gerais. Belo Horizonte.

## ABSTRACT

This master's thesis, inserted in the line of research on educational practices in Science and Technology of the Graduate Program in Technological Education, presents the results of an investigation that analyzed analogies and models in the context of chemical stoichiometry. The guiding research question was: what are the pedagogical potentialities and limitations of analog models designed for the teaching of Chemistry, in the context of stoichiometry, from the perceptions of teachers of Technical Education in High School? Within the perspective of the Structural Mapping Theory, we conceive analogies as relational comparisons, that is, with a focus on the correspondence of relationships between a base domain, known, and another target domain, unknown. The models were conceived as partial representations of entities of scientific interest developed with specific pedagogical objectives. Therefore, the study investigated aspects of the processes of creation, development and appropriation of models based on analogies for teaching stoichiometry in the context of Technological Education, and analyzed the perception of teachers regarding the potential and limitations of these mediational resources in eventual usage situations. For this, the research, characterized by a qualitative approach, with the objective of an exploratory study, involved a Case Study and was developed in three stages: (i) Analysis of the analog potential of comparisons in the context of stoichiometry present in Brazilian Chemistry textbooks, through structural mappings; (ii) Elaboration of an analog model, based on structurally consistent, systematic and pragmatic analogies; (iii) Presentation of analog models for Chemistry teachers from CEFET-MG, through focus groups. In the first stage, 19 distinct resources were adopted as comparisons by the textbook authors, of these, 16 were classified according to the theoretical framework: 11 analogies, 4 abstractions and 1 relational metaphor. Only 3 were classified in other categories: 1 emerging category (comparison by contrast), 1 conventional model and 1 analog model, due to the non-classification of their characteristics in any of the other types of comparison provided by the theoretical framework. In the second stage, a consistent, systematic and pragmatic comparison inspired the development of the analogue model "balance of equations" with the aim of representing a chemical equation based on the analogy with a two-plate scale. Finally, analogical and conventional models were analyzed by Chemistry teachers who identified potentialities and limitations in their uses. Although teachers did not directly relate how the use of models can contribute to a Technological Education, we highlight in the speeches of the participants, regardless of the limitations identified, that the models are an advantageous teaching tool to represent entities of scientific interest, as well as, to facilitate the applicability of students' professional and everyday concepts and procedures.

Keywords: Analogies. Chemistry teaching. Stoichiometry. Models.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interseção dos campos de estudos envolvidos nesta pesquisa. ....	21
Figura 2 - Esquema identificando os conceitos de modelo, análogo e alvo; e os processos de analogia e modelagem.....	24
Figura 3 - Exemplo de isomorfismo de uma analogia para o ensino de Química. ....	43
Figura 4 – Exemplos de alta similaridade semântica (1º caso) e baixa similaridade semântica (2º caso). ....	44
Figura 5 - Modelo de Modelagem.....	46
Figura 6 - Esquema relacional entre a modelagem convencional (MC) e a modelagem analógica (MA) de uma equação química proposta na pesquisa.....	53
Figura 7 - Protótipo do modelo analógico balança de equações. ....	54
Figura 8 - Metáfora relacional “balanceamento de equação química”, livro A. ....	71
Figura 9 - Comparação explícita da balança de dois pratos para o acerto de coeficientes estequiométricos, encontrada no livro F.....	72
Figura 10 - Modelo para o acerto de coeficientes estequiométricos, livro F. ....	78
Figura 11 - Modelo de clipes. ....	83
Figura 12 - Analogia entre “dimensão atômica” e “dimensão da Terra”, livro F. ....	84
Figura 13 - Analogia entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja, livro E. ....	86
Figura 14 - Analogia entre “massa molar” e “massa de frutas”, livro C. ....	89
Figura 15 - Analogia entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”, livro D. ....	93
Figura 16 - Analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”, livro E. ....	98
Figura 17 - Analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”, livro E.....	101
Figura 18 - Analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”, livro F.....	104
Figura 19 - Analogia entre a “proporção entre as massas de átomos e moléculas” e “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”, livro C.....	109
Figura 20 - Comparação por contraste presentes nos livros A, C, D, E e F.....	113
Figura 21 - Analogia entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”, livro C.....	115
Figura 22 - Abstração entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”, livro D. ....	119

Figura 23 - Abstração entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”, livro D. ....	121
Figura 24 - Analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro B. ....	124
Figura 25 - Analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro D. ....	124
Figura 26 - Analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro F. ....	125
Figura 27- Analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”, livro B. ....	133
Figura 28 - Analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”, livro E. ....	137
Figura 29 - Modelo analógico “balança de equações”: balança equilibrada. ....	150
Figura 30 - Modelo analógico “balança de equações”: balança desequilibrada. ....	150
Figura 31 - Elementos do mapeamento do Quadro 32 identificados no modelo concreto. ....	153

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados da busca avançada no Portal de Periódicos da CAPES, em 14 fev. 2020.....	29
Quadro 2 - Resultados da busca avançada na base de dados ERIC (ProQuest), em 14 fev. 2020.....	29
Quadro 3 - Resultados da busca avançada na base de dados Scielo, em 14 de fev. 2020.....	30
Quadro 4 - Conceitos de analogia por alguns autores.....	36
Quadro 5 - Classificação dos tipos de comparação segundo a TME.....	38
Quadro 6 – Codificação dos livros de Química do PNLD/2018. ....	50
Quadro 7 - Padrão de representação utilizado nas correspondências no mapeamento estrutural de comparações com as adaptações da notação das correspondências das relações de ordem superior.....	50
Quadro 8 – Sinais gráficos adotados na transcrição das interações discursivas ocorridas nos grupos focais. ....	57
Quadro 9 - Categorias de análise dos dados empíricos. ....	58
Quadro 10 - Quantidades de comparações encontradas nos livros didáticos de Química do PNLD/2018 nos subtópicos da Estequiometria. ....	64
Quadro 11 - Comparações no contexto da estequiometria encontradas nos livros do PLND/2018, com seus respectivos DB, DA, propósito contextual, foco da comparação, classificação preliminar e livro correspondente. ....	66
Quadro 12 - Mapeamento estrutural da analogia da balança de dois pratos, livro F.73	
Quadro 13 – Mapeamento estrutural do “modelo de cliques”, encontrado no livro F. .	80
Quadro 14 - Mapeamento estrutural da analogia entre “dimensão atômica” e “dimensão da Terra, livro F.....	84
Quadro 15 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja, livro E. ....	86
Quadro 16 - Mapeamento estrutural da analogia entre “massa molar” e “massa de frutas”, livro C. ....	90
Quadro 17 - Mapeamento estrutural da analogia entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”, livro D. ....	93
Quadro 18 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”, livro E. ....	99

Quadro 19 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”, livro E.....	102
Quadro 20 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”, livro F.....	105
Quadro 21 - Mapeamento estrutural da analogia “proporção entre as massas de átomos e moléculas” e “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”, livro C.....	109
Quadro 22 - Mapeamento estrutural da analogia entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”, livro C.....	115
Quadro 23 - Mapeamento estrutural da analogia entre “constante de Avogadro” e “consumo mundial de um mol de arroz”, livro C.....	117
Quadro 24 - Mapeamento estrutural da abstração entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”, livro D.....	119
Quadro 25 - Mapeamento estrutural da abstração entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”, livro D.....	122
Quadro 26 - Mapeamento estrutural da analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro B, D e F.....	125
Quadro 27 - Mapeamento estrutural da analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”, livro B.....	133
Quadro 28- Mapeamento estrutural da analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”, livro E.....	138
Quadro 29 – Subtópicos da estequiometria que apresentaram alguma comparação, seu tipo e o livro didático.....	142
Quadro 30– Quantidade de correspondências mapeadas nas comparações de estequiometria identificadas nos livros do PNLD/2018.....	144
Quadro 31 – Síntese da análise estrutural, semântica e pragmática das comparações dos subtópicos de estequiometria encontradas nos livros do PNLD/2018.....	145
Quadro 32 – Mapeamento estrutural do modelo analógico “balança de equações”.....	151
Quadro 33 – Limitações da analogia entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”.....	155
Quadro 34 - Quantidade de correspondências da analogia “balança de dois pratos” e do modelo “balança de equações”.....	156

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados quanto a classificação do tipo de modelagem: convencional ou analógica. ....	181
---	-----

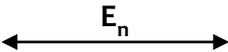
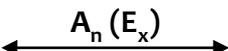
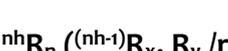
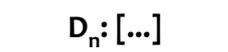
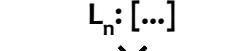
## LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AMTEC	ERIC ProQuest
Grupo de Pesquisa em Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência, 20	Educational Resources Information Center, 28
C&T	EVA
Ciência & Tecnologia, 19	Acetato-Vinilo de Etileno, 54
CAPES	GEMATEC
Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, 28	Grupo de Estudos de Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência, 20
CEFET-MG	MA
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 20	Modelagem Analógica, 53
CEP	MC
Comitê de Ética em Pesquisa, 19	Modelagem Convencional, 53
CNS	PNLD
Conselho Nacional de Saúde, 60	Programa Nacional do Livro Didático, 18
DA	PNLEM
Domínio Alvo, 37	Plano Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio, 22
DB	Scielo Brasil
Domínio Base, 37	Scientific Eletronic Library Online, 28
EM	TCLE
Ensino Médio, 22	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, 55
ENPEC	TME
Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 20	Teoria do Mapeamento Estrutural, 18
EPTNM	UFMG
Educação Profissional Técnica de Nível Médio, 18	Universidade Federal de Minas Gerais, 19

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Ob<sub>1</sub></b>	Primeiro objeto da base
<b>Ob<sub>2</sub></b>	Segundo objeto da base
<b>Ot<sub>1</sub></b>	Primeiro objeto do alvo ( <i>target</i> )
<b>Ot<sub>2</sub></b>	Segundo objeto do alvo ( <i>target</i> )
<b>Rb</b>	Relação na base
<b>Rt</b>	Relação no alvo ( <i>target</i> )
<b>m</b>	Mapeamento

### Nos mapeamentos estruturais

	Correspondência entre Elementos
	Correspondências entre Atributos
	Correspondências entre relações de primeira ordem, isto é, de menor complexidade (r)
	Correspondências entre relações de segunda ordem ou de ordem superior, isto é, de maior complexidade (R)
	Diferença alinhável da comparação
	Limitação da comparação

### Na transcrição das falas

/	Pausa breve
;	Finalização do turno de fala com aparente conclusão do raciocínio
/;	Finalização do turno de fala sem aparente conclusão do raciocínio
<b>((h min s))</b>	Tempo no áudio de referência da transcrição (h, min e s representam números inteiros e significam, respectivamente, hora, minuto e segundo)
<b>[...]</b>	Trecho inaudível ou irrelevante para a pesquisa
<b>[[...]]</b>	Omissão por categorização – Utilizado para omitir parte consideradas não importantes para a análise.
<b>Participante    </b>	Fala de outro participante realizada por interrupção

(?)	Sinalização de uma aparente pergunta
(!)	Sinalização de uma aparente afirmação enfática.
(!?)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ indagação retórica;</li> <li>▪ quando um participante interrompe o falante para:</li> <li>▪ confirmar a informação dita anteriormente;</li> <li>▪ retomar algum raciocínio;</li> <li>▪ ou acompanhar o raciocínio dos demais participantes.</li> </ul>
(*)	Indica incerteza na transcrição da palavra (pode ter sido transcrita uma palavra foneticamente similar).
./	Interrupção e/ou reorganização/redirecionamento do raciocínio feito pelo próprio falante.
.../	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ quando precedido por uma palavra, indica extensão do fonema;</li> <li>▪ quando precedido de “barra + espaço”, indica que o falante mudou o raciocínio no mesmo turno de fala</li> </ul>
/...	Quando um falante é interrompido por um participante, mas continua seu turno de fala logo em seguida.
<b>[sílaba]</b>	Aparece como sílaba alternativa de uma palavra cujo áudio deixou dúvidas sobre a transcrição; a tag (indefinido) após o término da palavra será empregada em conjunto com esse sinal gráfico.
{ }	Descrição de aspectos relevantes que não puderam ser captados pelo gravador de áudio, mas que foram registrados em caderno de campo.
<b>[inaudível]</b>	palavra ou trecho não capturada(o) claramente.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1	<b>Apresentação da proposta</b> .....	18
1.2	<b>Objetivos</b> .....	19
1.2.1	Objetivo Geral.....	19
1.2.2	Objetivo Específico .....	19
1.3	<b>Apresentação da Pesquisadora e sua relação com o objeto da pesquisa</b> .....	19
1.4	<b>Os campos que essa pesquisa se insere</b> .....	20
1.5	<b>Justificativa</b> .....	25
1.6	<b>Panorama da Dissertação</b> .....	26
2	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	28
2.1	<b>Procedimentos da Revisão Bibliográfica</b> .....	28
2.2	<b>Ensino de Estequiometria</b> .....	30
2.3	<b>Ensino de Estequiometria com Analogias e Modelos</b> .....	34
3	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	36
3.1	<b>Teoria do Mapeamento Estrutural (TME)</b> .....	37
3.2	<b>Teoria das Múltiplas Restrições</b> .....	42
3.3	<b>Campo da Modelagem na Educação em Ciências</b> .....	45
4	<b>METODOLOGIA</b> .....	49
4.1	<b>Análise do Potencial Analógico</b> .....	49
4.2	<b>Elaboração do Modelo Analógico</b> .....	52
4.3	<b>Apresentação de Modelos para Professores de Química</b> .....	55
4.3.1	Grupo Focal.....	55
4.3.1.1	<i>Análise do Grupo Focal</i> .....	57
4.3.2	Aspectos éticos da investigação .....	59
5	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	63
5.1	<b>Análise do potencial analógico de comparações</b> .....	63
5.1.1	Comparação entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos” .....	70
5.1.1.1	<i>Comparação explícita da balança de dois pratos</i> .....	71
5.1.1.2	<i>Modelo didático para o acerto de coeficientes estequiométricos</i> .....	78

5.1.2	Comparação entre “dimensão atômica” e “dimensão da Terra” .....	83
5.1.3	Comparação entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja” .....	85
5.1.4	Comparação entre “massa molar” e “massa de frutas” .....	89
5.1.5	Comparações para “Quantidade de Matéria” .....	92
5.1.5.1	<i>Comparação entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno” .....</i>	<i>924</i>
5.1.5.2	<i>Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma” .....</i>	<i>98</i>
5.1.5.3	<i>Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano” .....</i>	<i>101</i>
5.1.5.4	<i>Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol” .....</i>	<i>103</i>
5.1.5.5	<i>Comparação entre “proporção entre as massas de átomos e moléculas” e “proporção entre as massas de bolinhas diferentes” .....</i>	<i>108</i>
5.1.6	Comparações para Constante de Avogadro .....	112
5.1.6.1	<i>Comparação por contraste .....</i>	<i>112</i>
5.1.6.2	<i>Comparação entre “Constante de Avogadro” e “Folhas de papel sulfite” .....</i>	<i>114</i>
5.1.6.3	<i>Comparação entre “Constante de Avogadro” e “Consumo mundial de um mol de arroz” .....</i>	<i>117</i>
5.1.6.4	<i>Comparação entre “Constante de Avogadro” e “Tempo para contar moléculas de água” .....</i>	<i>118</i>
5.1.6.5	<i>Comparação entre “Constante de Avogadro” e “Voltas na Terra por um mol de moléculas” .....</i>	<i>121</i>
5.1.7	Comparação entre “lei de Proust e relações Estequiométricas” e “receita culinária” .....	123
5.1.8	Comparação Reagente Limitante e Reagente em Excesso .....	132
5.1.8.1	<i>Comparação entre “Reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores” .....</i>	<i>133</i>
5.1.8.2	<i>Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche” .....</i>	<i>136</i>
5.1.9	Análise das comparações de estequiometria dos livros PNLD/2018.....	142
5.2	<b>Elaboração do modelo analógico</b> .....	149
5.3	<b>Apresentação de modelos para professores de Química</b> .....	157

5.3.1 Primeira sequência dos grupos focais .....	158
5.3.1.1 <i>Aspectos relacionados a prática de ensino de estequiometria</i> .....	158
5.3.1.2 <i>Aspectos relacionados ao emprego de analogias e modelos no ensino de estequiometria</i> .....	161
5.3.2 Segunda sequência dos grupos focais .....	168
5.3.2.1 <i>Aspectos relacionados as características e ao uso dos recursos apresentados</i> .....	169
5.3.2.2 <i>Aspectos relacionados as características dos recursos apresentados</i> .....	179
5.3.3 Terceira sequência do grupo focal.....	185
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>188</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>193</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>198</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação da proposta

Esta pesquisa se insere no Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG na linha de pesquisa de Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia, mais especificamente no âmbito do ensino de Química no tópico de estequiometria. A proposta foi desenvolvida em torno da temática de analogias e modelos no ensino de estequiometria química incluindo o contexto da Educação Tecnológica.

A pesquisa que originou esta dissertação foi desenvolvida a partir da seguinte questão: quais as potencialidades e limitações pedagógicas de modelos analógicos concebidos para o ensino de Química, no contexto da estequiometria, a partir das percepções de professores da Educação Profissional Técnica de Nível Médio?

Buscando responder a essa questão, iniciamos com a leitura integral dos capítulos que envolviam o contexto da estequiometria nos livros aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018 na busca de identificar potenciais analogias presentes nesses livros. Essa leitura integrou a primeira parte desta investigação, que se constituiu na análise do potencial analógico dessas comparações encontradas nesse tópico de conteúdo da Química a partir das suas análises estruturais, semânticas e pragmáticas de acordo com a Teoria do Mapeamento Estrutural (TME) de Gentner (1983) e a Teoria das Múltiplas Restrições de Holyoak & Thagard (1989).

Em seguida, a partir das analogias consideradas mais complexas, de acordo com sua análise estrutural, semântica e pragmática, definimos uma para a elaboração de um modelo analógico seguindo os passos do processo de modelagem de Gilbert & Justi (2016) e considerações sobre a análise estrutural de modelos de Almeida, Almeida & Ferry (2018).

Na terceira etapa dessa investigação, apresentamos modelos para professores da Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM), através de dois grupos focais, com a finalidade de identificar as potencialidades e limitações pedagógicas desses recursos em eventuais situações de uso em sala de aula. Os dados dos grupos focais foram coletados por meio de registros de áudios e anotações em um caderno de campo em setembro de 2019. Para a realização dessa etapa, o

projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da mesma instituição de ensino do programa de pós-graduação no qual esta pesquisa foi desenvolvida.

Portanto, o nosso objeto de pesquisa são os modelos, especialmente os fundamentados em analogias, que nesta dissertação chamamos de modelos analógicos. Por conseguinte, a nossa pesquisa foi desenvolvida em torno das possibilidades pedagógicas do uso de modelos analógicos como recursos mediacionais do processo de construção e compartilhamento de significados em Química, no contexto da Educação em Ciências e suas Tecnologias, especificamente na estequiometria química a ser ensinada para estudantes da EPTNM.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Investigar potencialidades e limitações pedagógicas de práticas educativas em Ciência & Tecnologia (C&T) fundamentadas em modelagem analógica a fim de contribuir para o campo de estudos constituído na interface da Educação em Ciências e da Educação Tecnológica.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

Analisar aspectos dos processos de criação, desenvolvimento e apropriação de modelos analógicos como recurso de mediação para o ensino de um tópico específico de conteúdo da Química – a Estequiometria – no contexto da Educação Tecnológica, e analisar a percepção de professores da Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM) a respeito das potencialidades e limitações desses recursos mediacionais em eventuais situações de uso.

## **1.3 Apresentação da Pesquisadora e sua relação com o objeto da pesquisa**

Desde 2011, quando ainda cursava Química Tecnológica na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ministrava aulas particulares e/ou para pequenos grupos em salinhas de estudos e de reforço escolar, principalmente, para alunos de Nível Médio ou preparatório para o ENEM. A partir dessa experiência, o interesse pela licenciatura se fortaleceu, o que me fez em 2016, após a conclusão do curso de Química Tecnológica, ingressar no Programa Especial de Formação de Docentes do

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). O título de licenciatura plena me possibilitou trabalhar como docente na rede pública estadual, onde sou efetiva desde final de 2018.

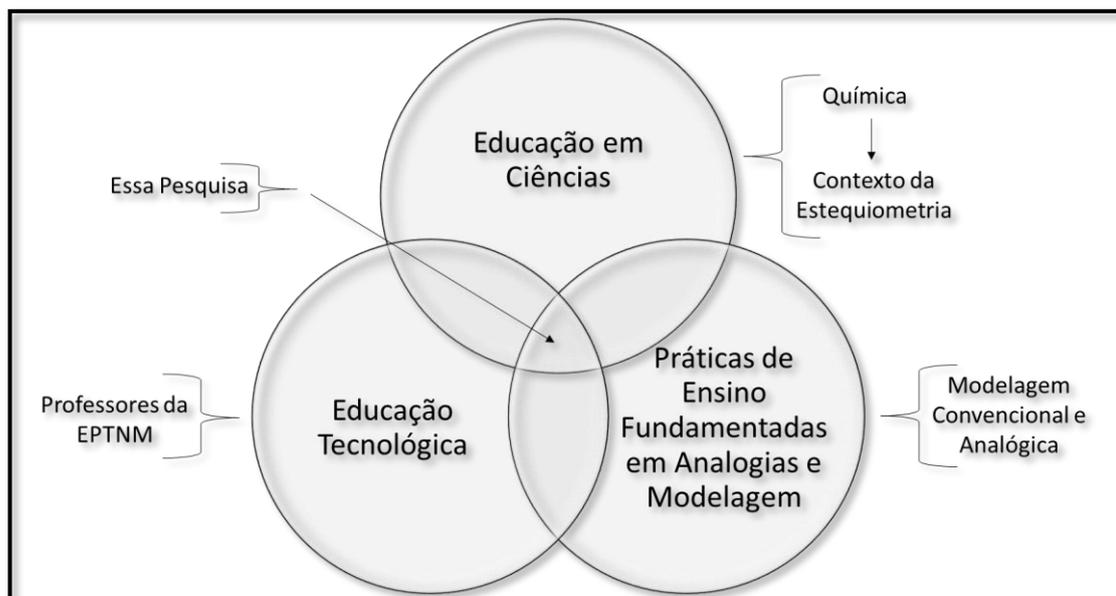
No curso de Formação de Docentes eu conheci o Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG, o que despertou o meu interesse em pesquisas na área da Educação. Com o objetivo de ingressar no mestrado, cursei disciplinas na modalidade isolada para conhecer melhor o programa e sua abrangência. Foi nessa trajetória que conheci o Grupo de Estudos de Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência (GEMATEC) e o Grupo de Pesquisa em Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência (AMTEC). Duas dessas disciplinas foram relacionadas a analogias e modelos, onde surgiu o interesse pelo tema desta pesquisa. Diante dessa experiência e a partir da prática docente já exercida anteriormente, percebo na Química alguns desafios para educandos e educadores, em especial, no tópico de estequiometria química, assunto que os estudantes têm apresentando demasiada dificuldade durante minha trajetória docente. Toda essa relação e experiência docente, alinhado ao interesse pela pesquisa no campo da modelagem, motivou a proposta desta investigação.

O mestrado tem possibilitado a minha formação como pesquisadora na área da Educação, mais especificamente no estudo com analogias e modelos no ensino de Química, além de viabilizar a participação em eventos acadêmicos como a Semana de Ciência & Tecnologia, a Mostra Específica de Trabalhos e Aplicações (META), o Seminário Educação e Formação Humana: Desafios do Tempo Presente, o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), entre outros eventos acadêmicos da área da Educação em Ciências.

#### **1.4 Os campos que essa pesquisa se insere**

Consideramos que essa pesquisa se insere na aproximação de três campos de estudos: i) Educação em Ciências; ii) Práticas de Ensino fundamentadas em analogias e modelagem e iii) Educação Tecnológica, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Interseção dos campos de estudos envolvidos nesta pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No âmbito da Educação em Ciências, a pesquisa está relacionada ao ensino de Química, mais especificamente no contexto da estequiometria. O estudo da Química pode se configurar como uma ferramenta eficaz para a formação do cidadão, uma vez, que o estudo científico permite uma visão mais crítica e consciente acerca dos fenômenos a seu redor (COSTA & SOUZA, 2013). Além disso, um dos objetivos da Química é despertar o interesse do estudante pelas Ciências e relacioná-la com o seu cotidiano (SILVA, BERTINI & ALVES, 2018). Entre os tópicos abordados na Química, temos a estequiometria, que muitas vezes é abordada como um tema isolado, mas de fundamental relevância para diversos contextos do ensino de Química, ou seja, não se relaciona a estequiometria com outros conteúdos e nem com o cotidiano do estudante (TRISTÃO, DEFREITAS-SILVA & JUSTI, 2008). Além disso, a estequiometria abrange a representação das transformações químicas nos três domínios da matéria: o macroscópico, o microscópico e o simbólico (SANTOS & SILVA, 2013). Em conjunto ao exposto, a Química é considerada por diversos autores como uma ciência abstrata e de difícil compreensão. Consequentemente, os estudantes apresentam dificuldades na compreensão e aplicação desses conceitos em situações-problema propostas por professores em sala de aula. Conforme evidenciado por Gomes & Macedo (2007) na investigação sobre o motivo da dificuldade encontrada pelos alunos na aprendizagem de estequiometria, aproximadamente 60% dos estudantes participantes responderam que sentem

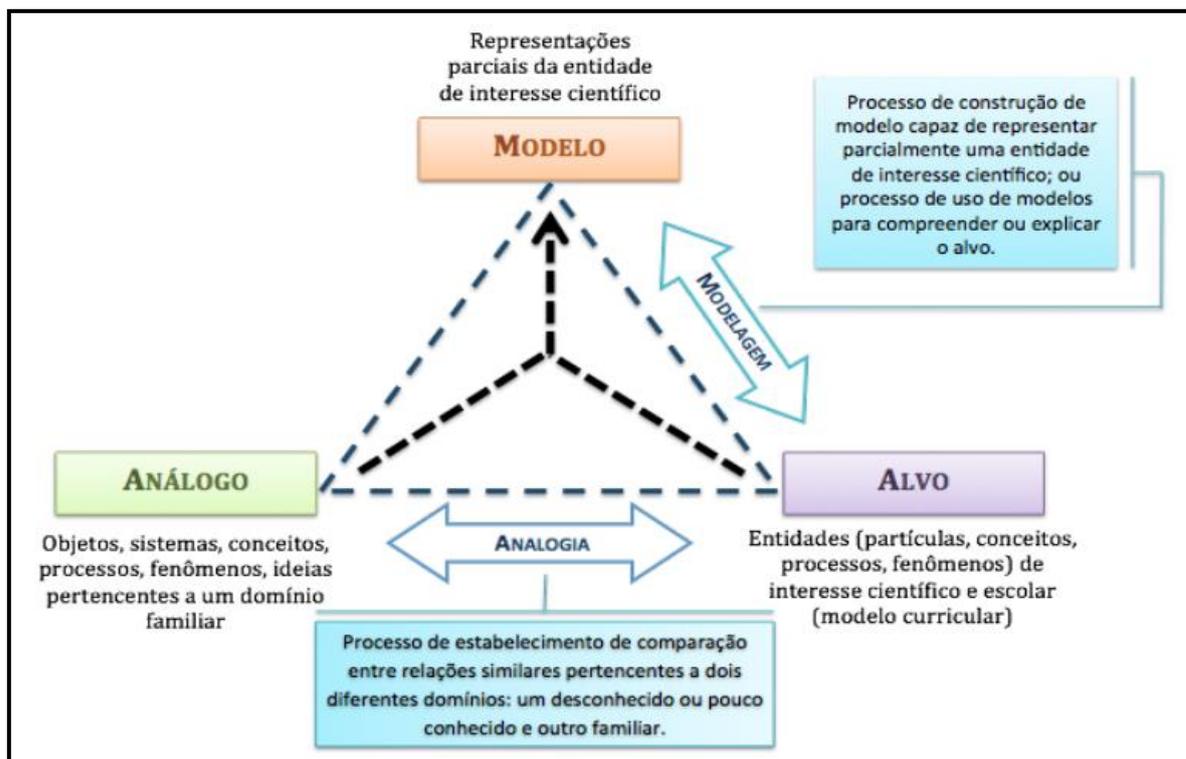
dificuldade nesse tópico de conteúdo e 65% consideraram que ela não tem aplicação no cotidiano. Tristão, Defreitas-Silva & Justi (2008) identificaram que 61% dos alunos que ingressaram em um curso superior de Química em 2006 apresentavam alguma dificuldade em relação ao tema de cálculos estequiométricos. Além disso, a nossa experiência como docente nos permite perceber que os estudantes, de modo geral, apresentam “resistência” em relação ao tema de estequiometria química no Ensino Médio (EM), o que torna a prática docente desafiadora.

No âmbito das práticas de ensino fundamentadas em analogias e/ou modelagem, o estudo se insere com a utilização de analogias como fontes para a elaboração de modelos – os modelos analógicos. As comparações são potenciais ferramentas facilitadoras para assimilação e compreensão de conteúdos e são muito utilizadas por professores e autores de livros didáticos. Um tipo de comparação muito utilizado no ensino de Ciências são as analogias, consideradas como facilitadoras na visualização de conceitos abstratos (DUIT, 1991), além de auxiliar na construção de novos significados por meio da associação com conhecimentos já familiares aos estudantes (GALAGOVSKY & ADÚRIZ-BRAVO, 2001). Como mencionado, as comparações, em especial as analogias, são muito utilizadas por autores em livros didáticos, talvez por ser considerado o principal recurso utilizado por professores e alunos no processo de ensino e aprendizagem sendo, em muitos casos, o único material didático disponível sobre o tema (SILVA, LIMA & SILVA, 2010; BERNARDINO & RODRIGUES & BELLINI, 2013). Em pesquisas sobre a utilização de analogias em livros textos brasileiros, é comum o tema estequiometria aparecer entre os quais mais se empregam esse recurso. Por exemplo, Monteiro & Justi (2000) identificaram que esse tema era o quarto com maior número de analogias presentes em onze coleções analisadas. Francisco Junior (2009), também, identificou a estequiometria como o quarto assunto com maior número de analogias nos seis livros aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) de 2007. Já em Silva, Lima & Silva (2010), a estequiometria ficou em quinto, de dez tópicos analisados, com a maior quantidade de analogias. Apesar das pesquisas terem sido realizadas, em sua maioria, com livros e coleções diferentes, consideramos relevante a estequiometria em todas elas aparecer como um dos principais temas que os autores de livros textos utilizaram analogias. No entanto, Duarte (2005) indica que o uso de analogias como estratégia de ensino implica cuidados por parte dos autores e dos docentes ao explorarem-nas em sala de aula, de modo a não gerar uma

interpretação equivocada do conceito científico. Assim, uma análise do seu potencial analógico através da análise estrutural, semântica e pragmática é fundamental para indicar se a comparação pode se configurar como uma analogia adequada para a elaboração de um modelo. Nesse aspecto, a teoria do mapeamento estrutural de Gentner (1983) e a teoria das múltiplas restrições de Holyoak & Thagard (1989) permitem uma análise estrutural, semântica e pragmática criteriosa de comparações.

Os modelos na educação em Ciências também se constituem como um recurso mediacional muito utilizado no ensino e na aprendizagem de conceitos científicos. Na filosofia, inicialmente, os modelos eram discutidos em termos teóricos, entretanto, atualmente eles são enunciados com a ideia geral de representação da realidade baseados nas similaridades entre as entidades modeladas (GILBERT & JUSTI, 2016). Os cientistas recorrem aos modelos como as principais ferramentas para produzir conhecimento científico (NERSESSIAN, 1999), pois os utilizam para representar algum aspecto do mundo real (GIERE, 2004), o que viabiliza a utilização dos modelos como recurso de mediação pedagógica, uma vez que eles possibilitam acesso a representações semelhantes às entidades de interesse científico (GALAGOVSKY & ADÚRIZ-BRAVO, 2001). Entre os tipos de modelos existentes, temos os modelos analógicos, derivados do processo de criação de representações parciais de entidades de interesse científico a partir do estabelecimento de comparações (analogias) entre essas entidades e objetos, fenômenos, processos ou sistemas pertencentes a outros domínios, tomados como base para a construção das analogias por serem considerados familiares, seja para quem estabelece ou para quem tenta compreendê-las. Oliva Martínez & Aragón-Méndez (2009) afirmam que as analogias se constituem como um tipo de recurso na elaboração de modelos, pois podem contribuir para a imaginação e criatividade no contexto escolar. Almeida, Almeida & Ferry (2018) reconhecem que as analogias podem se configurar como base para o processo de desenvolvimento de modelos, conforme esquema da Figura 2, que ilustra a diferença entre os conceitos de análogo, alvo e modelo; e entre os processos de analogia e modelagem.

Figura 2 - Esquema identificando os conceitos de modelo, análogo e alvo; e os processos de analogia e modelagem.



Fonte: Almeida, Almeida & Ferry (2018).

Portanto, as analogias podem ser fontes de ideias para a construção de modelos (MOZZER & JUSTI, 2018). Além disso, “a vivência da modelagem analógica favorece o desenvolvimento pelos estudantes de capacidades relacionadas ao raciocínio analógico” (MOZZER & JUSTI, 2018). Desse modo, considerando a relevância do ensino e da aprendizagem com modelos, em especial os modelos analógicos, um estudo criterioso de analogias é fundamental para o campo da modelagem analógica, uma vez que eles são propostos a partir de comparações entre um domínio base (familiar, conhecido) e um domínio alvo (desconhecido ou pouco conhecido). Ademais, considerando o contexto da Educação em Ciências que essa investigação se insere, em especial o ensino de Química, devemos considerar que “a chave para alcançar uma compreensão abrangente da Química é o ato de modelar” (traduzido de JUSTI & GILBERT, 2006), ou seja, a modelagem pode ser potencializadora para o ensino e aprendizagem de Química.

No âmbito da Educação Tecnológica, essa pesquisa se preocupou, mesmo que de forma incipiente, com a perspectiva de como práticas educativas fundamentadas em modelagem, em especial os modelos analógicos, podem contribuir para uma educação tecnológica. Como “a ciência e tecnologia modificam cada vez

mais o cenário de nossas vidas” (GRINSPUN, 2001, p. 62), julgamos relevante abordar o conceito e inserção dessa pesquisa no âmbito da Educação Tecnológica. A Educação Tecnológica é um termo de difícil definição, devido a sua multiplicidade de significados abordada por diferentes autores (DURÃES, 2009). No entanto, nossa investigação perpassa pela compreensão da educação tecnológica não apenas como uma modalidade relacionada com a profissionalização e a preparação para o mundo do trabalho, e sim, como um processo educativo que envolve a concepção de tecnologias e a concepção de educação (OLIVEIRA, 2000). Além disso, educação tecnológica como um processo em que o estudante adquire competências quanto ao conhecimento tecnológico (sócio/ histórico/ técnico/ tecnológico/ metodológico) em combinação com elementos cognitivos do saber, do saber fazer e do saber ser e estar (AGUAYO & LAMA, 1998). Ainda nessa perspectiva, consideramos o seu viés pedagógico, em que o indivíduo, não apenas aprenda a usar tecnologias, mas que consciente do seu uso, perigos e desafios, possa, também, criar e transformar tecnologias para a sociedade (GRINSPUN, 2001). A educação tecnológica seria, assim, a mediação entre a educação e tecnologia para fomentar um ensino transformador em que muito mais que saber fazer, o estudante possa saber-ser (GRINSPUN, 2001).

### **1.5 Justificativa**

No ensino de Ciências, a utilização das analogias e de modelos como recurso didático é muito frequente. Observamos que diversos autores de livros didáticos, assim como professores, utilizam vários tipos de comparação e modelos na elaboração de materiais didáticos e em suas práticas docentes. Levando isso em consideração, julgamos relevante que novas pesquisas nessa área sejam desenvolvidas a fim de compreender possíveis implicações da utilização desses recursos de mediação pedagógica em sala de aula.

No ensino de Química observamos a presença de atividades pedagógicas que envolvem analogias e modelos, principalmente, em razão do caráter demasiadamente complexo e abstrato das entidades de interesse científico. Um conteúdo que é apresentado como desafiador e de difícil abordagem por parte de professores é o da estequiometria química. Diante disso, consideramos relevante aprofundar estudos nesse tópico de conteúdo com o objetivo de contribuir com novos

modos de mediação pedagógica para o ensino de Ciências, mais especificamente o de Química, no contexto da estequiometria.

Além disso, no âmbito do ensino de Ciências com modelos, essa investigação se insere na necessidade e relevância de se compreender aspectos pedagógicos das práticas de ensino fundamentadas na modelagem analógica que, provavelmente, são diferentes daquelas fundamentadas em modelagem convencional. Ademais, a identificação e análise das potencialidades e limitações de atividades didáticas fundamentadas em modelagem no ensino de estequiometria podem promover reflexões sobre o ensino de Ciências para uma Educação Tecnológica.

Desse modo, a pesquisa tem a relevância de colaborar e fomentar estudos no campo de modelagem analógica, especialmente no âmbito do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG, elaborando modelos fundamentados em analogias, de forma a enriquecer e contribuir para as práticas educativas em Ciência e Tecnologia. Além disso, este estudo pode contribuir para o desenvolvimento e sistematização de uma metodologia de modelagem analógica para o campo da Educação em Ciências.

## **1.6 Panorama da Dissertação**

Esta dissertação foi dividida em seis capítulos. Este primeiro capítulo em que apresentamos a proposta da investigação, assim como, os objetivos, os campos em que a pesquisa se insere e a justificativa.

O segundo capítulo é dedicado a revisão bibliográfica, em que procedemos com uma busca em três bases de dados: CAPES, ERIC ProQuest e Scielo Brasil. Tivemos por objetivo conhecer um pouco melhor as pesquisas que têm sido desenvolvidas no campo das analogias e modelos no ensino de Química, especialmente no contexto da estequiometria.

No capítulo três, abordamos nosso referencial teórico: no campo das analogias com a Teoria do Mapeamento Estrutural (TME) de Gentner (1983) e a Teoria das Múltiplas Restrições de Holyoak & Thagard (1989) e no campo da modelagem, abordamos Gilbert & Justi (2016) com o “modelo de modelagem” e as contribuições de Almeida, Almeida & Ferry (2018) com a análise estrutural de modelos.

O capítulo quatro traz o procedimento metodológico utilizado durante a investigação desde a etapa de planejamento até a análise dos resultados. Nele é possível o leitor compreender todo o processo de idealização da pesquisa, como foi feita a escolha e análise das analogias dos livros didáticos aprovados no PNLD/2018, o desenvolvimento do modelo analógico e a etapa final de análise com a execução de dois grupos focais com professores da EPTNM, bem como, a categorização das falas de acordo com nossos objetivos seguindo as recomendações metodológicas de Bardin (2016).

No quinto capítulo temos a apresentação dos resultados e das discussões das três etapas de desenvolvimento da pesquisa: 1ª) análise do potencial analógico das analogias encontradas nos livros do PNLD/2018 no contexto da estequiometria, 2ª) apresentação e análise estrutural do modelo analógico desenvolvido e 3ª) análise das potencialidades e limitações pedagógicas de modelos identificadas pelas percepções dos professores da EPTNM que participaram dos grupos focais.

Por fim, no sexto capítulo temos as considerações finais em que retomamos nosso problema de pesquisa a partir dos resultados obtidos na investigação e apontamos reflexões sobre possíveis pesquisas futuras no campo da modelagem em Ciência e Tecnologia.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Procedimentos da Revisão Bibliográfica

Realizamos uma revisão bibliográfica nos periódicos do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através da busca avançada, e em mais duas bases de dados: *Educational Resources Information Center* (ERIC ProQuest) e *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO Brasil). A ERIC é uma base de dados na área da educação mundialmente reconhecida que contém mais de 1,5 milhão de materiais de consulta e a SciELO Brasil é um portal que fornece acesso a materiais e artigos brasileiros (FERRY, 2016).

A primeira busca no portal da CAPES foi realizada com o termo, em inglês, “*stoichiometry*” (estequiometria). No entanto, o retorno foi de milhares de artigos, o que inviabilizou o tratamento e a seleção dos trabalhos que se aproximavam da nossa investigação. Uma nova busca avançada com os termos “teaching” AND “stoichiometry” e “teaching stoichiometry”, também, retornou mais de mil artigos. Assim, tentando um direcionamento, nas consultas seguintes, optamos, primeiramente, pela elaboração de expressões booleanas com termos descritores em língua portuguesa. Dessa forma, a expressão booleana “ensino” AND “estequiometria” foi aplicada, gerando um resultado de 20 artigos. Entre esses artigos, encontramos um que apresentava um “estado da arte” sobre investigações a respeito do ensino de estequiometria: Santos & Silva (2013).

Santos & Silva (2013) realizaram um levantamento de pesquisas científicas no âmbito do ensino de estequiometria em 31 bases de dados de periódicos e eventos nacionais e internacionais. As buscas nas bases de dados foram realizadas por meio dos termos *estequiometria, equação química, leis ponderais, lei da conservação das massas, lei das proporções constantes/múltiplas, mol, constante de Avogadro, balanceamento, reagente limitante, fórmulas químicas, rendimento, pureza e quantidade de matéria*. Diante disso, utilizamos as expressões de maior interesse para nosso objeto de estudo, na língua inglesa, de forma a aumentar a abrangência da consulta. Assim, os termos pesquisados foram: “*stoichiometry, mole, Avogadro’s number, Avogadro’s constant, limiting reagent, limiting reactant, yield, reaction yield, percent yield, purity, percent purity, amount of matter, amount of substance, quantity of matter*”. Além disso, como essa pesquisa se enquadra no ensino de Ciências com analogias e modelos, associamos os termos químicos mencionados com as

expressões: analog\* e model\*. Os resultados encontrados nas plataformas pesquisadas estão apresentados nos Quadros 1, 2 e 3. Os dados foram atualizados em 14/02/2020.

Observamos nos quadros 1, 2 e 3 que a quantidade de artigos selecionados para uma revisão bibliográfica prévia é, muitas vezes, consideravelmente inferior a quantidade de artigos encontrados. Isso foi consequência de que muitos artigos encontrados não possuíam relação com a área da Educação, em especial no âmbito da Educação em Ciências ou no contexto do ensino de Química. Além disso, nas pesquisas com os termos analog\* e model\*, consideramos os artigos relacionados no âmbito de analogias e modelos para o ensino de Ciências, sobretudo no ensino de Química.

Quadro 1 - Resultados da busca avançada no Portal de Periódicos da CAPES, em 14 fev. 2020.

<b>Expressão booleana</b>	<b>Resultados</b>	<b>Selecionados</b>
(qualquer) ensino AND estequiometria	20	4
(assunto) stoichiometry AND analog*	20	2
(título) stoichiometry AND model*	169	0
	Total	6

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quadro 2 - Resultados da busca avançada na base de dados ERIC (ProQuest), em 14 fev. 2020.

<b>Expressão booleana</b>	<b>Resultados</b>	<b>Selecionados</b>
(qualquer lugar) analog* AND (stoichiometry OR mole OR Avogadro's number OR Avogadro's constant OR limiting reagent OR limiting reactant OR yield OR reaction yield OR percent yield OR purity OR percent purity OR amount of matter OR amount of substance OR quantity of matter)	62	6
(qualquer lugar) model* AND (stoichiometry OR mole OR Avogadro's number OR Avogadro's constant OR limiting reagent OR limiting reactant OR reaction yield OR percent yield OR purity OR percent purity OR amount of matter OR amount of substance OR quantity of matter)*	91	5
	Total	11
*foi retirada a expressão "yield", pois por ser um termo abrangente, originou 791 resultados, o que inviabilizou a análise dessa busca		

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quadro 3 - Resultados da busca avançada na base de dados Scielo, em 14 de fev. 2020.

Expressão booleana	Resultados	Selecionados
(todos os índices) stoichiometry AND teaching	11	7
(todos os índices) stoichiometry AND analog*	3	2
(todos os índices) stoichiometry AND model*	19	1
(todos os índices) analog* AND (stoichiometry OR mole OR Avogadro's number OR Avogadro's constant OR limiting reagent OR limiting reactant OR yield OR reaction yield OR percent yield OR purity OR percent purity OR amount of matter OR amount of substance OR quantity of matter)	58	1
(título) model* AND (stoichiometry OR mole OR Avogadro's number OR Avogadro's constant OR limiting reagent OR limiting reactant OR yield OR reaction yield OR percent yield OR purity OR percent purity OR amount of matter OR amount of substance OR quantity of matter)	29	0
	Total	11

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os resultados das buscas nas bases de dados mencionadas, apresentados nos quadros 1, 2 e 3, geraram um *corpus* de revisão constituído por 23 artigos, número inferior ao total dos três quadros, pois alguns artigos apareceram mais de uma vez nas buscas entre as bases. A partir de uma primeira leitura sumária desses trabalhos selecionados, percebemos que nenhum aborda diretamente o nosso objeto de estudo, isto é, a modelagem analógica aplicada ao ensino de estequiometria, o que corrobora com a necessidade e o nosso interesse na proposta de investigação apresentada nesta dissertação.

## 2.2 Ensino de Estequiometria

A revisão bibliográfica identificou onze artigos referentes a expressão booleana relacionada ao ensino de estequiometria. Nesse *corpus*, seis artigos são dos últimos cinco anos. Entretanto, consideramos também nessa revisão dois artigos anteriores a 2015 que trouxeram muitas informações sobre o ensino de estequiometria, principalmente, no âmbito nacional. Os artigos são: i) “O estado da arte sobre estequiometria: dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino”, de Santos & Silva (2013) e ii) “Cálculos estequiométricos: o terror nas aulas de Química”, de Gomes & Macedo (2007).

Makhechane & Qhobela (2019) estudaram estratégias de ensino para estequiometria com sete professores do Ensino Médio de Lesoto. A pesquisa consistiu na observação de aulas dos professores, questionários e entrevistas. As estratégias de ensino mais citadas pelos professores foram: aula expositiva, resolução de problemas e experimentos. Entretanto, durante a observação das aulas, o método predominantemente utilizado pelos professores foi de aula expositiva com exercícios para praticar ao final das aulas. Ademais, observaram que os professores dividiam o conteúdo em vários subtópicos, porém isso não garantiu uma simplificação da complexidade dos conceitos desse tópico de conteúdo. Entretanto ao utilizar analogias como método de ensino, constataram que se configuraram como um facilitador no entendimento dos conceitos de estequiometria. Além disso, os autores recomendam que programas dentro das universidades sejam criados com o objetivo de auxiliar professores da Educação Básica com tópicos desafiadores, como a estequiometria.

Silva, Bertini & Alves (2018) investigaram o repositório de objetos de aprendizagem para o ensino de estequiometria. Eles analisaram três bancos de dados e identificaram nove objetos que poderiam ser utilizados para o ensino desse tópico de conteúdo. Fizeram essa pesquisa com a intenção de promover um incentivo ao uso de metodologias alternativas, uma vez que a estequiometria é considerada desafiadora e muitas vezes sem aplicabilidade com o nosso cotidiano. Além disso, os autores destacaram a dependência com as habilidades matemáticas envolvidas na aprendizagem de estequiometria e sua importância, já que ela está muito presente na indústria e em atividades caseiras, como, por exemplo, na preparação de um bolo. Eles relacionaram que os objetos analisados permitiam abordar: i) habilidades matemáticas, ii) abstração e transição de conceitos, iii) a relação com o cotidiano e iv) a representação de transformações químicas através de símbolos. Ademais, os autores reconheceram que o uso de analogias em alguns objetos podem contribuir para o desenvolvimento conceitual e facilitar o entendimento por parte do estudante. Destacamos que um dos objetos apresentados, encontrado na plataforma PHET, foi utilizado na nossa investigação empírica (Apêndice D). Em conclusão, Silva, Bertini & Alves (2018) relatam que o uso de objetos de aprendizagem pode se configurar como uma metodologia alternativa viável para desenvolver o senso investigativo e a motivação dos estudantes, porém ressaltam que o professor deve estar preparado, evitando que essa prática se torne uma aula tradicional na versão virtual.

No artigo de Galagovsky & Giudice (2015), a estequiometria foi analisada em atividades envolvendo modelos de partículas que representavam estados iniciais e finais de transformações químicas. Isso permitiu identificar restrições que esse tipo de linguagem possui, assim como, relacioná-la a um problema epistemológico em relação a Lei de Conservação da Massa. Para isso, a proposta considerou a linguagem utilizada pelos professores como uma mediadora da comunicação com os estudantes, levando a uma reflexão sobre a complexidade do discurso científico, ou seja, como é difícil compreender símbolos característicos da linguagem química. As autoras analisaram as respostas de estudantes universitários a dois tipos de exercícios envolvendo o contexto da estequiometria: um problema tradicional (algoritmo) e um problema conceitual (utilizando símbolos, representações). Os estudantes responderam corretamente em maior proporção os problemas do tipo algoritmo, evidenciando uma dificuldade por parte dos discentes em compreender a linguagem química simbólica. Portanto, as autoras, concluíram que a estequiometria requer a diferenciação de linguagens especializadas que distingue os conceitos fundamentais de reação química, equação química balanceada e fórmulas químicas.

Em continuação a pesquisa anterior, Galagovsky, Giacomo & Alí (2015) avaliaram a deficiência na aprendizagem do conceito de reações químicas analisando livros didáticos de Química Geral. Para eles, a Química é uma ciência que envolve modelos teóricos que evoluíram historicamente de modo não-linear. Os autores conduziram a investigação considerando que uma aula de Química deve ser um espaço de comunicação entre o docente e os discentes e que a compreensão dessa ciência pressupõe o compartilhamento de conceitos científicos. Encontraram em todos os livros analisados os conteúdos de análise: Lei da Conservação da Massa e Estequiometria. Entretanto, ressaltam que nem sempre estão no mesmo capítulo e que muitas vezes a estequiometria só é abordada depois de outros subtópicos como tabela periódica e ligações químicas. Concluíram que a omissão e/ou simplificação de reflexões históricas e filosóficas podem contribuir para interpretações errôneas de conceitos científicos por parte dos estudantes.

Godoy (2015) realizou a aplicação de um jogo pedagógico no contexto da estequiometria como estratégia de ensino para estudantes do Ensino Médio entre os anos de 2010 e 2014, totalizando 235 alunos envolvidos na pesquisa. O autor menciona a elevada rejeição de conteúdos da Química altamente matemáticos, como a estequiometria, e por isso teve o objetivo de investigar a efetividade de uma

atividade lúdica para ensinar esse tópico de conteúdo. Para isso, ele realizou um diagnóstico com 19 professores com a finalidade de identificar quais eram os métodos de ensino mais utilizados por eles. Evidenciou que a maioria usava métodos tradicionais, como aulas expositivas e de resolução de exercícios. Diante disso, desenvolveu um jogo de tabuleiro para o ensino de estequiometria e aplicou a atividade lúdica com 123 estudantes. Observou que os alunos que participaram do jogo tiveram um rendimento de aprovação maior na prova de conhecimento aplicada após a atividade em relação aos 112 participantes que não participaram do jogo didático. Além disso, identificou nas falas dos participantes que o jogo proporcionou um impacto motivacional, permitindo o discente criar seu próprio método de resolução de problemas, gerando uma aprendizagem significativa. Ademais, a atividade lúdica permitiu descentralizar a figura do docente, que passou a ser um mediador do processo de ensino e aprendizagem.

Raviolo & Lerzo (2016) analisaram o uso de analogias e sua compreensão conceitual para o ensino de estequiometria. Para os autores, como a estequiometria envolve o contexto de aspectos quantitativos das reações químicas, ou seja, o processo em que uma ou várias substâncias se formam a partir de outras, ela tende a ser de difícil compreensão para os estudantes, uma vez que eles, muitas vezes, resolvem os exercícios, mas não compreendem os conceitos envolvidos. Diante disso, os autores investigaram com 42 estudantes do primeiro ano universitário dos cursos de licenciatura de Química, Física e Biologia, se o uso de analogias para ensinar estequiometria poderia promover uma maior compreensão conceitual. Assim, desenvolveram uma sequência didática com uma analogia entre a produção de sanduíches e equações químicas. Entre os participantes, 71% consideraram a abordagem de ensino positiva, pois afirmaram que a analogia com o sanduíche permitiu estabelecer de forma direta as relações de proporções entre as entidades. Os autores concluíram que o uso da analogia melhorou a compreensão do conceito de fórmula química, no entanto, identificaram que muitos ainda confundiam os coeficientes estequiométricos das equações químicas com as quantidades reais envolvidas no experimento.

Conforme mencionamos, também consideramos os artigos de Santos & Silva (2013) e Gomes & Macedo (2007) nessa revisão bibliográfica. O estudo de Santos & Silva (2013) já foi relatado na seção anterior dos procedimentos dessa revisão bibliográfica. A investigação de Gomes & Macedo (2007) teve por objetivo

avaliar os motivos da dificuldade encontrada pelos estudantes de Ensino Médio quanto à estequiometria. Para esse fim, as autoras aplicaram um questionário com 101 alunos do Ensino Médio de instituições públicas e privadas em 2005. Observaram que a maioria dos alunos gostava da disciplina de Química, mas que também sentiam dificuldades no tópico da estequiometria. Associaram essa limitação a falta de aulas práticas e a não relação com o seu cotidiano, além do entrave na parte da matemática. As autoras, também, concluíram que os estudantes do curso técnico em Química apresentaram maior facilidade quanto a esse tópico de conteúdo e justificaram com a obrigatoriedade de aulas práticas no curso. Por fim, elas sugerem que uma alternativa para melhorar esse cenário seria a interdisciplinaridade da Química e da Matemática para o ensino de estequiometria.

### **2.3 Ensino de Estequiometria com Analogias e Modelos**

Dos artigos identificados durante a revisão bibliográfica, oito faziam referência ao uso de analogias no ensino de estequiometria, todos no contexto internacional e apenas um estudo referente aos últimos cinco anos, que é a investigação de Raviolo & Lerzo (2016), já relatado na seção anterior. Considerando esse aspecto e o fato de os professores muitas vezes utilizarem analogias presentes em livros didáticos, optamos por fazer a análise das analogias presentes nos livros didáticos do PNL/D/2018, pois, como já mencionado na introdução, às vezes é o único material didático disponível para consulta pelos docentes e discentes. Ademais, consideramos relevante considerar as analogias presentes nos livros de abrangência nacional.

Foram identificados na nossa busca seis artigos envolvendo os termos estequiometria e modelos, porém apenas um desses artigos é dos últimos cinco anos. Esse estudo foi realizado por Kimberlin & Yezierski (2016) em que avaliaram a eficácia de duas atividades desenvolvidas com alunos do Ensino Médio baseadas em modelos moleculares. As autoras reconhecem que saber o balanceamento de equação química, assim como, resolver problemas que envolvem estequiometria não garantem o entendimento desses conceitos, tão pouco, as suas aplicações em laboratórios e indústrias. Assim, acreditam que aulas diferenciadas devem ser desenvolvidas de modo a ajudar professores a superarem esse obstáculo no ensino e na aprendizagem da estequiometria. De tal modo, elas realizaram duas atividades que envolveram modelos moleculares com 64 estudantes do Ensino Médio. Para avaliar a efetividade

da aprendizagem, aplicaram um pré-teste e um pós-teste para os participantes. Observaram que a maioria dos estudantes melhorou o seu resultado na avaliação, o que indica que a intervenção colaborou para um maior entendimento conceitual da estequiometria.

Apesar dos demais artigos não serem dos últimos cinco anos, avaliamos os seus conteúdos e dois deles abordavam modelos na concepção de representatividade. Kashmar (1997) propôs uma atividade em que os professores pudessem utilizar modelos de bolinhas de tamanhos e cores diferentes para representar átomos diferentes, conforme o modelo atômico proposto por Dalton. Marais & Combrinck (2009) constataram que estudantes universitários não conseguiam realizar o balanceamento de equação química, assim como, calcular o rendimento de um processo ou identificar reagentes limitantes e reagentes em excesso em uma reação química. Assim, as autoras propuseram uma sequência didática em que se utiliza modelos com “legos” para representar átomos, moléculas e a transformação química. Observaram que o uso de modelos concretos auxiliaram os estudantes na compreensão do que acontece a nível microscópico e, também, facilitou para que eles construíssem suas próprias ilustrações esquemáticas, o que pode contribuir para a interpretação de outras representações presentes em livros didáticos.

Constatamos com essa revisão da literatura para o ensino de estequiometria que poucos estudos relacionaram o uso de modelos para o ensino desse tema. Destacamos, que no estudo de Silva, Bertini & Alves (2018) houve a identificação de modelos do tipo simulações que podem ser utilizados para o ensino desse tópico de conteúdo. Encontramos, também, o uso de simulações em outro artigo de Raviolo & Lerzo de 2014. Nesse trabalho, eles citaram o uso de uma simulação para a produção de sanduíches como uma possibilidade de analogia para o ensino de estequiometria. Constatamos, assim, que, apenas a pesquisa de Marais & Combrinck (2009) apresentou um modelo concreto fundamentado em uma analogia. Isso nos permite afirmar a potencialidade dessa investigação, uma vez que abordamos a elaboração e o uso de modelos concretos, mais especificamente os fundamentados em analogias, para o contexto da estequiometria.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O estudo das analogias no ensino de Ciências intensificou-se nas décadas de 80 e 90 (DUARTE, 2005). Desde então, o conceito de analogia vem sendo estudado e abordado por diversos pesquisadores e teve sua origem no significado matemático de proporção (HAARAPANTA, 1992). Assim, diante da diversidade de estudos sobre analogias, é fundamental conhecer os diferentes conceitos para esse termo atribuídos por alguns autores que reunimos, sinteticamente, no Quadro 4.

Quadro 4 - Conceitos de analogia por alguns autores.

<b>Autor(a)</b>	<b>Conceito de Analogia</b>
Gentner (1983)	Comparação com foco relacional, que permite estabelecer correspondências entre relações similares presentes em dois domínios distintos: um domínio base e um domínio alvo
Duit (1991)	Relação entre partes das estruturas de dois domínios: um conhecido e outro desconhecido
Glynn (1991)	Comparação entre as similaridades de dois conceitos
Zook (1991)	Comparação não-literal entre domínios que são de conhecimentos superficialmente diferentes

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Apesar da diferença entre os conceitos, observamos que a maioria aborda as similaridades entre um domínio conhecido e outro desconhecido que uma analogia apresenta. Diante do exposto, e considerando a linha de pesquisa que esse projeto se enquadra, o referencial teórico considerado para o conceito de analogia será o de Gentner (1983), pois o grupo já desenvolve pesquisas nessa perspectiva e considera essa teoria criteriosa nessa área de estudo. Assim, Gentner (1983) conceitua a analogia como um tipo de comparação que envolve correspondências relacionais entre dois domínios distintos – um domínio base (DB) e um domínio alvo (DA), estabelecida com a intenção de se explicar/compreender o DA, desconhecido ou pouco conhecido, a partir do conhecimento sobre o DB, considerado familiar por quem o estabelece.

Além disso, é importante destacar que analogia não é sinônimo aos conceitos de metáfora, de modelo ou até mesmo de exemplo. Uma metáfora é um tipo de comparação entre dois domínios, mas que é feita de forma implícita, sem deixar evidente quais são esses domínios comparados (GENTNER, 1983). O conceito de modelo abordado na nossa investigação será o de representatividade, que concebe um modelo como uma representação parcial de uma entidade de interesse científico,

ou seja, representação da realidade fundamentada nas similaridades entre o domínio representado e o domínio representante (GILBERT & JUSTI, 2016). A título de esclarecimento, ressaltamos que os exemplos não se configuram como um tipo de comparação; entendemos os exemplos como instâncias conceituais de uma definição. Por exemplo, sabe-se que as bases, segundo uma das teorias abordadas na Educação Básica (a teoria do químico sueco Svante Arrhenius, publicada no início do século XX), são substâncias que, dissolvidas em águas, aumentam a concentração de ânions hidroxila ( $\text{OH}^-$ ); o hidróxido de sódio –  $\text{NaOH}$ , o hidróxido de potássio –  $\text{KOH}$ , e o hidróxido de cálcio –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , são bases de Arrhenius. Em outras palavras, podemos dizer que essas três substâncias são exemplos de bases de Arrhenius. Considerando a teoria empregada em nossa investigação, não podemos dizer que, ao se fazer tal afirmação sobre as três substâncias mencionadas, alguém estivesse estabelecendo uma comparação, tampouco uma analogia. As três substâncias citadas são instâncias da definição proposta na referida teoria ácido-base, ou seja, são exemplos do conceito em questão.

A Teoria do Mapeamento Estrutural (TME) de Gentner (1983) será desenvolvida com mais detalhes na próxima seção, entretanto, vale destacar que diversas pesquisas tem sido realizadas com o viés da autora em identificar as analogias em livros didáticos e em sala de aula, conforme coletânea organizada por Ferry (2018). Em seu livro, Ferry apresenta seis estudos que envolveram a análise de analogias de acordo com a TME, quatro deles relacionados a comparações encontradas em livros didáticos de Química e Biologia e outras duas investigações sobre o uso de analogias e outros tipos de comparações no contexto da Química em sala de aula. Nos seis artigos o mapeamento estrutural é realizado, configurando uma ferramenta de análise potencial para o estudo de comparações, seja em livros didáticos ou estabelecidas em sala de aula.

### **3.1 Teoria do Mapeamento Estrutural (TME)**

A TME surgiu dentro da Psicologia Cognitiva e considera que uma analogia consiste em um tipo de comparação que envolve correspondências relacionais entre dois domínios distintos – um domínio base (DB) e um domínio alvo (DA), estabelecida com a intenção de se explicar/compreender o DA, desconhecido ou pouco conhecido, a partir do conhecimento sobre o DB, considerado familiar por quem o estabelece. Ademais, essa teoria permite identificar a especificidade dos diferentes tipos de

comparação existentes: metáforas, similaridades literais, similaridades de mera aparência, anomalias e abstrações (GENTNER, 1983; GENTNER & MARKMAN, 1997), enriquecendo esse campo de estudos e contribuindo para uma análise criteriosa das analogias.

O Quadro 5 ilustra as diferenças entre esses tipos de comparação apresentando, qualitativamente, os focos das comparações a respeito das correspondências entre atributos (predicados descritivos dos elementos constituintes de cada domínio) e das correspondências entre relações similares existentes em cada domínio. Esse quadro foi elaborado a partir de uma versão mais simples apresentada em Gentner (1983), com considerações de Gentner & Markman (1997) e contribuições de Ferry (2016).

Quadro 5 - Classificação dos tipos de comparação segundo a TME.

<b>Tipo de Comparação</b>	<b>Atributos de elementos mapeados do DB para o DA</b>	<b>Relações mapeadas do DB para o DA</b>	<b>Exemplo</b>
Similaridade Literal	Muitos	Muitas	O sistema solar K5 é como o nosso sistema solar.
Analogia	Poucos	Muitas	O átomo de Bohr é como o nosso sistema solar.
Anomalia	Poucos ou nenhum	Poucas ou nenhuma	O buraco negro no centro da Via Láctea é como um ponto escuro em um pedaço de papel.
Similaridade de mera aparência	Muitos	Poucas	O átomo de Dalton é como uma bola de sinuca.
Abstração*	Poucos	Muitas	O átomo é um sistema de força central.
Metáfora relacional	Poucos ou nenhum	Muitas	Os elementos químicos Li, Na e K são de uma mesma família.
Metáfora baseada em atributos	Muitos	Poucas ou nenhuma	Os orbitais atômicos são nuvens eletrônicas
*As abstrações diferem das analogias por envolver domínios carentes de concretude, especialmente no domínio base, implicando em certa dificuldade de sua visualização.			

Fonte: Adaptado de Gentner (1983), Gentner & Markman (1997) & Ferry (2016).

As similaridades literais são aquelas comparações que compartilham muitas correspondências entre os atributos de elementos e, também, entre as relações mapeadas entre o DB e o DA. Portanto, quando exemplificamos que “o sistema solar K5 é como o nosso sistema solar”, estamos dizendo que o sistema solar K5 compartilha muitos atributos e relações que podem ser mapeadas com o nosso sistema solar. Entretanto, quando estamos diante de uma analogia, as relações mapeadas devem ser muitas, mas os atributos dos elementos devem aparecer em quantidade menor, mantendo o foco relacional. Assim, em “o átomo de Bohr (DA) é

como nosso sistema solar (DB)”, o foco está sobre as relações entre os dois sistemas e não sobre os atributos (forma, cor ou tamanho) entre os dois domínios. Quando estamos diante de uma anomalia como “o buraco negro no centro da Via Láctea é como um ponto escuro em um pedaço de papel”, queremos dizer que nessa comparação não há nenhum ou existem poucos atributos de elementos, assim como, relações entre os dois domínios, ou seja, ao comparar o buraco negro (DA) com um ponto escuro no papel (DB) não se tem o compartilhamento de correspondências que validem essa comparação. Afinal,

“buracos negros são tridimensionais e produzem uma enorme deformação no espaço-tempo capaz de atrair matéria e luz; pigmentos escuros são constituídos por pequenas partículas que se espalham sobre uma superfície bidimensional e acrescentam a ela quantidades irrisórias de matéria” (Ferry, 2016, p. 52)

Além dessas comparações, temos ainda as similaridades de mera aparência, as abstrações e as metáforas. Quando as correspondências entre o DB e o DA estão focadas prioritariamente nos atributos, classificamos como uma comparação de mera aparência, como exemplificado: “o átomo de Dalton é como uma bola de sinuca”; ou seja, comparativamente, o formato, a indivisibilidade estrutural e o preenchimento maciço (atributos) de uma bola de sinuca se assemelham aos atributos do átomo proposto por Dalton. As abstrações se constituem com características muito similares as de uma analogia, porém, os seus domínios, principalmente o DB, são de natureza mais abstrata como em: “o átomo é um sistema de força central”. Nesse exemplo, tanto o átomo quanto a força central são entidades com carência de concretude, o que configura uma abstração. No âmbito das metáforas, temos as metáforas relacionais que compartilham muitas correspondências de relações, mas poucas ou nenhuma de atributos de elementos, como exemplificamos: “os elementos químicos Li, Na e K são de uma mesma família”, ou seja, existem relações entre esses elementos químicos que são semelhantes às relações entre membros de uma família. Em outras palavras, essa comparação não se baseia em correspondências entre predicados descritivos dos elementos químicos e de membros de uma família, mas nas correspondências entre as relações similares. Entretanto, em uma metáfora com foco em atributos se têm muitas correspondências entre atributos de elementos e poucas ou nenhuma entre relações. Este último tipo de comparação se assemelha com as comparações de mera aparência. No entanto, como os seus domínios não são explicitados, a comparação é entendida como uma metáfora. No exemplo “os

orbitais atômicos são nuvens eletrônicas”, a metáfora se estabelece com base em semelhanças entre os predicados descritivos dos orbitais e das nuvens.

Gentner & Markman (1997) sugerem que uma analogia deve apresentar três condições estruturais: 1ª) consistência estrutural, 2ª) foco relacional e 3ª) sistematicidade. Os autores explicam que para uma analogia ser estruturalmente consistente, ela deve apresentar duas características: i) conectividade em paralelo, em que cada argumento, descritivo ou relacional, tenha correspondente similar entre os domínios; e ii) correspondências um-a-um, em que cada correspondência de elemento, atributo ou relação do domínio base deve se relacionar com apenas uma correspondência do domínio alvo. Como segunda condição estrutural, as analogias devem apresentar o foco nas suas relações, sejam de primeira, segunda ou ordem superior, e não em atributos dos objetos como na comparação de mera aparência. A terceira condição estrutural é a sistematicidade abordada pelos autores e infere sobre a tendência das analogias em fornecer um sistema de relações conectados, ou seja, existe relação de segunda ordem ou ordem superior que englobam relações de primeira ordem, ao invés de apenas predicados isolados. Assim, uma comparação se configura como uma analogia quando ela apresenta consistência estrutural, foco relacional e sistematicidade.

Além disso, Gentner (1983) traz a representação para correspondências através do mapeamento estrutural, que consiste no alinhamento de objetos, atributos e relações entre os dois domínios comparados: a base (*base* - *b*) e o alvo (*target* - *t*), conforme expressões:

$$A(b_i) \rightarrow [A(t_i)] \quad (1)$$

$$R(b_i, b_j) \rightarrow [R(t_i, t_j)] \quad (2)$$

A expressão (1) representa uma correspondência entre atributos (*A*) nos domínio base (*b<sub>i</sub>*) e o domínio alvo (*t<sub>i</sub>*) e a expressão (2) descreve correspondências de relações entre objetos dos dois domínios. E para relações de ordem superior, a autora sugere a seguinte expressão:

$$R'(R_1(b_i, b_j), R_2(b_k, b_l)) \rightarrow [R'(R_1(t_i, t_j), R_2(t_k, t_l))] \quad (3)$$

À luz da TME, Ferry (2016), com atualização em Ferry (2018) e considerações de Barbosa (2019), propôs símbolos para uma representação padrão entre as correspondências de elementos, atributos e relações existentes em uma comparação, o que ficou conhecido como mapeamento estrutural das comparações. Esta pesquisa emprega esse padrão representacional para o mapeamento estrutural

das comparações encontradas ao longo da pesquisa, pois considera-se essa representação enriquecedora para a análise estrutural. Essa representação está apresentada no capítulo 4 da metodologia, na seção 4.1.

Portanto, o mapeamento estrutural, sistematizado pela TME, deve envolver os elementos, atributos e relações do DB e suas correspondências no DA de uma comparação. Ele deve ser realizado de modo quase exaustivo com o objetivo de apresentar a maior quantidade de correspondências possíveis entre o DB e o DA. Ademais, ele deve ser explícito, pois as características e relações mapeadas entre os dois domínios são fundamentais para avaliar uma comparação, pois é a única forma de identificar o tipo de comparação estabelecida (MOZZER & JUSTI, 2015). Além das relações de similaridade, o mapeamento pode sugerir a existência de diferenças alinháveis e limitações que a analogia oferece.

Gentner & Markman (1997) interpretam as diferenças que estão conectadas em ambos os sistemas comparados como diferenças alinháveis, já as diferenças não alinháveis são aspectos de uma situação que não tem correspondências em uma segunda situação distinta. Acrescentam, ainda, que as diferenças alinháveis são mais evidentes, uma vez que as pessoas tendem a propor uma quantidade maior de diferenças para pares de itens com maior similaridade e que elas têm grande relevância na percepção de similaridades. Conforme exemplificado pelos autores em investigação, um grupo de pessoas identificou com maior facilidade diferenças alinháveis para o par comparado “hotel/motel” que para o par “revista/gatinho”, já que, obviamente, há uma quantidade maior de similaridades entre um hotel e um motel do que entre uma revista e um gatinho de estimação.

Em relação as limitações que uma analogia pode apresentar, Mozzer & Justi (2015) afirmam que elas são inerentes em qualquer comparação, no entanto, é necessário que elas sejam discutidas entre o professor e os estudantes. As autoras acrescentam que as limitações estão relacionadas as particularidades não compartilhadas entre o DB e o DA ou, ainda, as condições em que a analogia não se aplica. Barbosa & Ferry (2018) propõem a existência de três tipos de limitações: (1ª) um contexto ou uma condição na qual a analogia não se aplica; (2ª) elementos, características ou relações presentes no DA que não possuem correspondências no DB, ou seja, a base é insuficiente para explicar o alvo; (3ª) elementos, características ou relações presentes no DB que não podem ser associados ao DA. Embora tal distinção não tenha implicações estruturais para o mapeamento de uma analogia, a

sua importância pode ser percebida no processo da construção do mapeamento, de modo a torná-lo mais abrangente no que diz respeito à identificação do maior número possível de limitações relevantes.

### 3.2 Teoria das Múltiplas Restrições

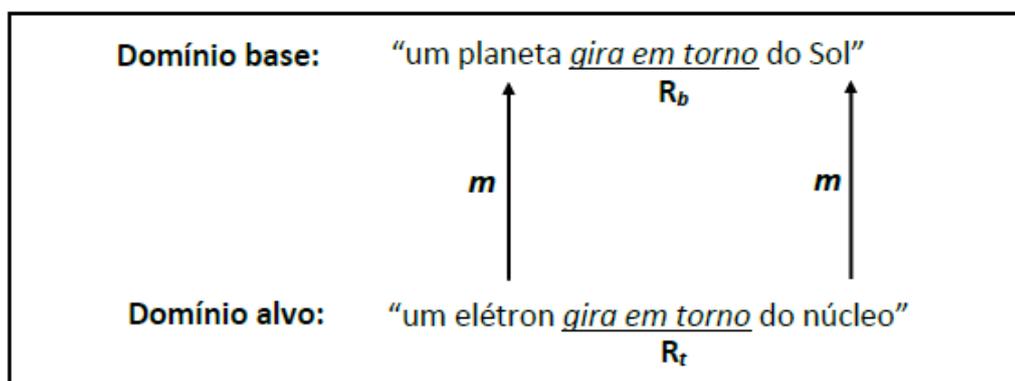
Ainda no âmbito da Psicologia Cognitiva, temos uma segunda teoria que fornece critérios para a análise de aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos das analogias: a teoria das múltiplas restrições (*multiconstraint theory*) de Holyoak & Thagard (1989). Para eles, uma analogia deve ser decomposta em quatro componentes principais: i) a seleção da base, que deve ser plausível e útil para se realizar a comparação, ii) o mapeamento estrutural das correspondências entre elementos, atributos e relações, iii) a transferência analógica, ou seja, inferências sobre o DA que podem ser relacionados de acordo com o conhecimento do DB e iv) o aprendizado posterior a comparação estabelecida. Assim como em Gentner (1983), os autores reforçam a importância do mapeamento estrutural, bem como da seleção da base e da transferência dos elementos da base para o alvo.

Segundo os autores, o problema fundamental do mapeamento estrutural é estabelecer correspondências apropriadas entre os dois domínios. Considerando a importância do mapeamento e que ele é essencial para a análise de uma comparação, eles descrevem três características que uma analogia deve apresentar: 1ª) isomorfismo, 2ª) similaridade semântica e 3ª) centralidade (ou adequação) pragmática. O isomorfismo consiste em uma restrição relacionada ao modo como os predicados relacionais e/ou descritivos de ambos os domínios são enunciados, de forma a favorecer o reconhecimento das correspondências de similaridade e, possivelmente, a plausibilidade da analogia. Tal restrição (ou condição) é semelhante a um dos critérios condicionantes da consistência estrutural apresentada pela TME: a correspondência um-a-um proposta por Gentner & Markman (1997) – cada argumento do domínio base deve ter apenas uma correspondência no domínio alvo. Assim, a nossa escolha por recorrer à teoria das múltiplas restrições, de modo complementar ao uso que fizemos da TME, decorre dos conceitos associados à restrição da similaridade semântica e da adequação pragmática. A primeira diz respeito à necessidade de haver certa similaridade entre os significados contextuais dos elementos, atributos e relações colocados em correspondência numa analogia, o que também favorece o reconhecimento da sua plausibilidade e a atribuição de sentido às

correspondências estabelecidas. A adequação ou centralidade pragmática diz respeito aos propósitos e finalidades da analogia, inclusive no contexto de ensino, de maneira a permitir a identificação dos aspectos da base que sejam, de fato, relevantes para atender os objetivos na analogia.

O isomorfismo é válido, portanto, se, e somente se, o mapeamento de um elemento, atributo ou relação no domínio base tiver um único correspondente no domínio alvo. Como exemplo, na analogia entre a estrutura dos átomos e o sistema solar, podemos comparar os elétrons girando em torno do núcleo atômico (DA) com os planetas girando em torno do sol (DB), Figura 3 ( $R_b$  – relação da base,  $R_t$  – relação do alvo,  $m$  – correspondências do mapeamento entre os elementos da base e do alvo).

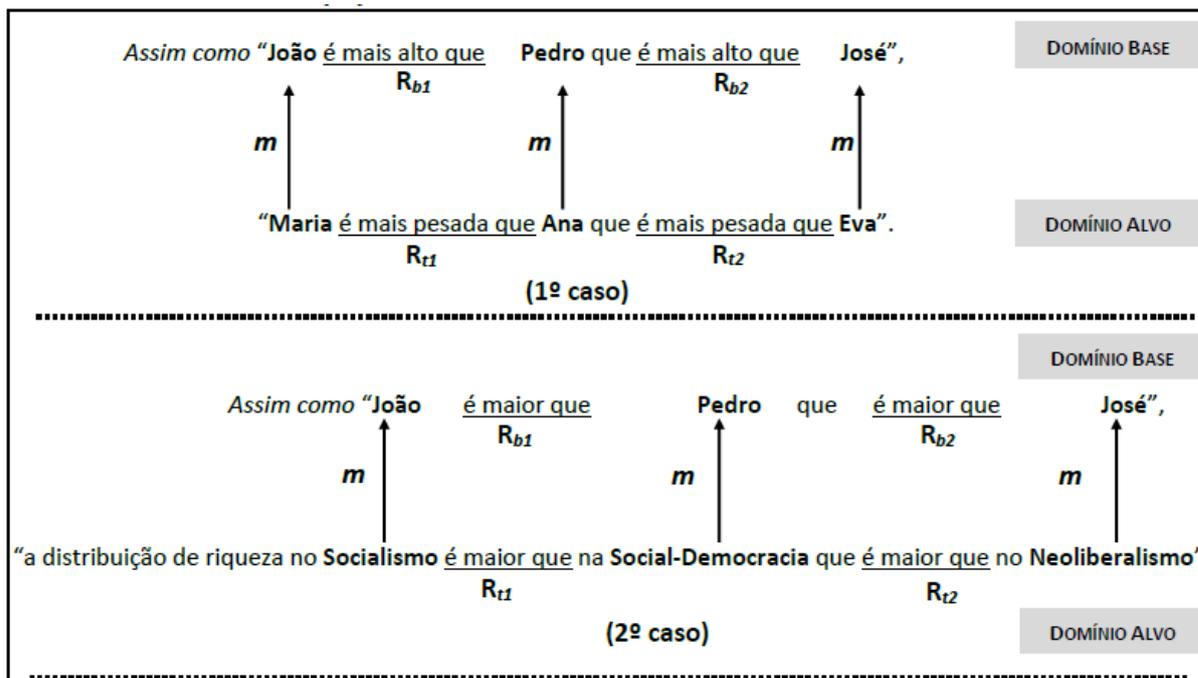
Figura 3 - Exemplo de isomorfismo de uma analogia para o ensino de Química.



Fonte: Ferry (2016).

A similaridade entre os significados dos elementos, atributos e os argumentos das relações influencia no processo de mapeamento, por isso, devemos considerar, na análise de uma analogia, a similaridade semântica entre os domínios comparados. Além disso, uma alta similaridade semântica resulta em uma maior facilidade de reconhecimento dos seus elementos atributos e relações em correspondência. Como exemplificado pelos autores, quando se compara a altura e o peso de pessoas temos uma analogia isomórfica e semanticamente similar, entretanto quando compara a altura de pessoas e tipos de sistema político há a construção de uma analogia isomórfica, mas sem similaridade semântica, conforme evidenciado na Figura 4 ( $R_b$  – relação da base,  $R_t$  – relação do alvo,  $m$  – correspondências do mapeamento entre os elementos da base e do alvo).

Figura 4 – Exemplos de alta similaridade semântica (1º caso) e baixa similaridade semântica (2º caso).



Fonte: Ferry (2016) – Modificado de Holyoak & Thagard (1989).

Como terceira característica, uma analogia deve atender as intenções e os propósitos para o qual ela foi criada, ou seja, ser pragmaticamente adequada. Para isso, a seleção de um domínio base relevante e familiar aos estudantes é fundamental, bem como a seleção das características relevantes dessa base para o contexto em que a comparação será empregada. Por exemplo, na comparação entre uma balança de dois pratos e o balanceamento de uma equação química, essa analogia favorece a compreensão da Lei da Conservação de Massas (Lei de Lavoisier), pois o equilíbrio das alturas dos pratos de uma balança indica o equilíbrio de massa do lado esquerdo e direito, assim como o balanceamento dos coeficientes estequiométricos de uma equação química deve ser realizado de modo a tornar a massa constante entre os reagentes e produtos. No entanto, utilizar a balança de dois pratos para explicar o conceito de uma transformação química não é pragmaticamente adequado, uma vez que não é possível "ver" a transformação efetivamente das substâncias reagentes em substâncias produtos. Portanto, a adequação pragmática é uma etapa importante no processo de análise de uma analogia e do seu mapeamento, pois influencia no seu uso e favorece correspondências que são fundamentais para quem estabelece a analogia. Em outras palavras, tanto para o processo de mapeamento das correspondências de similaridade, das diferenças alinháveis e das limitações de uma

analogia, quanto para o seu entendimento e reconhecimento de sua plausibilidade, é necessário conhecer o propósito para o qual ela foi estabelecida.

### **3.3 Campo da Modelagem na Educação em Ciências**

O termo “modelo” tem diferentes significados quando relacionado a diferentes áreas de aplicação. Algumas vezes, os modelos são relacionados a um padrão a ser seguido, em outros contextos o termo é associado a algum tipo de marca ou coisa, ou ainda, como molde de alguma coisa, ou seja, algo a ser reproduzido (ALMEIDA, ALMEIDA & FERRY, 2018). No entanto, entendemos que nenhum desses significados estão relacionados ao contexto da Educação em Ciências.

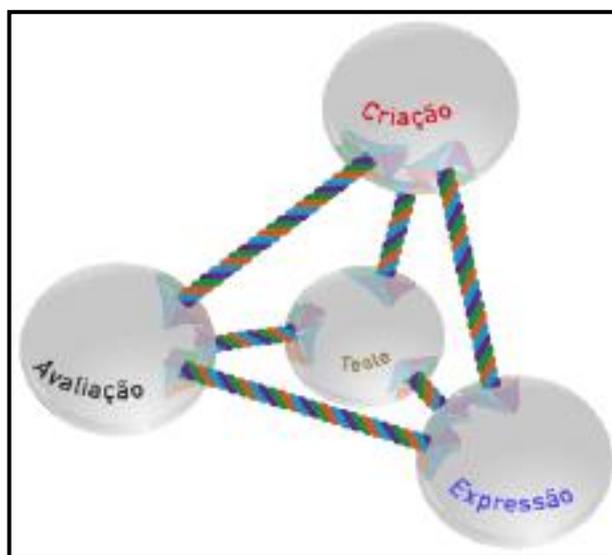
Na psicologia os modelos foram concebidos inicialmente como modelos mentais de estruturas análogas a fenômenos reais (CRAIK, 1993 apud GILBERT & JUSTI, 2016). Na filosofia, a princípio, os modelos eram discutidos em termos teóricos, no entanto, atualmente eles são enunciados com a ideia geral de que os modelos são representações da realidade baseados nas similaridades entre as entidades modeladas (GILBERT & JUSTI, 2016). No mundo científico, os modelos são utilizados para representar algum aspecto do mundo real, considerando suas similaridades, com uma finalidade específica de modo a propor hipóteses e generalizações (GIERE, 2004). Os modelos científicos são construídos, modelados, a partir de ferramentas que possibilitam representar a realidade, assim, primeiramente a ciência faz um recorte de aspectos teóricos relevantes da realidade, que simplifica e analisa diversos elementos, originando, então, um sistema particular, que constitui apenas uma das possibilidades de representação dessa realidade (GALAGOVSKY & ADÚRIZ-BRAVO, 2001).

No ensino de Ciências, os modelos podem ser considerados como ferramentas auxiliares de representação teórica do mundo real e, no âmbito da Ciência, eles são mediadores entre o sistema teórico e o empírico (ADÚRIZ-BRAVO, 1999). Para outros autores, os modelos são uma representação parcial de entidades (i.e., objetos, eventos, processos ou ideias) com finalidades específicas (GILBERT & BOULTER, 1995; GILBERT et al., 2000). Quando o modelo utiliza uma analogia para a sua elaboração, denominamo-nos de modelo analógico, que é conceituado por Duit (1991) como representações parciais e análogas aos dois domínios comparados, o conhecido e o desconhecido. Mozzer & Justi (2018), também, afirmam que as analogias podem ser fontes para elaboração desses recursos. Diante disso,

concebemos na nossa investigação que os modelos são recursos desenvolvidos para representar parcialmente entidades de interesse científico com finalidades específicas, considerando as similaridades existentes entre o domínio representante (objeto criado) e o domínio representado (conceito científico) e que um modelo analógico é aquele que foi elaborado a partir de uma analogia.

A modelagem pode ser compreendida como um processo complexo, dinâmico, não-linear, cíclico, criativo e não predeterminado (GILBERT & JUSTI, 2016). Esses autores desenvolveram um diagrama que representa o processo de modelagem, conforme ilustrado na Figura 5, denominado pelos autores de “modelo de modelagem”. A imagem representa os quatro processos cognitivos (criação, expressão, teste e avaliação) necessários para se elaborar um modelo no ensino de Ciências e demonstra, por meio das conexões, que esses processos são recorrentes.

Figura 5 - Modelo de Modelagem.



Fonte: Gilbert & Justi (2016) traduzido por Mozzer & Justi (2018).

De acordo com os autores, na etapa de criação ou elaboração, um modelo mental é produzido a partir da definição dos objetivos propostos para o modelo, das informações conhecidas da entidade a ser modelada e dos aspectos a serem utilizados para representar a entidade modelada, como, por exemplo, o uso de uma analogia como fonte para o desenvolvimento do modelo. Esse modelo mental precisa ser materializado de modo a favorecer a sua visualização e manipulação, constituindo a etapa de expressão. Nessa fase o modelo é expresso em alguma das modalidades de representação: 2D (desenhos, diagramas, mapas etc.), 3D (concreto), virtual (simulações), gestual, matemático, verbal. Isso significa que os modelos não são

apenas objetos concretos, mas qualquer representação que pode ser manipulada. Ademais, é necessário estabelecer códigos de representações, que permitirão identificar os detalhes do modelo construído. Como exemplificado pelos autores, no modelo “bastão e bola” utilizado para representar moléculas químicas, é necessário especificar o que cada elemento está representando: as bolinhas os átomos e os bastões as ligações; e, ainda, que cada bolinha de cor e tamanho diferente representa um átomo de um elemento químico distinto.

Na etapa de teste, os modelos são testados de acordo com seu poder explicativo, conforme com os objetivos e aspectos definidos para representar a entidade de interesse científico modelada. Esse teste pode ser mental ou empírico dependendo da entidade modelada, da viabilidade e dos recursos disponíveis para esse processo. Se o modelo falhar na fase de teste, entende-se que ele não atendeu aos seus objetivos iniciais, devendo, portanto, ser modificado ou abandonado. A fase de avaliação tem por finalidade definir a abrangência do modelo, isto é, o âmbito em que o recurso desenvolvido é válido, assim como as suas limitações quando submetido a diferentes contexto de uso. Nessa etapa, o modelo é utilizado de diferentes maneiras, de modo a reforçar sua validade e utilidade, considerando que ele pode apresentar limitações e, por isso, a necessidade de delimitar o seu contexto de aplicação.

Gilbert & Justi (2016) reforçam que o ato de modelar é um ciclo complexo, dinâmico, não-linear e criativo. Assim, essas etapas de elaboração de modelos não seguem uma ordem específica. Por exemplo, um modelo pode ser testado e avaliado ao mesmo tempo. Por isso que na Figura 5, os autores representaram todas as esferas conectadas de modo a evidenciar essa possibilidade de transição entre as etapas sem uma ordem definida. No capítulo 4 da metodologia (seção 4.2), descrevemos como esse “modelo de modelagem” foi empregado na fase de elaboração de um modelo didático analógico para o ensino de estequiometria química.

Diante do exposto, apropriamo-nos do conceito de modelagem analógica como um processo sistemático de elaboração de um modelo fundamentado em uma analogia com finalidades específicas. Assim, essa modelagem se diferencia da modelagem convencional, já que esta não é baseada em uma analogia para sua construção e, sim, nos conceitos convencionalmente estabelecidos e aceitos pela comunidade científica. Além disso, esses dois tipos de modelagem apresentam possíveis aspectos diferentes no seu uso em sala de aula, uma vez que as analogias

podem possibilitar uma maior quantidade de inferências por parte dos estudantes ao relacionar o conceito científico com um domínio familiar.

Essa também é a abordagem sugerida por Almeida, Almeida & Ferry (2018), conforme esquema apresentado na figura 2 da introdução (seção 1.4). Além disso, os autores apresentam uma análise estrutural de modelos a partir dos seus mapeamentos estruturais e avaliam as analogias e os modelos quanto a quatro princípios, dois relacionados a entidade modelada e outros dois aplicados ao domínio base (análogo).

Para analisar o domínio base das analogias (o análogo) em relação ao domínio alvo da comparação, os autores sugerem dois princípios:

- 1º. Princípio da Familiaridade: consiste no conhecimento familiar do domínio base utilizado tanto para quem estabelece a analogia quanto para os ouvintes (estudantes);
- 2º. Princípio da Independência: constitui na independência entre o domínio base (DB) e alvo (DA) da comparação, ou seja, o domínio base escolhido independe de como a entidade de interesse científico é concebida, o alvo da analogia. Em outras palavras, modificações no conhecimento sobre entidade de interesse científico não implicaria em alterações no DB, a não ser a mera substituição por outro sistema análogo.

Para analisar o modelo elaborado em relação a entidade modelada, os autores sugerem outros dois princípios:

- 1º. Princípio da Representatividade: equivale dizer que os modelos são construídos com a finalidade de representar parcialmente a entidade de interesse científico;
- 2º. Princípio da Dependência: expressa a relação de dependência entre o conhecimento científico da entidade a ser modelada e o modelo elaborado para representá-la. Em outros termos, significa que a modificação do nosso conhecimento sobre a entidade de interesse científico pode modificar a forma como o modelo será construído para representá-la.

Consideramos esses princípios enunciados por Almeida, Almeida & Ferry (2018) para fazer a análise de algumas comparações encontradas nos livros didáticos analisados com o objetivo de esclarecer se o mais adequado era classificar o recurso utilizado pelos autores como uma analogia ou como um modelo.

## 4 METODOLOGIA

A proposta de investigação se iniciou com o levantamento e análise estrutural de comparações potencialmente analógicas em livros didáticos de Química, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático 2018 (PNLD/2018), no contexto de conteúdos procedimentais do ensino e da aprendizagem de estequiometria, de modo a fornecer material teórico para a elaboração de modelos analógicos. Após a elaboração de um modelo fundamentado em analogia estruturalmente consistente e sistemática, analisamos as suas potencialidades e limitações pedagógicas com um grupo de professores de Química, que lecionam na Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM), por meio das suas percepções em eventuais situações de uso.

Para tanto, a pesquisa, caracterizada por uma abordagem qualitativa, com o objetivo de um estudo exploratório, envolveu o método de pesquisa caracterizado como Estudo de Caso por se tratar de uma investigação mais intensa em torno de um caso particular. Ela foi desenvolvida em três etapas:

- 1) Análise do potencial analógico de comparações, no contexto da estequiometria, encontradas em livros didáticos de Química aprovados no PNLD/2018, por meio de mapeamentos estruturais;
- 2) Elaboração de modelo analógico, a partir das comparações estruturalmente consistentes e sistemáticas, que pudessem ser utilizados no ensino dos respectivos subtópicos de conteúdo para os quais as analogias haviam sido propostas;
- 3) Apresentação do modelo analógico para professores de Química da formação geral e técnica da EPTNM, do CEFET-MG, por meio de grupos focais, a fim de analisar suas percepções a respeito das potencialidades e limitações dos recursos mediacionais apresentados em eventuais situações de uso.

Os procedimentos realizados em cada etapa estão descritos nas próximas seções.

### 4.1 Análise do Potencial Analógico

Na primeira etapa do trabalho, procedemos a leitura integral dos capítulos referentes à temática de estequiometria nos seis livros de Química do PNLD/2018, para identificação de comparações utilizadas pelos autores, por meio do

reconhecimento de expressões ou de ilustrações que evidenciavam o seu estabelecimento. Os seis livros, seus respectivos capítulos e o código atribuído a cada um deles estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Codificação dos livros de Química do PNLD/2018.

Código	Título	Autores	Volume	Editora	Edição	Ano	Capítulo
A	Química	Ciscato, Pereira, Chemello & Proti	1	Moderna	1ª	2016	5 (p. 186-221)
B	Química	Martha Reis	2	Ática	2ª	2016	3 (p. 45-61)
C	Ser protagonista	Júlio Lisboa et al.	1	Edições SM	3ª	2016	14 (p. 265-283)
D	Química	Mortimer & Machado	1	Scipione	3ª	2016	8 (p.226-247)
E	Vivá	Novais & Tissoni	1	Positivo	1ª	2016	9 (p. 188-205)
F	Química Cidadã	Santos & Mól, (coord.)	2	AJS	3ª	2016	2 (p. 41-64)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Após essa leitura, realizamos os mapeamentos estruturais das comparações evidenciadas de maneira a permitir a análise estrutural, semântica e pragmática das mesmas. Os mapeamentos foram realizados de acordo com a teoria do mapeamento estrutural (TME) de Gentner (1983), as contribuições de Ferry (2018) e adaptações de Barbosa (2019). Desse modo, o Quadro 7 indica os códigos correspondentes utilizados nesses mapeamentos.

Quadro 7 - Padrão de representação utilizado nas correspondências no mapeamento estrutural de comparações com as adaptações da notação das correspondências das relações de ordem superior.

DOMÍNIO BASE (DB)	REPRESENTAÇÕES DAS CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO (DA)
<b>Elementos da base</b>	$\longleftrightarrow E_n$	<b>Elementos do alvo</b>
Elementos que compõem o DB	<i>Correspondências entre elementos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra E</i>	Elementos que compõem o DA
<b>Atributos dos elementos do DB</b>	$\longleftrightarrow A_n(E_x)$	<b>Atributos dos elementos do DA</b>
Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no DB.	<i>Correspondências entre atributos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra A;</i>	Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no DA.

	<i>Cada correspondência dessa natureza deve possuir um único argumento, ou seja, deve estar baseada em uma única característica.</i>	
<b>Relações de 1ª ordem do DB</b>	$r_n (E_x/A_x, E_y/A_y, \dots)$ ←→	<b>Relações de 1ª ordem do DA</b>
Relações entre dois ou mais elementos do DB ou entre suas características; relações de ordem estrutural que dizem respeito ao modo como os elementos do DB estão dispostos entre si.	<i>Correspondências entre relações de menor complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra r (minúscula); Cada correspondência dessa natureza deve possuir, no mínimo, dois argumentos.</i>	Relações entre dois ou mais elementos do DA ou entre suas características; relações de ordem estrutural que revelam como os elementos do DA estão dispostos entre si.
<b>Relações de 2ª ordem do DB</b>	${}^2R_n (r_x, r_y / E_y / A_y \dots)$ ←→	<b>Relações de 2ª ordem e/ou de ordem superior no DA</b>
Relações existentes entre relações de 1ª ordem previamente postuladas entre elementos do DB ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.	<i>Correspondências entre relações mais complexas que devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pelo código <math>{}^2R</math>; Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 1ª ordem como um dos seus argumentos.</i>	Relações existentes entre relações de 1ª ordem previamente postuladas entre elementos do DA ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.
<b>Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau 'nh' do DB</b>	${}^{nh}R_n (({}^{nh-1})R_x, R_y / r_y / E_y / A_y, \dots)$ ←→	<b>Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau 'nh' do DA</b>
Relações existentes entre relações do DB, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.	<i>Correspondências entre relações de maior complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pelo código <math>{}^{nh}R</math>; Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 2ª ordem como um dos seus argumentos</i>	Relações existentes entre relações do DA, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.
<b>Determinados atributos ou relações do DB</b>	$D_n: [\dots]$ ←→ X	<b>Determinados atributos ou relações do DA</b>
Características ou relações presentes no DB, conectadas a pontos em correspondência, que são diferentes nos respectivos pontos no DA.	<i>Diferenças alinháveis As setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra D*.</i>	Características ou relações presentes no DA, conectadas a pontos em correspondência, que são diferentes nos respectivos pontos no DB.
<b>Atributos ou Relações do DB ausentes no DA</b>	$L_n: [\dots]$ ←→ X	<b>Atributos ou Relações do DA ausentes no DB</b>
Condições do DB para as quais a comparação não se aplica; ou, elementos, atributos ou relações do DB que não devem ser "transferidos" para o DA.	<i>Limitações da comparação As setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra L**.</i>	Condições do DA para as quais a comparação não se aplica; ou, elementos, atributos ou relações do DA que não encontram correspondência no DB.
* - Os códigos das diferenças alinháveis devem, sempre, remeterem-se a alguma correspondência previamente codificada. ** - Os códigos das limitações identificadas referem-se a um novo elemento, atributo ou relação. Isto é, na lógica do mapeamento estrutural, as limitações são apresentadas com novos códigos.		

Fonte: Adaptado de Ferry (2018) e Barbosa (2019).

Ademais, utilizamos o *software* “Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias” (MAPES<sup>1</sup>) para a elaboração dos mapeamentos estruturais das comparações encontradas nos livros de Química aprovados no PNLD/2018. O MAPES consiste em uma ferramenta auxiliar desenvolvida por Barbosa & Ferry (2018) com o objetivo de favorecer a construção e investigação das características estruturais de comparações. Por meio dessa análise, selecionamos analogias consideradas estruturalmente consistentes e sistemáticas de acordo com a TME de Gentner (1983) e a teoria das múltiplas restrições de Holyoak & Thagard (1989) com o objetivo de criação de possíveis modelos analógicos.

## 4.2 Elaboração do Modelo Analógico

Levando em consideração a análise estrutural, semântica e pragmática das analogias, nessa etapa elaboramos um modelo analógico tridimensional e concreto baseado em uma analogia entre uma balança de dois pratos e os coeficientes estequiométricos de uma equação química, encontrada no livro didático F. Consideramos, também, os aspectos pedagógicos das analogias encontradas nos livros, de modo a favorecer o ensino de subtópicos da estequiometria.

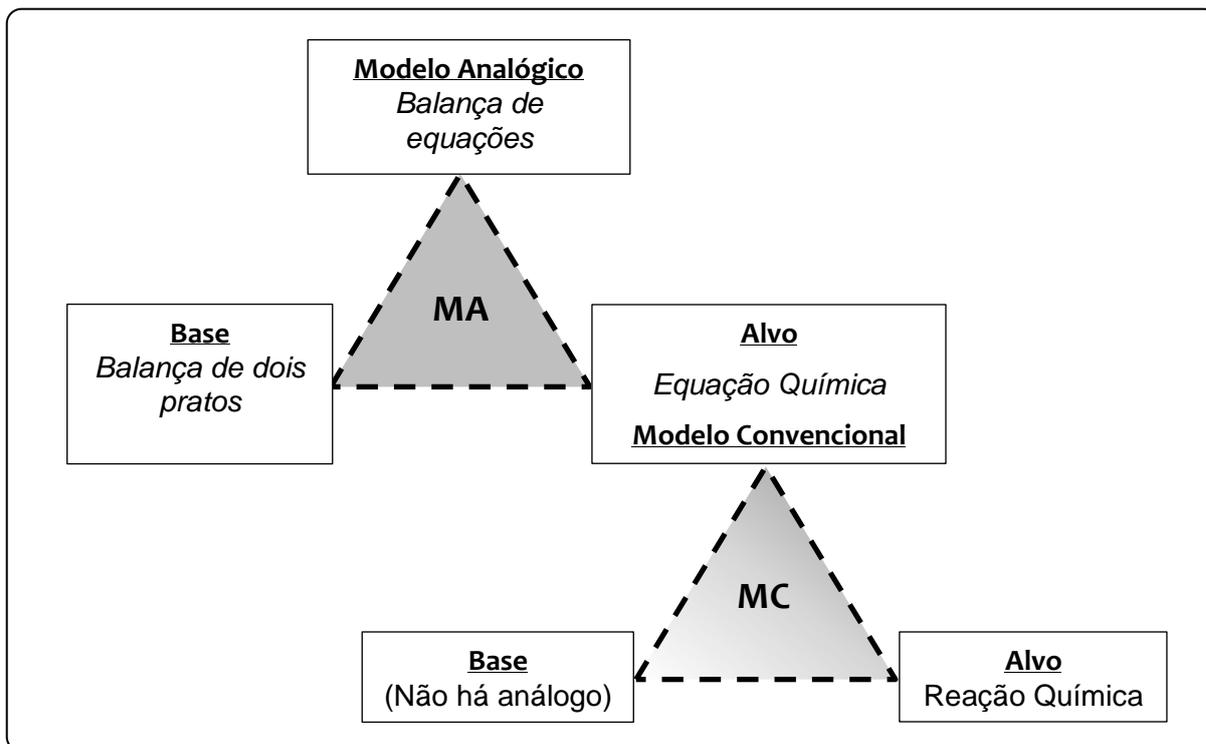
Para a elaboração do modelo, foram considerados alguns critérios quanto a materialidade dos objetos como: resistência, leveza, versatilidade, durabilidade, estabilidade e que fosse um material portátil e coerente com o conteúdo abordado no contexto da estequiometria. O modelo foi proposto por meio dos procedimentos de modelagem apresentados por Justi & Gilbert (2016) e Mozzer & Justi (2018), que sugerem a elaboração de atividades de modelagem envolvendo quatro ciclos: criação, expressão, testes e avaliação de modelos, conforme descrito na fundamentação teórica.

Após a escolha da analogia que inspirou o desenvolvimento do modelo, fizemos a seguinte análise, considerando o esquema relacional entre os conceitos de base, alvo e modelo elaborado por Almeida, Almeida e Ferry (2018), conforme Figura 6.

---

<sup>1</sup> O MAPES é um sistema web desenvolvido por Barbosa & Ferry (2018), disponível na rede interna do GEMATEC / CEFET-MG.

Figura 6 - Esquema relacional entre a modelagem convencional (MC) e a modelagem analógica (MA) de uma equação química proposta na pesquisa.

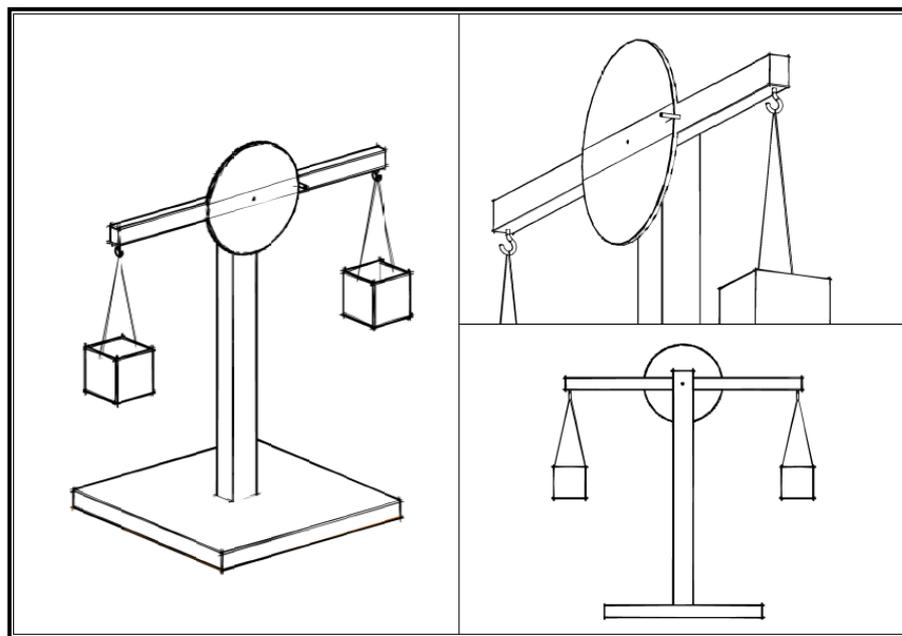


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De acordo com o esquema da Figura 6, é possível perceber que as equações químicas estão apresentadas como representações parciais das reações químicas, baseadas única e exclusivamente no conhecimento teórico sobre os respectivos fenômenos e nos símbolos e sinais gráficos consensuais dados por convenção pela comunidade científica e acadêmica. Desse modo, consideramos adequado classificar as equações químicas, bem como qualquer outra representação construída dessa forma, como modelos convencionais das suas respectivas entidades de interesse científico – as reações químicas.

Considerando esses aspectos, utilizamos esse conhecimento já existente de uma equação química e elaboramos um modelo inspirado na analogia com uma balança de dois pratos. Na fase de criação realizamos um esboço do modelo, conforme nosso objetivo de representar uma equação química através de uma balança de dois pratos (Figura 7).

Figura 7 - Protótipo do modelo analógico balança de equações.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Após esse modelo mental e planejamento da parte física do modelo, ele foi materializado na modalidade representacional concreta (3D), caracterizando o segundo ciclo, o da expressão. Para isso, utilizamos uma base e um suporte de madeira, disco de metal e revestimento de adesivos com texturas que se aproximam das de madeira e de metal. Para simular os pratos da balança, utilizamos recipientes de metal de mesmo tamanho e peso. E, para as moléculas, utilizamos um modelo molecular de bastão e bola, que é mais denso do que outros recursos comuns (p.ex.: isopor, EVA<sup>2</sup> etc.), pois, assim, a diferença de peso nos dois lados da balança torna-se perceptível, o que facilita a identificação do desequilíbrio da balança quando as massas dos modelos moleculares colocados em ambos os lados forem diferentes. Fizemos essa escolha uma vez que, com outros materiais mais leves, como, por exemplo, acetato-vinilo de etileno (EVA), essa diferença seria imperceptível.

Em seguida, com o objetivo de testar se o modelo atendia ao nosso objetivo idealizado na etapa de criação, realizamos alguns testes para observar o comportamento do modelo. Assim, tivemos o cuidado de assegurar o equilíbrio dos pratos da balança, de modo que, ao introduzir massas iguais em ambos os pratos, eles ficassem posicionados a uma mesma altura. Para tanto, o tamanho da corrente utilizada para suspender cada recipiente apresentou o mesmo comprimento e os

<sup>2</sup> EVA, em português, é a sigla de acetato-vinilo de etileno, que deriva do inglês: *ethylene vinyl acetate*.

recipientes escolhidos para funcionar como pratos apresentaram a mesma massa. Sobre o recurso utilizado para representar as entidades químicas (moléculas, átomos, ligações), tivemos o cuidado de utilizar modelos com uma diferença máxima de 0,1 gramas, de modo a não provocar um aparente desequilíbrio nas alturas dos pratos. Ademais, foram colocados pés niveladores na balança para realizar ajustes necessários de possíveis desnivelamentos dos pratos.

Antes de submeter o modelo à etapa final de avaliação, realizamos a análise estrutural do modelo a partir do seu mapeamento estrutural com o objetivo de, antecipadamente, evidenciar a sua abrangência e possíveis limitações (dados apresentados na seção de resultados). Desse modo, para avaliar o modelo, ele foi apresentado a professores de Química da EPTNM com o objetivo de analisar sua abrangência, suas potencialidades e suas limitações em eventuais situações de uso.

### **4.3 Apresentação de Modelos para Professores de Química**

Nessa etapa, alguns modelos, entre eles, dois convencionais (sendo um digital e um concreto) e dois analógicos (sendo um digital e um concreto), foram submetidos à análise de suas potencialidades e limitações nas percepções de professores de Química da EPTNM, por meio da realização de dois grupos focais.

Essa terceira etapa foi realizada após a submissão do projeto de pesquisa à Plataforma Brasil, aprovação da pesquisa por um comitê de ética e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE - Apêndice A) pelos participantes convidados. Apresentamos os aspectos éticos considerados durante a execução da terceira etapa da pesquisa na seção 4.3.2.

#### **4.3.1 Grupo Focal**

O primeiro grupo focal ocorreu no dia 13/09/2019 com a participação de quatro docentes. O segundo aconteceu no dia 20/09/2019 com a participação de outros três professores de Química, totalizando sete docentes desse componente curricular da formação geral da EPTNM envolvidos na investigação. Além disso, seis desses participantes também lecionam para a educação técnica. Essa quantidade de participantes foi definida com duas intenções: (1ª) não exceder o tempo de 120 minutos previsto para duração de cada grupo focal; e (2ª) facilitar o processo de transcrição das interações discursivas registradas, na expectativa de se ter registros

mais audíveis. Para orientar o grupo focal, foi criado um roteiro com a sua operacionalização (Apêndice B) e ao final os participantes responderam um questionário de avaliação (Apêndice C).

Além disso, os sujeitos de pesquisa foram escolhidos de acordo com os critérios de inclusão: (1°) ser professor de Química atuante na Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM); (2°) declarar ter experiência no ensino de aspectos da estequiometria química. E os critérios de exclusão: (1°) não ser professor de Química na Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM); ou (2°) declarar não ter experiência no ensino de aspectos da estequiometria química.

Conforme mencionado, foram apresentados dois modelos digitais para os participantes, que são duas simulações da plataforma PHET<sup>3</sup>- Simulações Interativas, da Universidade de Colorado Boulder, com o objetivo de analisar e/ou comparar o uso dessa ferramenta com os modelos convencionais e analógicos concretos. A simulação se chama “Reagentes, Produtos e Excesso” e tem por objetivo introduzir o conceito de reagente em excesso e limitante em uma reação química. Orientações para o uso dessas simulações em sala de aula, dadas pela própria plataforma, estão apresentadas, sob a forma de um roteiro (Roteiro A) no Apêndice D.

Os outros dois recursos expostos aos professores são concretos tridimensionais. O primeiro, produzido a partir de uma atividade encontrada no livro F (p. 47), é um modelo que utiliza cliques para representar átomos e moléculas com o objetivo de propor o acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química. A atividade foi apresentada aos professores participantes sob a forma de um segundo roteiro (Roteiro B - Apêndice E). Esse modelo foi produzido com o objetivo de possibilitar aos participantes a manipulação de dois modelos concretos, além das duas simulações mencionadas anteriormente. Dessa forma, eles poderiam expressar suas considerações em relação a dois recursos digitais e a dois recursos concretos dentro de um mesmo contexto de aplicação: a estequiometria. O segundo modelo concreto apresentado foi o da “balança de equações”, conforme desenvolvimento na seção anterior. Nesse caso, foram sugeridos dois roteiros (Roteiro C.1 e C.2 –

---

<sup>3</sup> PHET- Simulações interativas é uma plataforma criada em 2002 pela Universidade de Colorado Boulder, que encontra-se disponível online, gratuita e possui versão em português. Ela apresenta simulações das áreas de Química, Física, Biologia, Matemática e Ciências da Terra, que podem ser usadas por docentes em suas práticas educativas.

Apêndice F), o primeiro desenvolvido para o uso do docente em uma aula expositiva e o segundo para o uso por pequenos grupos de estudantes.

#### 4.3.1.1 Análise do Grupo Focal

Os dados dos grupos focais foram inicialmente transcritos com o auxílio de um recurso online que diminui a velocidade dos áudios (<https://otranscribe.com/>). Como simbologia de transcrição, utilizamos o padrão de transcrição de Barbosa (2019), conforme apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Sinais gráficos adotados na transcrição das interações discursivas ocorridas nos grupos focais.

Sinal gráfico	Significado
/	Pausa breve
;	Finalização do turno de fala com aparente conclusão do raciocínio
/;	Finalização do turno de fala sem aparente conclusão do raciocínio
((h min s))*	Tempo no áudio de referência da transcrição (h, m e s representam números inteiros e significam, respectivamente, hora, minuto e segundo)
[...]	Trecho inaudível ou irrelevante para a pesquisa
[[...]]	Omissão por categorização – Utilizado para omitir partes consideradas não importantes para a análise.
Participante	Fala de outro participante realizada por interrupção
(?)	Sinalização de uma aparente pergunta
(!)	Sinalização de uma aparente afirmação enfática.
(!?)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ indagação retórica;</li> <li>▪ quando um participante interrompe o falante para:               <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ confirmar a informação dita anteriormente;</li> <li>▪ retomar algum raciocínio;</li> <li>▪ ou acompanhar o raciocínio dos demais participantes.</li> </ul> </li> </ul>
(*)	Indica incerteza na transcrição da palavra (pode ter sido transcrita uma palavra foneticamente similar).
./	Interrupção e/ou reorganização/redirecionamento do raciocínio feito pelo próprio falante.
.../	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ quando precedido por uma palavra, indica extensão do fonema;</li> <li>▪ quando precedido de “barra + espaço”, indica que o falante mudou o raciocínio no mesmo turno de fala</li> </ul>
/...	Quando um falante é interrompido por um participante, mas continua seu turno de fala logo em seguida.
[sílabas]	Aparece como sílaba alternativa de uma palavra cujo áudio deixou dúvidas sobre a transcrição; a <i>tag</i> (indefinido) após o término da palavra será empregada em conjunto com esse sinal gráfico.
{ }	Descrição de aspectos relevantes que não puderam ser captados pelo gravador de áudio, mas que foram registrados em caderno de campo.
[inaudível]	palavra ou trecho não capturado(o) claramente.
(sic)	Palavra ou trecho na forma originalmente falada pelo autor
* para a hora inicial são apresentados apenas minutos e segundos ((min s))	

Fonte: Adaptado de Barbosa (2019).

Os participantes foram identificados com os códigos de Professor 1, 2, 3, 4, 5, 6 ou 7, de modo a preservar tanto o gênero quanto a identidade do participante, garantindo o seu total anonimato, conforme prevê o TCLE.

Após a transcrição completa dos áudios, as falas foram categorizadas com o suporte do roteiro do grupo focal (Apêndice D). Para isso, utilizamos o método de análise de conteúdo proposto por Bardin (2016). Segundo a autora, essa análise é dividida em três fases: 1ª) pré-análise; 2ª) exploração do material coletado e 3ª) tratamento dos dados, inferências e interpretações.

A fase de pré-análise consiste em uma fase de organização das informações coletadas. Assim, começamos com uma leitura flutuante do texto gerado após a transcrição completa dos áudios dos grupos focais, conforme sugere Bardin (2016). Na fase de exploração do material, a autora recomenda a codificação das informações de acordo com as regras estabelecidas na fase anterior. Assim, nessa etapa, fizemos a categorização de acordo com a sequência do roteiro do grupo focal, conforme apresentado no Quadro 9. Na última etapa, a fase de tratamento de resultados, os dados coletados devem ser transformados em informações significativas de modo a permitir inferências e interpretações. Nessa etapa, por meio de leituras exaustivas do material coletado e transcrito, foram associadas as falas dos participantes dos grupos focais com as categorias estabelecidas de forma a explicitar a finalidade pré-estabelecida.

Quadro 9 - Categorias de análise dos dados empíricos.

<b>1º Sequência</b>		
<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Finalidade</b>
1. Aspectos relacionados a prática de ensino de estequiometria	1.1 Dificuldades enfrentadas por alunos na estequiometria, na percepção dos professores 1.2 Dificuldades em ensinar estequiometria	Compreender aspectos gerais sobre a prática de ensino de conceitos e procedimentos da estequiometria na EPTNM
2. Aspectos relacionados ao emprego de analogias e modelos no ensino de estequiometria	2.1. Repertório de analogias para o ensino de estequiometria 2.2. Repertório de modelos para o ensino de estequiometria 2.3 Repertório de modelos analógicos para o ensino de estequiometria	Identificar experiências e possível importância do uso de analogias e modelos, dada pelos participantes, para o ensino de conceitos e procedimentos da estequiometria

<b>2º Sequência</b>		
<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Finalidade</b>
1. Aspectos relacionados as características e ao uso dos recursos apresentados	1.1. Quanto a abrangência do uso dos recursos em sala de aula 1.2. Potencialidades e limitações dos recursos 1.3 Ressalvas quanto ao uso dos modelos	Identificar a abrangência, potencialidades e limitações do uso de modelos no ensino de conceitos e procedimentos da estequiometria na EPTNM e quais seriam as ressalvas no uso dos modelos em sala de aula
2. Aspectos relacionados ao tipo de modelagem empregada nos recursos apresentados	2.1 Classificação dos recursos como modelo convencional ou modelo analógico	Identificar a percepção dos professores quanto a diferença de modelos convencionais e analógicos
<b>3º Sequência</b>		
<b>Categoria</b>	<b>Subcategoria</b>	<b>Finalidade</b>
1. Abordagem de modelos como recurso didático para uma Educação Tecnológica	-	Identificar as vantagens e desvantagens de se empregar modelos analógicos como recurso didático para uma Educação Tecnológica

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Além disso, a autora recomenda que na última fase da análise de conteúdo seja realizado uma análise estatística, que em nosso estudo não será contemplada, uma vez que nossa pesquisa tem um caráter qualitativo. No entanto, alguns autores incluindo a própria autora, reconhecem que a metodologia de análise de conteúdo pode ser usada para análise qualitativa obtendo-se resultados significativos (MOZZATO & GRZYBOVSKI, 2011; CÂMARA, 2013)

#### **4.3.2 Aspectos éticos da investigação**

Considerando o respeito pela dignidade humana e pela especial proteção devida a todos os participantes da pesquisa, este projeto foi cadastrado na Plataforma Brasil para avaliação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do CEFET-MG. Firmamos o compromisso de que as etapas que envolveram seres humanos somente foram realizadas após o parecer favorável do projeto pelo CEP.

Para assegurar a ética em nossa pesquisa, reconhecemos a importância de: (i) considerar os participantes em primeiro lugar, conferindo-lhes a decisão de participar ou não da pesquisa; (ii) salvaguardar os direitos, interesses e sensibilidades dos participantes; (iii) comunicar os objetivos da pesquisa aos participantes; e (iv) proteger a privacidade deles, assegurando seu anonimato.

Assim, foi apresentado um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para que fosse lido e compreendido pelos envolvidos, garantindo aos participantes o recebimento de uma via desse termo assinada pelos responsáveis da

pesquisa, ou seja, o orientador e a mestranda. O TCLE contém declaração dos pesquisadores responsáveis expressando o cumprimento das exigências contidas nos itens IV.3 e IV.4 da Resolução nº 466 de 12 de dezembro de 2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

O processo de comunicação do termo de consentimento livre e esclarecido ocorreu de forma clara e objetiva, explicitando os objetivos da pesquisa, a confidencialidade das informações, a privacidade dos participantes e a proteção aos seus dados, incluindo os registros de áudio produzidos durante a realização de dois grupos focais. Esse procedimento foi realizado após o resultado “aprovado” do comitê de ética. Inicialmente, enviamos um convite eletrônico (via e-mail) para os possíveis participantes, convidando-os para participarem do grupo focal, caso o participante aceitasse participar, foi enviado o TCLE e apresentado maiores detalhes da sua participação no grupo focal. Além disso, possíveis dúvidas foram esclarecidas. Com a confirmação da sua participação, o grupo focal foi agendado de acordo com a disponibilidade dos participantes. Ademais, no início do grupo focal, foi estabelecido entre os participantes um contrato social de modo a garantir o anonimato e privacidade de todos. Os pesquisadores responsáveis assumiram o compromisso de não criar, manter ou ampliar as situações de risco ou vulnerabilidade para os participantes, seja de forma individual ou coletiva, nem acentuar qualquer tipo de preconceito ou discriminação. O ambiente no qual os participantes de cada grupo focal foram reunidos foi em uma sala de aula comum da instituição na qual os participantes atuam como professores, que ofereceu condições mínimas de conforto (pouco ruído ou barulho, isento de odores, com iluminação e mobiliário adequados), e de privacidade ao grupo.

Embora o tópico de conteúdo a ser discutido nos grupos focais seja a estequiometria em equações e reações químicas, em nenhuma das etapas da metodologia foram empregadas ou manipuladas substâncias, vidrarias, equipamentos ou utensílios de laboratório químico, que poderiam colocar em risco a integridade física dos participantes. Tendo em vista o envolvimento de seres humanos na terceira etapa da metodologia proposta, consideramos importante ressaltar que a técnica de pesquisa empregada - grupo focal - terá por finalidade levantar opiniões, percepções e ideias dos participantes com conhecimento especializado sobre um mesmo tópico, que é o ensino da estequiometria. Ressaltamos que essa etapa somente foi executada após a aprovação do CEP.

As interações discursivas promovidas nos grupos focais foram registradas somente em áudio, por meio de um gravador. Optamos por não utilizar câmeras de vídeo a fim de minimizar os riscos de constrangimentos e inibições sobre os participantes relacionados à captação de imagens. Nesse sentido, também optamos por envolver os dois pesquisadores na realização dos grupos focais: um conduziu as interações discursivas entre os participantes enquanto o outro ficou responsável por operar o gravador de áudio e anotar observações que julgamos não serem passíveis de registro pelo gravador de áudio, em um caderno de campo de uso e guarda exclusiva dos pesquisadores.

Não foi coletado e nem divulgado nenhum dado pessoal que permita a identificação dos participantes da pesquisa. Nas publicações ou apresentações destinadas à divulgação dos resultados da pesquisa, será necessária a exibição de trechos transcritos das falas dos participantes. Contudo, todas as transcrições foram realizadas de modo a garantir o anonimato dos participantes. Não há exposição de nomes ou áudios que identifiquem os participantes da pesquisa. Apenas os pesquisadores responsáveis têm acesso aos registros produzidos que permitem identificá-los.

Os arquivos dos registros dos áudios estão guardados em um computador portátil de acesso exclusivo dos pesquisadores. Cada arquivo será identificado com um código alfanumérico: GFI (Grupo Focal I) e GFII (Grupo Focal II). Os arquivos dos registros dos áudios serão guardados por um período máximo de 5 anos. Esse computador possui senha de conhecimento exclusivo da investigadora, proprietária do mesmo. No caderno de anotações, os dados não serão registrados de forma identificada. Os participantes da pesquisa serão meramente designados nas anotações como PROF1 (professor 1), PROF2 (professor 2) e PROF3 (professor 3), sem distinção de gênero.

Entende-se que, na realização de grupos focais com professores, há o risco de constrangê-los, de colocá-los em uma situação desconfortável, de ofendê-los com alguma pergunta, ou até de provocar inibições decorrentes do uso de equipamentos de registro. Os pesquisadores responsáveis estavam atentos durante a realização de cada grupo focal a fim de se evitar qualquer situação que pudesse levar os participantes a qualquer um desses riscos. Esses cuidados envolveram: (i) garantir aos participantes o direito de não responder a qualquer pergunta; (ii) limitar a abrangência das perguntas aos aspectos diretamente relacionados ao uso de

modelos para o ensino de subtópicos da estequiometria; (iii) ter uma escuta atenta e respeitosa às respostas dadas pelos participantes; (iv) garantir que somente estavam presentes durante a realização de cada grupo focal os professores convidados e os dois pesquisadores responsáveis; e (v) garantir que as gravações das interações discursivas não serão escutadas por mais ninguém além dos pesquisadores aqui citados.

Os riscos aos participantes foram minimizados pelos procedimentos éticos adotados na pesquisa, em consonância com as diretrizes e normas regulamentadoras estabelecidas pela Resolução número 466, de 12 de dezembro de 2012, e pela Resolução 510, de 07 de abril de 2016, ambas do Conselho Nacional de Saúde (CNS). Entendemos que os riscos decorrentes da participação nessa pesquisa foram mínimos, restringindo-se a: possível cansaço ao longo da atividade em grupo, inibição, angústia ou constrangimento ao participar da atividade, decorrente do uso de equipamentos de registro e da presença de um segundo pesquisador, ou do desconforto em responder alguma pergunta. Nesse caso, o participante poderia interromper sua participação sem prestar esclarecimentos e deixar o local da atividade. Os pesquisadores se comprometeram em tornar essa possibilidade clara para todos os participantes no momento da apresentação e assinatura do TCLE e, também, durante a realização de cada grupo focal.

Por outro lado, os benefícios em participar dessa pesquisa foram abrangentes. Primeiramente, entendemos que, aos participantes, houve o benefício direto associado à possibilidade de se promover uma reflexão sobre suas práticas educativas como parte da atividade docente, uma vez que o emprego de modelos analógicos pode se constituir como uma abordagem ou estratégia pertinente ao ensino de Química. Do mesmo modo, a apresentação das simulações da plataforma PhET pode se constituir como uma oportunidade de ampliação do repertório dos participantes a respeito da diversidade de recursos tecnológicos disponíveis para o ensino de Ciências. Em segundo lugar, de forma direta à sociedade e indireta aos participantes, a pesquisa possibilita a reflexão sobre as percepções, ideias e opiniões de professores de Química frente ao uso de modelos no ensino de estequiometria. Portanto, consideramos que os benefícios dessa pesquisa tanto aos participantes quanto a sociedade compensa os riscos mencionados anteriormente.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 Análise do potencial analógico de comparações**

Esta etapa consistiu na análise do potencial analógico de comparações, no contexto da estequiometria, encontradas nos capítulos dos livros didáticos de Química aprovados no PNLD/2018 que abordavam esse tópico de conteúdo, por meio de mapeamentos estruturais segundo a TME de Gentner (1983) e a Teoria das Múltiplas Restrições de Holyoak & Thagard (1997). O mapeamento deve ser explícito, pois as características e relações mapeadas entre o DB e o DA são fundamentais para avaliar uma comparação e suas limitações, além de ser a única forma de identificar o tipo de comparação estabelecida (MOZZER & JUSTI, 2015).

A partir da leitura dos capítulos envolvendo o contexto da estequiometria nos seis livros aprovados no PNLD/2018, identificamos 25 ocorrências de comparações, associadas a 20 subtópicos de conteúdo da estequiometria química, de acordo com as evidências de expressões ou de ilustrações que demonstravam o seu estabelecimento, conforme apresentado no quadro 10.

Quadro 10 - Quantidades de comparações encontradas nos livros didáticos de Química do PNLD/2018 nos subtópicos da Estequiometria.

Subtópicos no contexto da Estequiometria	Livros didáticos											
	A		B		C		D		E		F	
	Aborda?	N° de comp.	Aborda?	N° de comp.	Aborda?	N° de comp.	Aborda?	N° de comp.	Aborda?	N° de comp.	Aborda?	N° de comp.
1. Balanceamento de Equação Química	S	1	N	-	N	-	N	-	N	-	S	2
2. Notação Científica	N	-	N	-	N	-	N	-	N	-	S	0
3. Grandezas Físicas	S	0	N	-	N	-	N	-	N	-	N	-
4. Dimensão atômica	N	-	N	-	N	-	N	-	N	-	S	1
5. Massa Atômica	S	0	N	-	S	0	N	-	S	1	S	0
6. Massa Molecular	S	0	N	-	S	0	N	-	N	-	S	0
7. Massa Molar	S	0	N	-	S	1	S	0	S	0	S	0
8. Quantidade de matéria enquanto grandeza física	S	0	S	0	S	1	S	1	S	2	S	1
9. Constante de Avogadro	S	1	S	0	S	3	S	3	S	1	S	1
10. Lei de Proust	S	0	S	1	N	-	S	1	N	-	N	-
11. Volume Molar	N	-	S	0	S	0	S	0	N	-	S	0
12. Determinação das fórmulas das substâncias	S	0	N	-	S	0	N	-	N	-	N	-
13. Relações estequiométricas	N	-	N	-	N	-	N	-	N	-	S	1
14. Cálculos estequiométricos das reações	S	0	S	0	S	0	S	0	S	0	S	0
15. Cálculos estequiométricos das soluções	N	-	N	-	N	-	N	-	S	0	N	-
16. Cálculos estequiométricos dos gases	N	-	N	-	S	0	N	-	N	-	N	-
17. Reagente em excesso e limitante	S	0	S	1	S	0	S	0	S	1	N	-
18. Rendimento de reação	S	0	S	0	S	0	N	-	N	-	S	0
19. Pureza de reagente	S	0	S	0	S	0	N	-	N	-	N	-
20. Reações consecutivas	S	0	N	-	N	-	N	-	N	-	N	-
<b>TOTAL</b>	-	2	-	2	-	5	-	5	-	5	-	6

Fonte: Elaborado pela autora (2020). Legenda: S – Sim; N – Não.

Observamos uma maior quantidade de comparações nos subtópicos constante de Avogadro (9 ocorrências) e quantidade de matéria, enquanto grandeza física (5 ocorrências), que são dois subtópicos de conteúdos que se relacionam tanto na perspectiva conceitual (a unidade mol é parametrizada pela constante de Avogadro) quanto no grau de complexidade e abstração envolvido na compreensão dos seus significados. O maior número de ocorrências referentes ao subtópico da constante de Avogadro, possivelmente, decorre de uma necessidade, por parte dos autores, de conferir uma dimensão tangível a esse domínio, na tentativa de facilitar a compreensão para os estudantes.

Por outro lado, para outros subtópicos da estequiometria tão complexos quanto os dois anteriores ou, talvez, mais desafiadores, como os cálculos estequiométricos, rendimento de reações e pureza de reagentes, não encontramos nenhuma comparação em nenhum dos livros analisados.

Ressaltamos que as 25 ocorrências identificadas estão associadas a 17 comparações e 2 modelos. Realizamos a identificação, em cada uma das comparações, do domínio base (DB), do domínio alvo (DA), do propósito contextual, do foco da comparação, e fizemos a sua classificação preliminar quanto ao tipo de comparação, baseado na sua apresentação no livro didático. Quanto ao propósito contextual de cada comparação, consideramos a intenção que o autor possivelmente teve ao estabelecê-la, de acordo com a ilustração ou passagem textual da comparação. Em outras palavras, tentamos identificar a finalidade que os autores pretendiam com esse recurso. A respeito do foco da comparação, identificamos quais os pontos principais das correspondências relacionais abordadas pelos autores dos livros didáticos. Esse levantamento prévio de dados foi realizado com o objetivo de auxiliar na produção e análise dos mapeamentos estruturais. Os resultados estão apresentados no quadro 11.

Quadro 11 - Comparações no contexto da estequiometria encontradas nos livros do PLND/2018, com seus respectivos DB, DA, propósito contextual, foco da comparação, classificação preliminar e livro correspondente.

Subtópico da Estequiometria	Domínio Base (DB)	Domínio Alvo (DA)	Propósito Contextual	Foco da Comparação	Classificação Preliminar	N° ocorrências (Livro Didático)
(1º) Balanceamento de equação química	Balança de dois pratos (implícito)	Determinação de coeficientes estequiométricos	Apresentar o conceito de balanceamento como um processo de busca das proporções entre reagentes e produtos	Foco não explicitado; não houve explicitação de correspondências	Metáfora Relacional	1 (A)
	Balança de dois pratos para quantificar massas por meio do equilíbrio entre seus pratos	Acertos dos coeficientes estequiométricos de uma equação química através do equilíbrio do número de átomos dos reagentes e produtos	Introduzir e favorecer a compreensão do conceito de balanceamento de equações químicas a partir da ideia de balanceamento envolvida no uso de uma balança de dois pratos	Relação de equivalência entre procedimentos de quantificar quantidade de massa	Analogia	1 (F)
	Determinar a proporção de cliques utilizados para representar as moléculas dos reagentes necessárias para formar as moléculas dos produtos	Determinar a proporção entre os reagentes para a formação dos produtos em uma equação química (coeficientes estequiométricos)	Oferecer uma perspectiva tangível para compreender como ocorre a proporção entre os átomos em uma reação química e, conseqüentemente, determinar os coeficientes estequiométricos em uma equação química a partir das entidades do DB	Não se aplica*	Modelagem convencional	1 (F)
(4º) Dimensão atômica	Relação de proporcionalidade entre o tamanho de uma maçã e o tamanho da Terra	Relação de proporcionalidade entre o tamanho de um átomo e o tamanho de uma maçã	Oferecer uma perspectiva tangível do tamanho dos átomos a partir da relação entre os tamanhos das entidades do DB	Relação de proporcionalidade entre o tamanho de diferentes entidades	Analogia	1 (F)

Subtópico da Estequiometria	Domínio Base (DB)	Domínio Alvo (DA)	Propósito Contextual	Foco da Comparação	Classificação Preliminar	Nº ocorrências (Livro Didático)
(5º) Massa atômica	Proposição de uma unidade hipotética: gomo de laranja, considerando que a massa média de dela é feita a partir de vários tipos de laranjas, para estimar a massa de outras frutas	Proposição da unidade química: massa atômica, considerando a massa atômica como a média ponderada de isótopos de cada elemento, para estimar a massa de outros elementos	Oferecer uma perspectiva tangível do mundo macroscópico para compreender o mundo microscópico em relação ao conceito de massa atômica e de unidade de massa atômica a partir da unidade arbitrária criada no DB	Relação de equivalência entre uma determinada unidade de medida e as respectivas entidades medidas	Analogia	1 (E)
(7º) Massa Molar	A massa de dúzias de diferentes frutas	Massas molares de diferentes substâncias	Oferecer uma perspectiva tangível para o conceito de mol a partir da unidade de medida "dúzia"	Relação de equivalência entre determinadas quantidades e diferentes valores de massa	Analogia	1 (C)
(8º) Quantidade de matéria enquanto grandeza física	Bolinhas de poliestireno com tamanhos diferentes contidas em recipientes de mesmo volume	Partículas com tamanhos diferentes contidas em amostras de mesma massa	Oferecer uma perspectiva tangível para a relação entre quantidade de átomos/moléculas e massa a partir das entidades do DB	Relação de proporcionalidade entre entidades de tamanho diferentes com massas e volumes diferentes	Analogia	1 (D)
	O quilograma enquanto unidade devido à dificuldade ou impossibilidade de contar ou comprar feijão, arroz ou sal baseando-se o raciocínio em um conjunto numérico extremamente grande de grãos	O mol enquanto unidade, devido à dificuldade ou impossibilidade de se fazer cálculos químicos baseando-se o raciocínio em um conjunto numérico extremamente grande de unidades elementares	Oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da unidade de medida: mol, a partir das entidades utilizadas no DB	Relação de equivalência entre uma determinada unidade de medida e a grande quantidade de entidades correspondente	Analogia	1 (E)

Subtópico da Estequiometria	Domínio Base (DB)	Domínio Alvo (DA)	Propósito Contextual	Foco da Comparação	Classificação Preliminar	Nº ocorrências (Livro Didático)
(8º) Quantidade de matéria enquanto grandeza física	O ano enquanto unidade associada a uma grande quantidade de tempo vivido, ou seja, a inadequação de expressar a idade em segundos ao invés de anos	O mol enquanto unidade associada a uma grande quantidade de partículas	Oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da unidade de medida: mol, a partir das entidades utilizadas no DB	Relação de equivalência entre uma determinada unidade de medida e a grande quantidade de entidades correspondente	Abstração	1 (E)
	A unidade hipotética padrão para quantificar a grandeza “quantidade de miçangas” é o “miçamol”	A unidade padrão para quantificar a grandeza “quantidade de matéria” é o mol	Oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da grandeza numerosidade: “quantidade de matéria”, que tem como unidade padrão o mol	Relação de equivalência entre uma determinada grandeza de medida e suas respectivas unidades	Modelagem analógica	1 (F)
	Proporção entre as massas de bolinha diferentes colocadas em uma balança	Proporção entre as massas de átomos e moléculas diferentes em uma reação balanceada	oferecer um contexto para a compreensão de que há uma proporcionalidade entre as massas e quantidades de reagentes em uma reação química a partir da relação de massas e quantidades entre as entidades do DB	Relação de proporcionalidade entre massa e quantidade de objetos a serem medidos	Analogia	1 (C)
(9º) Constante de Avogadro	Comparação entre 5 a 7 frascos que contêm as mesmas quantidades de matéria de diferentes substâncias (1 mol)**		Oferecer uma perspectiva observável de que um mol (a mesma quantidade de entidades elementares) de diferentes substâncias corresponde a massas e volumes diferentes.	Diferença entre as massas e os volumes de diferentes substâncias (foco em atributos)	Comparação por contraste	5 (A, C, D, E, F)
(9º) Constante de Avogadro	1 mol de folhas sulfites empilhadas e divididas em 1 milhão de pilhas, cuja altura alcançaria o Sol	A dimensão do valor da constante de Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$ unidades)	Oferecer uma perspectiva tangível para a dimensão do número de Avogadro	Relação de equivalência entre o mol e a enorme quantidade de entidades/unidades que o constitui	Analogia	1 (C)

Subtópico da Estequiometria	Domínio Base (DB)	Domínio Alvo (DA)	Propósito Contextual	Foco da Comparação	Classificação Preliminar	Nº ocorrências (Livro Didático)
(9º) Constante de Avogadro	Tempo necessário para o consumo mundial de 1 mol de grãos de arroz				Abstração	1 (C)
	Tempo necessário para contar moléculas em uma amostra de 18,0 g de água				Abstração	1 (D)
	Quantidade de voltas que um mol de moléculas enfileiradas daria em torno da Terra				Abstração	1 (D)
(10º) Lei de Proust	Proporção específica de ingredientes em uma receita culinária para a fabricação de um bolo	Proporção específica de substâncias reagentes para a formação dos produtos em uma reação química	Oferecer um contexto para a compreensão da lei das proporções constantes (Lei de Proust) a partir da proporção de ingredientes em uma receita culinária	Relação de proporcionalidade entre as medidas de substâncias	Analogia	2 (B, D)
(13º) Relações estequiométricas						1 (F)
(17º) Reagente limitante e reagente em excesso	Proporção específica entre dois tipos de flores (margaridas e rosas vermelhas) para a montagem de um buquê	Proporção específica entre diferentes substâncias reagentes de uma reação química para a formação dos produtos em uma reação química	Oferecer um contexto para a compreensão dos conceitos de reagente limitante e reagente em excesso a partir da relação de proporcionalidade das entidades do DB	Relação de proporcionalidade entre as medidas de substâncias	Analogia	1 (B)
	Proporção específica entre ingredientes para a fabricação de um sanduíche		Oferecer um contexto para a compreensão dos conceitos de reagente limitante e reagente em excesso a partir da proporção entre ingredientes de um sanduíche			Analogia
*Trata-se de um processo de modelagem convencional e não de uma comparação.						
**Não há DB e DA comparados, mais detalhes na seção 5.1.6.1						

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os mapeamentos estruturais das comparações foram realizados com o auxílio do *software* MAPES e estão apresentados nas próximas seções, juntamente com as respectivas análises estruturais, semânticas e pragmáticas de cada comparação encontrada. Assim, cada seção está organizada com a ilustração e/ou trecho do livro didático em que a comparação foi identificada, seu mapeamento estrutural, quando for o caso, e a análise do seu potencial analógico.

### 5.1.1 Comparação entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”

O conteúdo procedimental do acerto de coeficientes estequiométricos de equações químicas foi identificado em todos os livros didáticos analisados, porém apenas em dois livros ele está inserido nos capítulos que envolvem o contexto da estequiometria: livro A e livro F. No livro F, encontramos uma comparação explícita, tomada pelo autores como uma analogia para a abordagem desse procedimento, já em todos os outros livros esse assunto foi abordado com caráter metafórico. Embora não tenham sido encontradas outras comparações explícitas para a abordagem desse conteúdo procedimental nos demais livros, encontramos a expressão “balanceamento de equações químicas”, como já prevíamos, que implicitamente estabelece uma comparação entre o acerto dos coeficientes estequiométricos de equação química e o acerto das massas de objetos em uma balança de dois pratos. De acordo com o nosso referencial teórico, interpretamos esse termo – *balanceamento* – como sendo uma expressão de caráter metafórico, associada à categoria das metáforas relacionais.

Há que se considerar que esse termo é tão usado entre profissionais da Química em diferentes contextos e por professores e autores de materiais didáticos para o ensino de Química que, provavelmente, eles nem percebem o caráter metafórico envolvido em seu emprego. De certo modo, o seu uso decorre da perda desse caráter e da incorporação dessa expressão como sendo um termo científico empregado para enunciar a atividade de acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas. Contudo, é inegável que a sua origem remete à analogia com a balança de dois pratos. Em síntese, podemos interpretar a expressão “balanceamento de equações químicas” como uma metáfora focada na similaridade relacional envolvida no acerto dos coeficientes estequiométricos de equação química e no acerto

das massas nos pratos de uma balança. Obviamente, o uso dessa expressão não está relacionado com a aparência ou predicados descritivos de uma balança, mas sim, com as relações de igualdade entre as massas colocadas sobre os seus pratos.

Como pode ser visto na figura 8, que apresenta um trecho do livro didático A, normalmente os autores se referem ao procedimento do acerto dos coeficientes estequiométricos das equações químicas usando a expressão metafórica “balanceamento”, sem explicitar a comparação com uma balança de dois pratos ou com o equilíbrio de massas de uma balança.

Figura 8 - Metáfora relacional “balanceamento de equação química”, livro A.

Esse processo de buscar a proporção que se estabelece entre as quantidades de entidades elementares de produtos e reagentes, de modo que se mostre que os átomos não são criados nem destruídos em uma transformação química, é chamado **balanceamento de equações químicas**. É importante frisar que a representação quantitativa das reações químicas só é completa quando as equações utilizadas estão devidamente balanceadas. Para efetuar o balanceamento de equações químicas, é necessário buscar as proporções que, de preferência, envolvam os menores números inteiros possíveis, que recebem o nome de **coeficientes estequiométricos**. Quando o coeficiente estequiométrico for “1”, seu uso é opcional. Portanto, a equação que representa a combustão do enxofre pode ser representada assim:

$$1 \text{ S(s)} + 1 \text{ O}_2\text{(g)} \longrightarrow 1 \text{ SO}_2\text{(g)}$$

Fonte: Ciscato, Pereira, Chemello & Proti (2016, p. 192).

Essa comparação implícita não coloca em correspondência os atributos de uma balança (DB) e a aparência de uma equação química (DA) e, sim, a relação existente entre o processo de pesagem de objetos e o acerto de coeficientes de uma equação química. Por isso, classificamos essa comparação como uma metáfora relacional e não como uma metáfora baseada em atributos.

Além do estabelecimento dessa comparação sob a forma de uma metáfora relacional, ela foi encontrada de duas maneiras diferentes: sob a forma de uma analogia e como um modelo convencional no livro F.

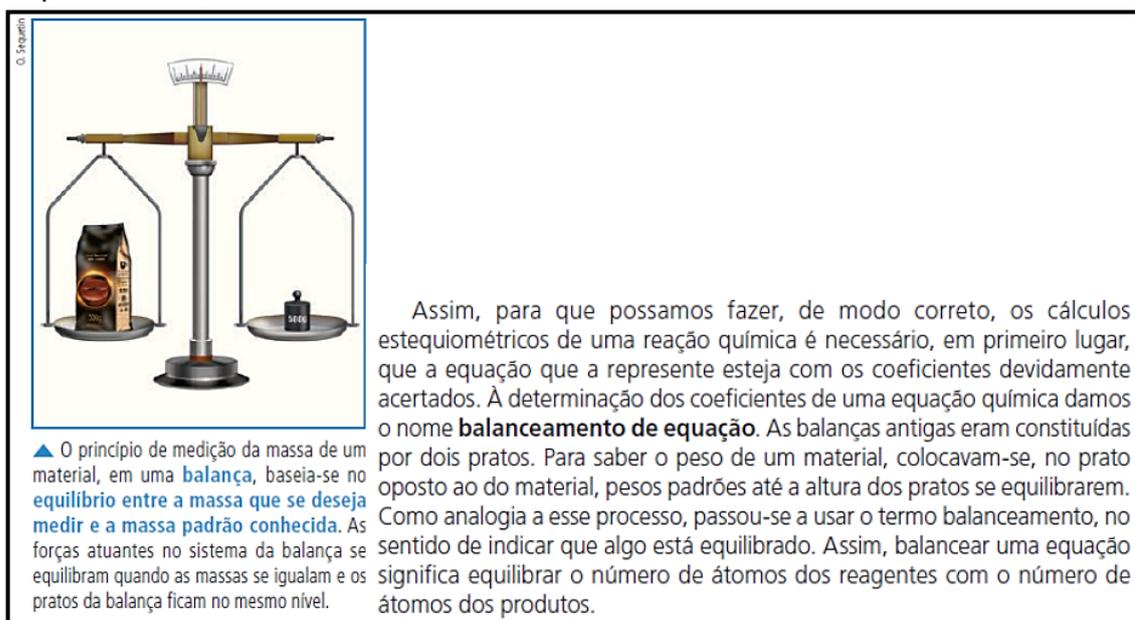
No caso da metáfora, não realizamos o mapeamento estrutural, pois a comparação não se configura uma analogia, que é o foco na nossa análise nessa primeira etapa da investigação. Além disso, o mapeamento seria muito similar ou idêntico ao mapeamento da analogia da seção seguinte.

#### 5.1.1.1 Comparação explícita da balança de dois pratos

No livro F, o conteúdo procedimental de acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas foi abordado por meio de uma comparação

explícita com uma balança de dois pratos. A figura 9 apresenta o recorte que fizemos do trecho do livro no qual encontramos essa comparação, ilustrada pelos autores por meio de uma imagem de uma balança de dois pratos. Para analisá-la em termos estruturais, semânticos e pragmáticos, diferentemente do caso da metáfora relacional, fizemos o mapeamento das suas correspondências de similaridade, das diferenças alinháveis e das limitações.

Figura 9 - Comparação explícita da balança de dois pratos para o acerto de coeficientes estequiométricos, encontrada no livro F.



Fonte: Santos & Mól, (coord.) (2016, p. 46) – Montagem com trechos copiados do livro digital.

Ao trazer o domínio base para a comparação (balança de dois pratos), conforme Figura 9, o autor explicitou, inclusive, explicando como uma balança de dois pratos funciona. Além disso, o trecho ilustrado do livro, apresenta frases que evidenciam essa comparação: “como analogia a esse processo, passou-se a usar o termo balanceamento, no sentido de indicar que algo está equilibrado” (SANTOS & MOL, p. 46, 2016). Desse modo, classificamos a comparação preliminarmente como uma analogia. Para evidenciar esse caráter, fizemos a análise estrutural da comparação, através do seu mapeamento estrutural, Quadro 12.

Quadro 12 - Mapeamento estrutural da analogia da balança de dois pratos, livro F.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Processo de pesagem	$E_1$	Reação química
Balança	$E_2$	Equação química
Lado esquerdo da balança	$E_3$	Lado esquerdo da equação química
Lado direito da balança	$E_4$	Lado direito da equação química
Objetos a serem medidos (objetos A) no lado esquerdo da balança	$E_5$	Substâncias reagentes
Objetos utilizados como padrão de medida (objetos B) no lado direito da balança	$E_6$	Substâncias formadas (produtos)
Ponteiro da balança	$L_1:[E_7]$	Não há elemento correspondente
Não há elemento correspondente	$L_2:[E_8]$	Seta da equação química
Não há elemento correspondente	$L_3:[E_9]$	Átomos
Não há elemento correspondente	$L_4:[E_{10}]$	Moléculas
Massa no prato do lado esquerdo da balança	$A_1(E_3)$	Massa no lado esquerdo da equação química
Massa no prato do lado direito da balança	$A_2(E_4)$	Massa no lado direito da equação química
Equilíbrio da balança	$A_3(E_2)$	Acerto dos coeficientes estequiométricos da equação química (balanceamento)
Quantidade (unidade) do objeto A	$A_4(E_5)$	Número de mols de reagentes
Quantidade (unidade) do objeto B	$A_5(E_6)$	Número de mols de produtos
A massa no prato do lado esquerdo da balança é proporcional a quantidade de unidades do objeto A	$r_1(E_2, A_1, A_4)$	A massa no lado esquerdo da equação química é proporcional ao número de mols de reagentes
A massa no prato do lado direito da balança é proporcional a quantidade utilizada do objeto B	$r_2(E_2, A_2, A_5)$	A massa no lado direito da equação química é proporcional ao número de mols de produtos
Em uma pesagem, o número de unidades do objeto A não é necessariamente igual ao número de unidades do objeto B	$r_3(E_1, A_4, A_5)$	Em uma reação química, o número de mols de reagentes presente não é necessariamente igual ao número de mols de produtos formado
O equilíbrio da balança depende do objeto a ser medido e do padrão utilizado	$r_4(E_5, E_6, A_3)$	O acerto dos coeficientes estequiométricos da equação depende das substâncias utilizadas como reagentes e das substâncias formadas nos produtos
Os processos de pesagem são realizados por meio das balanças	$r_5(E_1, E_2)$	As reações químicas são representadas por meio das equações químicas

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Não há relação correspondente no domínio base	$L_5: [r_6(E_5, E_6)]$ ← × →	Os elementos químicos presentes na composição dos produtos são os mesmos elementos presentes na composição dos reagentes
Não há relação correspondente devido a ausência de correspondências para os elementos E9 e E10	$L_6: [r_7(E_5, E_6, E_9, E_{10}, A_3)]$ ← × →	O acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química implica em igualar o número total de átomos de cada elemento químico representado no lado dos reagentes com o número total de átomos de cada elemento químico representado no lado dos produtos
A massa do objeto A, que é proporcional a sua quantidade, presente no lado esquerdo da balança tem que ser igualada à massa do objeto B, que é proporcional a sua quantidade, presente no lado direito da balança	${}^2R_1(r_1, r_2)$ ← →	A massa dos reagentes, que é proporcional ao número de mols dessas substâncias, tem que ser igualada à massa dos produtos, que é proporcional ao número de mols das novas substâncias formadas na reação
A igualdade entre as massas nos pratos esquerdo e direito da balança determina e é indicada pelo equilíbrio da balança. (O equilíbrio da balança depende da igualdade entre as massas de ambos os pratos)	${}^3R_2(A_3, {}^2R_1)$ ← →	A igualdade entre as massas dos reagentes e dos produtos na equação química determina e é indicada pelo acerto dos seus coeficientes estequiométricos. (O acerto dos coeficientes estequiométricos da equação depende das massas dos reagentes e dos produtos)
O processo de pesagem não precisa ser feito em sistema fechado	$D_1: [E_1]$ ← × →	A conservação de massa ocorre em um sistema reacional fechado
Na pesagem não há a formação de novas substâncias	$D_2: [E_1]$ ← × →	Em uma reação química há a formação de novas substâncias

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre o uso de uma balança de dois pratos (DB) e o acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas (DA) possibilitou o estabelecimento de 18 correspondências de similaridade: 6 entre elementos, 5 entre atributos, 5 entre relações de primeira ordem, 1 entre relações de segunda ordem e mais 1 entre relações de ordem superior, além de 2 diferenças alinháveis e 6 limitações. Essa grande quantidade de correspondências de similaridade evidencia certo nível de enriquecimento e sofisticação dessa comparação.

A correspondência um-a-um dos elementos “reação”, “equação química”; “lado esquerdo da equação”, “lado direito da equação”; “reagentes” e “produtos” respectivamente com os elementos “processo de pesagem”, “balança”; “lado esquerdo da balança”, “lado direito da balança”; “objeto a ser medido” e “objeto padrão”, associada à conectividade em paralelo das relações entre esses elementos,

indicadas no mapeamento estrutural da comparação, evidencia a sua consistência estrutural, pois não há elementos, atributos ou relações em um domínio que correspondam a mais de um elemento, atributo ou relação constituinte do outro domínio, e nem há relações correspondentes com argumentos diferentes.

As 7 correspondências de similaridade mapeadas entre relações evidenciam o potencial foco relacional que pode ser explorado por professores ou autores de materiais didáticos. Além disso, a correspondência entre relações de segunda ordem, juntamente com a correspondência de ordem superior indicam sua sistematicidade, ou seja, a compreensão da relação de ordem superior que constitui a operação de uma balança de dois pratos, tomada como domínio base da comparação, pode levar os estudantes a fazerem inferências pertinentes sobre o processo de acerto de coeficientes estequiométricos das equações químicas, o que contribui para a construção e o compartilhamento de significados em torno desse conteúdo procedimental fundamental para a aprendizagem da estequiometria das reações.

Em síntese, com base no mapeamento estrutural apresentado no quadro 12, podemos afirmar que a comparação entre o acerto de coeficientes estequiométricos de equações químicas e o uso de uma balança de dois pratos se configura como uma analogia que possui o devido foco relacional, é estruturalmente consistente e sistemática.

Há que se destacar que a principal relação evocada nessa analogia é a  ${}^3R_2$ , que pode ser enunciada da seguinte forma: “assim como em uma balança em equilíbrio, a massa do prato esquerdo é equivalente a massa do prato direito, em uma equação química com os coeficientes estequiométricos acertados, a massa dos reagentes é equivalente a massa dos produtos.” Essa relação é designada como uma relação de terceira ordem por evocar uma relação de segunda ordem ( ${}^2R_1$ ). A presença dessa relação de ordem superior, de nível hierárquico três (terceira ordem), evidencia certa sistematicidade, que favorece a compreensão do domínio alvo por meio das possibilidades de inferências feitas a partir do conhecimento sobre o domínio base.

Ao analisar cada uma das correspondências, podemos verificar a existência de similaridade semântica tanto entre os elementos e atributos colocados em correspondência, quanto entre as relações de primeira ordem, segunda ordem e de ordem superior. Isso decorre do fato de ambos os domínios envolverem procedimentos similares: o processo de acerto das massas em ambos os pratos da

balança, no domínio base, e o processo de acerto dos coeficientes estequiométricos em ambos os lados da equação química, no domínio alvo. As correspondências  $E_3$  e  $E_4$ , por exemplo, envolvem os elementos dos lados direitos e esquerdos de uma balança de dois pratos e de uma equação química. As correspondências entre os atributos  $A_4$  e  $A_5$  referem-se a quantidade dos objetos a serem medidos na balança e a quantidade das substâncias representadas por meio das fórmulas em uma equação química. As relações também são semanticamente semelhantes. Em ambos os domínios, as relações mapeadas possuem, caso a caso, a mesma natureza: tratam-se de relações de proporcionalidade, no caso de  $r_1$  e  $r_2$ ; de equivalência, no caso de  $r_3$  e  ${}^2R_1$ ; ou de dependência, no caso de  $r_4$  e  ${}^3R_2$ .

Há que se observar que, entre as relações da correspondência  $r_5$ , as naturezas dessas relações em cada domínio são pouco semelhantes: enquanto a relação  $r_5$  no domínio alvo é de representatividade (as equações *representam* as reações químicas), a relação  $r_5$  no domínio base é de funcionalidade; as balanças não representam os processos de pesagem; elas são *usadas para* a determinação de massas nesses processos. Contudo, consideramos que essa diferença semântica pontual não chega a comprometer o reconhecimento da plausibilidade dessa analogia que, de certa forma, é compensada pelas similaridades semânticas das outras relações em correspondência.

No mapeamento estrutural foram identificadas duas diferenças alinháveis, que julgamos pertinentes que os professores evidenciem em sala de aula. As duas estão associadas à correspondência entre o primeiro elemento mapeado –  $E_1$ : a reação química (DA) e o processo de pesagem (DB). A primeira diz respeito a possibilidade de se fazer a determinação de massas em um sistema aberto, enquanto que a ocorrência de uma reação química para a conservação de massas demanda um sistema fechado. A segunda diferença alinhável trata das distintas naturezas dos dois processos: a pesagem é um processo físico, que não envolve transformação de substâncias.

As limitações mapeadas, associadas a códigos novos, referem-se a entidades (elementos, atributos ou relações) presentes em um domínio que não encontram correspondentes no outro domínio, como as codificadas como  $L_1$  e  $L_2$ , que se referem, respectivamente, aos elementos  $E_7$  (ponteiro da balança – DB) e  $E_8$  (seta da equação química – DA). Apesar da aparente semelhança entre esses dois elementos, eles não são elementos correspondentes, em função da diferença semântica entre ambos: o

ponteiro serve para indicar se os pratos da balança encontram-se em equilíbrio ou não, enquanto a seta de uma equação química desempenha outro papel – indicar o sentido da transformação química.

A quinta limitação identificada, a  $L_5$ , está associada a uma sexta relação de primeira ordem presente no domínio alvo que não encontra relação correspondente no domínio base. Trata-se das composições químicas dos reagentes e dos produtos designadas pelas indicações dos elementos químicos nas fórmulas das substâncias envolvidas e representadas na equação: os elementos químicos presentes na composição dos produtos são os mesmos elementos presentes na composição dos reagentes. Ao analisar a estrutura do domínio base, não encontramos relação correspondente a esse predicado relacional do domínio alvo.

Apesar dos autores não abordarem as diferenças entre os domínios base e alvo e nem essas limitações dessa analogia, consideramos importante que esses aspectos sejam explorados em sala de aula, pois isso pode evitar, por parte dos estudantes, a transposição de ideias ou significados equivocados para o domínio alvo. Contudo, o nosso mapeamento não esgota todas as possibilidades de correspondências de similaridade, de diferenças alinháveis e nem de limitações, apesar da nossa tentativa de fazê-lo do modo exaustivo.

Para analisar a adequação pragmática dessa analogia, consideramos o propósito contextual para qual ela foi empregada no livro didático: compartilhar a noção do acerto dos coeficientes estequiométricos de equações químicas, como procedimento necessário para igualar as quantidades de átomos representados no lado dos reagentes e no lado dos produtos, a partir do resgate da ideia de equilíbrio envolvida na medição de massas por meio de uma balança de dois pratos.

Ao analisar a abordagem dessa analogia no livro didático verificamos que os autores não exploraram todas as correspondências de similaridade mapeadas. No trecho reproduzido a seguir, fizemos a identificação dos elementos, atributos e relações presentes em cada domínio entre colchetes:

As balanças [ $E_2 - DB$ ] antigas eram constituídas por dois pratos [ $E_3$  e  $E_4 - DB$ ]. Para saber o peso de um material [ $A_1$  ou  $E_5 - DB$ ], colocavam-se, no prato oposto ao do material, pesos padrões [ $A_2$  ou  $E_6 - DB$ ] até a altura dos pratos se equilibrarem [ $A_3 - DB$ ]. Como analogia a esse processo, passou-se a usar o termo balanceamento [ $A_3 - DA$ ], no sentido de indicar que algo está equilibrado. Assim, balancear uma equação significa equilibrar o número de átomos dos reagentes com o número de átomos dos produtos [ $r_7 - DA$ ]. (Trecho do livro F, p. 46 – grifos nossos)

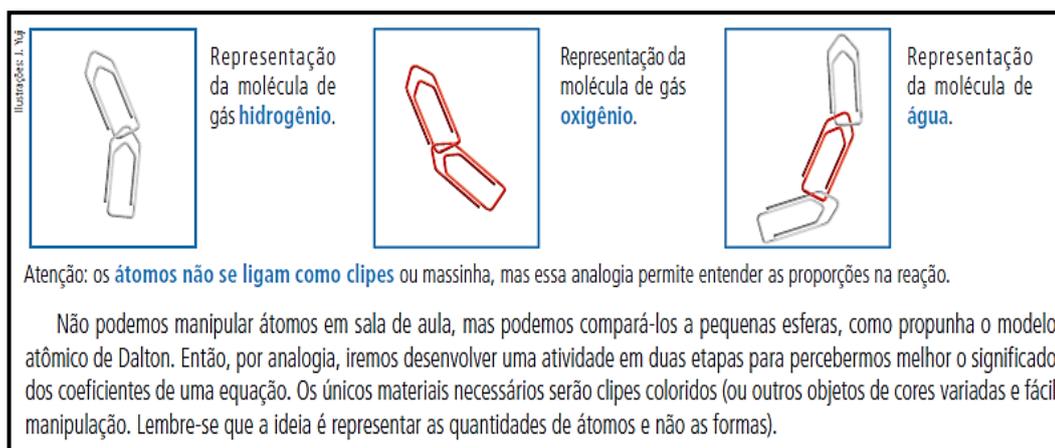
Ressaltamos que a relação  $r_7$  identificada nesse trecho do livro didático, presente no domínio alvo, não encontra relação correspondente no domínio base, o que nos levou a mapeá-la como uma limitação da analogia –  $L_6$ . Como dissemos anteriormente, considerando o propósito contextual do estabelecimento dessa analogia, teria sido mais adequado se os autores tivessem abordado o significado do “balanceamento” explorando a relação entre a igualdade das massas dos reagentes e dos produtos decorrente do acerto dos coeficientes estequiométricos da equação química, indicada no quadro 12 com o código  ${}^3R_2$ .

Apesar disso, consideramos que a analogia se encontra pragmaticamente adequada pois, de certo modo, ela favorece a compreensão do processo de acerto dos coeficientes estequiométricos de equações químicas a partir do resgate da ideia de equilíbrio envolvida na medição de massas por meio de uma balança de dois pratos.

### 5.1.1.2 Modelo didático para o acerto de coeficientes estequiométricos

Ainda no Livro F, os autores propuseram uma atividade baseada em outro recurso mediacional para o ensino do conteúdo procedimental do acerto de coeficientes estequiométricos em equações químicas. Por meio da atividade, os autores sugerem utilizar cliques (ou massinha de modelar) para representar átomos e moléculas em um processo químico, a fim de demonstrar os procedimentos de acerto dos coeficientes estequiométricos de equações químicas e a transformação ocorrida em uma reação química. A Figura 10 apresenta a introdução dessa atividade e no Apêndice E é possível conferir a atividade completa.

Figura 10 - Modelo para o acerto de coeficientes estequiométricos, livro F.



Apesar dos autores indicarem que estão estabelecendo uma analogia, como no trecho: “então, por analogia, iremos desenvolver uma atividade...” (Trecho Livro F, p. 47); diante do nosso referencial teórico, não classificamos essa comparação como uma analogia e sim como um modelo, pois, ao invés de estabelecer uma comparação com foco das similaridades entre relações de um domínio conhecido para explicar o domínio alvo, a atividade meramente envolve a utilização de cliques para representar as entidades de interesse científico – átomos e moléculas. Em outras palavras, entendemos que não há uma comparação analógica entre dois domínios, pois no alvo os átomos se ligam de modo a formar uma molécula, no entanto, não podemos dizer que, no domínio base, os cliques se ligam para formar uma “corrente de cliques”, ou seja, consideramos essa ação como não-familiar, uma vez que não utilizamos os cliques com essa finalidade. Assim, conforme o próprio autor cita: “representação da molécula de gás hidrogênio” (Figura 10), entendemos essa comparação como um modelo convencional (i.e.: não analógico), pois trata-se de uma representação de uma entidade de interesse científico baseada no conhecimento dela própria. E nesse caso, os cliques foram utilizados com esse objetivo, representar as entidades científicas, átomos e moléculas. Ademais, como o modelo não foi fundamentado em uma analogia, consideramos que os cliques foram utilizados de maneira convencional para representar átomos e moléculas, assim como no modelo de bastão e bola inspirado em Dalton, o que nos levou a classificar esse tipo de modelagem como sendo a convencional.

A fim de compreender com mais detalhes essa representação, fizemos o mapeamento estrutural desse modelo, em que estabelecemos possíveis correspondências entre o modelo (entidade ou domínio representante) e a entidade de interesse científico modelada (entidade ou domínio representado), apresentadas no quadro 13.

Quadro 13 – Mapeamento estrutural do “modelo de cliques”, encontrado no livro F.

Modelo (Representante)	Código da correspondência de representatividade	Entidade de interesse científico modelada (Representado)
Clipe	$E_1$ ←————→	Átomo
Arranjo de cliques conectados	$E_2$ ←————→	Molécula
Rearranjo dos cliques	$E_3$ ←————→	Reação química
Tipo de clipe (cor do clipe)	$A_1(E_1)$ ←————→	Tipo de átomo (elemento químico)
Massa do clipe	$A_2(E_1)$ ←————→	Massa do átomo
Número de cliques	$A_3(E_1)$ ←————→	Número de átomos
Massa de um arranjo de cliques	$A_4(E_2)$ ←————→	Massa de uma molécula
Dois cliques ou mais podem ser ligados para constituir um arranjo de cliques conectados	$r_1(E_1, E_2)$ ←————→	Dois átomos ou mais podem se ligar para constituir uma molécula
A massa total dos arranjos de cliques após o rearranjo é igual à massa total dos arranjos de cliques antes do rearranjo	$r_2(E_3, A_2, A_4)$ ←————→	A massa total das moléculas dos produtos é igual à massa total das moléculas dos reagentes
O número total de cliques após o rearranjo é igual ao número total de cliques antes do rearranjo	$r_3(E_3, A_3)$ ←————→	O número total de átomos nos produtos é igual ao número total de átomos nos reagentes
A conservação da massa é decorrente do mero rearranjo da mesma quantidade de cliques envolvidos	${}^2R_1(r_2, r_3)$ ←————→	A conservação da massa é decorrente do mero rearranjo da mesma quantidade de átomos envolvidos
O arranjo de cliques não apresenta uma geometria específica	$D_1:[E_2]$ ←————×————→	Cada molécula tem uma geometria espacial específica
Todos os cliques apresentam a mesma massa (clipes do mesmo tamanho)	$D_2:[A_2(E_1)]$ ←————×————→	Átomos de elementos diferentes apresentam massa diferente
Os cliques podem ser ligados aleatoriamente	$D_3:[r_1(E_1, E_2)]$ ←————×————→	Os átomos não se ligam aleatoriamente
Forma do clipe	$L_1:[A_5(E_1)]$ ←————×————→	Não há atributo correspondente; a forma do clipe não pode ser considerada na representação dos átomos

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

Com o quadro 13, e de acordo com os princípios enunciados por Almeida, Almeida & Ferry (2018), podemos inferir que apesar de existir uma familiaridade do objeto cliques, já que é comum no nosso dia a dia, existe uma relação de representatividade e de dependência entre os cliques (DB) e os átomos (DA) quando observamos que o objetivo da atividade proposta é utilizar os cliques para representar átomos e, posteriormente, moléculas, de modo a facilitar a compreensão de uma transformação química e de como realizar o acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química. Ademais, entendemos que o recurso foi criado com a

finalidade de representar uma entidade de interesse científico (átomos, moléculas e reações químicas), e não de estabelecer uma comparação entre os átomos e os cliques. Ou seja, o que se propõe a partir do recurso sugerido se baseia em uma relação de representatividade entre os cliques e os átomos, e não em uma relação de similaridade tomada para a proposição de uma analogia, no sentido em que este termo é compreendido na TME. Em relação ao princípio da dependência, o recurso didático apresenta uma dependência associada a entidade modelada, ou seja, é necessário modificar o modelo caso a concepção em relação a entidade de interesse científico seja alterada. Por isso, consideramos que o recurso apresentado se configura como um modelo, mais especificamente como um modelo didático convencional.

De acordo com esse mapeamento estrutural, o modelo possibilitou o estabelecimento de 15 correspondências: 3 entre elementos, 4 entre atributos, 3 entre relações de primeira ordem, 1 entre relação de segunda ordem, 3 diferenças alinháveis e 1 limitação. Consideramos que o modelo é estruturalmente consistente, pois há correspondência um-a-um entre seus elementos: clipe/átomo; arranjo de cliques conectados/molécula; rearranjo dos cliques/reação química; estendendo-se aos atributos. Essa correspondência um-a-um, associada a conectividade em paralelo dos códigos mapeados nas relações, evidencia a consistência estrutural do modelo, pois não há elementos, atributos ou relações em um domínio que correspondam a mais de um elemento, atributo ou relação no outro domínio. Em relação a sistematicidade, o modelo é pouco sistemático, uma vez que apresentou apenas uma relação conectada com outras relações: a relação de segunda ordem  ${}^2R_1$ . De acordo com o nosso referencial teórico, isso significa que o modelo dos cliques teria um maior “poder inferencial” sobre os procedimentos de acertos de coeficientes estequiométricos das equações químicas se houvesse outras relações de segunda ordem ou de ordem superior. Apesar disso, podemos afirmar que o modelo tem o potencial foco sobre as relações identificadas no uso dos cliques para a representação de uma reação química, ou de sua equação, evidenciando que o tópico em questão não é meramente descritivo, mas sim relacional. Em outras palavras, podemos dizer o foco relacional do modelo demonstra que o estudo da estequiometria das reações químicas é mais centrado em aspectos relacionais entre as entidades envolvidas do que em aspectos estruturais dessas entidades.

Existe similaridade semântica nas correspondências entre elementos “clipe”, “átomo”; “arranjo de cliques”; “molécula”; “rearranjo dos cliques”, “reação

química”. Destacamos o elemento  $E_2$  que no DB está relacionado ao arranjo de cliques conectados e no DA às moléculas. Conforme mencionado anteriormente, isso não é uma situação familiar, ou seja, não usamos os cliques com essa finalidade, porém, consideramos que há uma similaridade nos seus significados. Assim como os cliques se conectam formando “arranjo de cliques”, os átomos se ligam formando moléculas. Em contraposição, não haveria similaridade semântica, caso a comparação tivesse sido estabelecida entre uma “caixa de cliques” e “moléculas”, pois nesse caso, a caixa de cliques conteria os cliques evidenciando uma relação de contenção e no DA as moléculas são constituídas por átomos, ou seja, não é uma relação de contenção e sim de constituição. Nesse contexto, consideraríamos que a similaridade semântica não teria sido estabelecida.

A similaridade de significados se estendem para os atributos, conforme observamos: “tipo de clipe”, “tipo de átomo”; “massa do clipe”, “massa do átomo”; “número de cliques”, “número de átomos”; “massa de um arranjo de cliques”, “massa de uma molécula”. Essa similaridade, também, é observada nas relações de primeira e segunda ordem, conforme quadro 13.

Consideramos que o modelo é pragmaticamente adequado para o subtópico proposto, já que ele permite o “rearranjo dos cliques” no DB, assim como, das moléculas no DA, possibilitando a formação de novas substâncias, obedecendo a conservação do número de átomos e, conseqüentemente, a conservação da massa do sistema. Além disso, o modelo permite, a partir, dessas evidências, que o estudante preveja o acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química.

Ademais, o modelo apresentou três diferenças alinháveis mapeadas no quadro 13 que se destacam ao usar o modelo para o acerto dos coeficientes de equações químicas. A primeira ( $D_1$ ) diz respeito a falta de uma geometria específica que os cliques (DB) apresentam quando conectados, já nas moléculas (DA) sempre há uma geometria espacial definida. A segunda diferença alinhável ( $D_2$ ) traz uma observação importante a ser esclarecida em sala de aula, pois átomos de elementos diferentes sempre apresentam uma massa diferente e no caso dos cliques, podemos usar cliques de mesmo tamanho, mas de cores diferentes para representar átomos diferentes. Em  $D_3$ , temos a relevância de se esclarecer que os átomos não se ligam de forma aleatória, ou seja, cada átomo se liga de forma específica com diferentes elementos químicos, no entanto, os cliques podem se conectar de forma totalmente aleatória. Além disso, a limitação diz respeito a forma do clipe (DB) que não há

elemento correspondente na equação química (DA), pois a forma dos cliques não pode ser considerada na representação dos átomos.

A partir do mapeamento, de nossa experiência docente e considerando como abrangência todos os temas que seriam possíveis abordar com a utilização de algum recurso didático, esse modelo possui como abrangência os seguintes tópicos da Química: 1º) transformação química; 2º) conservação de massa; e 3º) acerto de coeficientes em equações químicas.

Destacamos a vantagem desse modelo para mostrar a transformação da matéria, ou seja, as interações de substâncias reagentes capazes de gerar novas substâncias (produtos), a partir da possibilidade de construir e reconstruir as conexões dos cliques, formando novos “arranjos de cliques” (novas moléculas).

Com o propósito de compreender melhor a abrangência, potencialidades e limitações de modelos, essa atividade (Apêndice E) e um kit com o modelo de cliques – 4 arranjos de dois cliques brancos representando a molécula de  $H_2$  e 4 arranjos de dois cliques vermelhos representando a molécula de  $O_2$  (Figura 11) – foram apresentados a professores da EPTNM na terceira etapa dessa pesquisa (seção 5.3).

Figura 11 - Modelo de cliques.

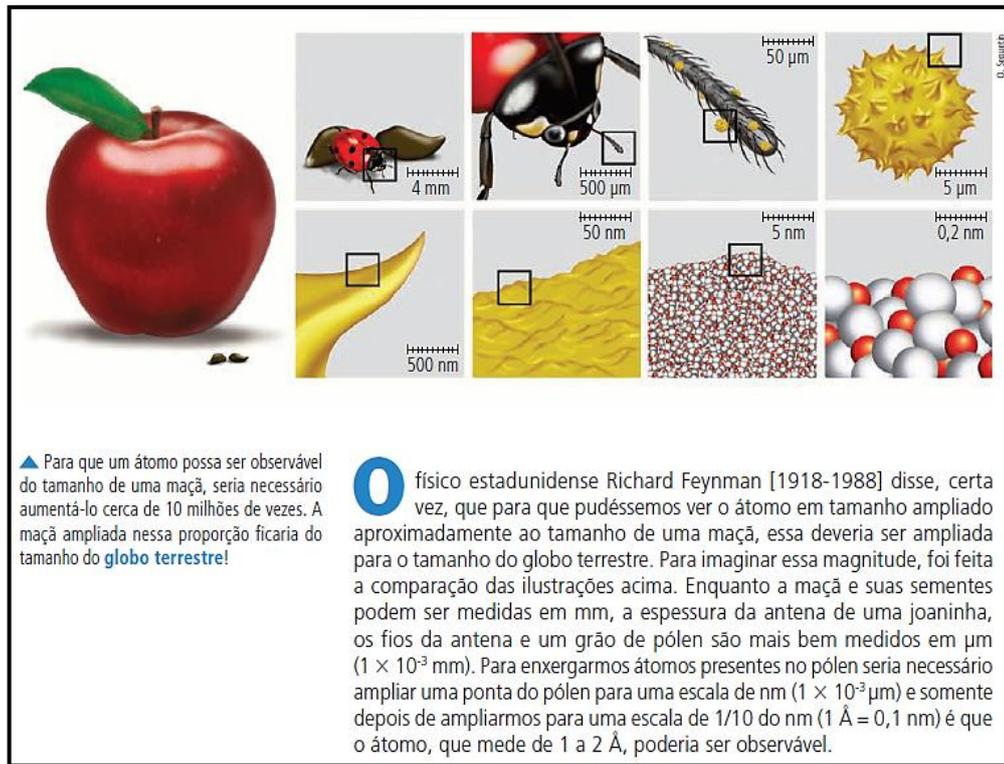


Fonte: Arquivo pessoal (2020).

### 5.1.2 Comparação entre “dimensão atômica” e “dimensão da terra”

Esta comparação foi estabelecida entre a proporção de tamanhos de um átomo, de uma maçã e do planeta Terra. Acreditamos que o objetivo do autor foi oferecer uma perspectiva tangível para o estudante imaginar o tamanho de um átomo comparando a outras entidades conhecidas por eles, como uma maçã e o planeta Terra. A comparação foi estabelecida no livro F, conforme figura 12. Para verificar se essa comparação poderia ser classificada como uma analogia, foi realizado o seu mapeamento estrutural (Quadro 14).

Figura 12 - Analogia entre “dimensão atômica” e “dimensão da Terra”, livro F.



Fonte: Santos & Mól, (coord.) (2016, p. 8).

Quadro 14 - Mapeamento estrutural da analogia entre “dimensão atômica” e “dimensão da Terra”, livro F.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Maçã	$E_1$	Átomo
Globo terrestre	$E_2$	Maçã
Tamanho da maçã	$A_1(E_1)$	Tamanho do átomo
Tamanho do globo terrestre	$A_2(E_2)$	Tamanho da maçã
Ao aumentar o tamanho da maçã em 10 milhões de vezes, a maçã pode ser observável do tamanho do globo terrestre	$r_1(A_1, A_2)$	Ao aumentar o tamanho do átomo em 10 milhões de vezes, o átomo pode ser observável do tamanho da maçã

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com o mapeamento estrutural, a comparação entre a relação de proporcionalidade entre o tamanho de uma maçã em relação ao tamanho da Terra (DB) e a relação de proporcionalidade entre o tamanho de um átomo em relação ao tamanho de uma maçã (DA), possibilitou o estabelecimento de 2 correspondências entre elementos, 2 correspondências de atributos e uma relação de primeira ordem.

Dessa forma, essa comparação não demonstra uma complexidade de relações e, conseqüentemente, uma menor quantidade e inferências é esperada por parte dos estudantes. Apesar da simplicidade da comparação, ela pode ser considerada estruturalmente consistente uma vez que há a correspondência um-a-um entre os elementos e os atributos e a conectividade em paralelo é estabelecida. Destacamos o elemento “maçã” que foi mapeado no domínio base e no domínio alvo, porém, após análise, em ambos os domínios o elemento “maçã” está relacionada a um outro elemento, o que parece não comprometer a consistência estrutural dessa comparação. Quanto a sistematicidade, ela é inexistente, uma vez que só foi mapeada uma relação de primeira ordem. No entanto, a comparação tem o foco nessa relação de primeira ordem estabelecida, que é de proporcionalidade entre os tamanhos das entidades envolvidas tanto no DB quanto no DA. Assim, consideramos que essa comparação se configura como uma analogia.

Ademais, verificamos a existência de similaridade semântica entre os elementos e atributos, uma vez que os predicados enunciados são semanticamente próximos. A respeito da adequação pragmática dessa analogia, considerando o trecho abaixo, inferimos que o autor atendeu o seu propósito contextual de oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da diminuta dimensão atômica:

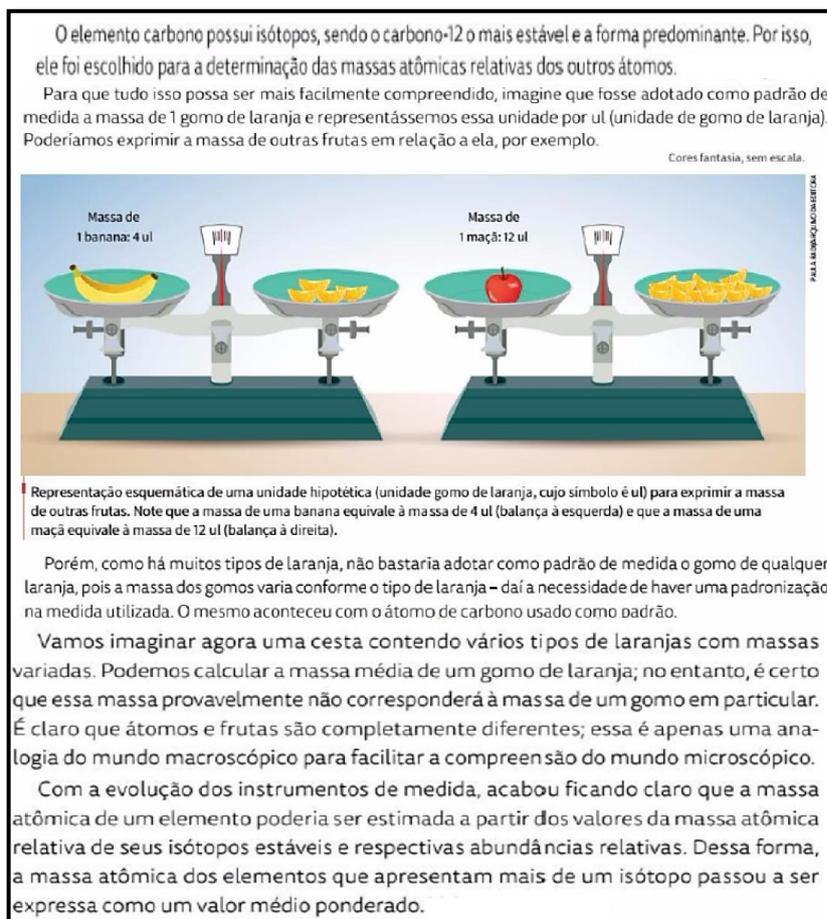
“...para que pudéssemos ver o **átomo** [E<sub>1</sub>/DA] **em tamanho ampliado** [A<sub>1</sub>/DA] **aproximadamente ao tamanho de uma maçã** [A<sub>1</sub>/DB], essa [E<sub>2</sub>/DA] deveria ser **ampliada para o tamanho do globo terrestre** [A<sub>2</sub>/DB].” (Trecho Livro F, p. 8 - grifos e inscrições entre colchetes nossos)

Conforme o trecho, os autores comparam proporcionalmente as entidades familiares do domínio base e as entidades de interesse científico do domínio alvo, ou seja, ofereceu uma perspectiva tangível para o tamanho dos átomos e, por isso, consideramos que a analogia está pragmaticamente adequada.

### 5.1.3 Comparação entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja”

Esta comparação foi estabelecida entre a proposição de uma unidade hipotética (gomo de laranja – ul), no domínio base, com o objetivo de oferecer uma perspectiva tangível para a unidade química de massa atômica (u), no domínio alvo. A seguir, apresentamos na figura 13 trechos de como a comparação está ilustrada no Livro E (p. 203-204) e no quadro 15 o seu mapeamento estrutural.

Figura 13 - Analogia entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja, livro E.



Fonte: Novais & Tissoni (2016, p. 203-204) – Montagem com trechos copiados do livro digital.

Quadro 15 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja, livro E.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
“Gomo de laranja”	$E_1$	1/12 do elemento carbono
Outras frutas	$E_2$	Outros elementos químicos
Tipos de laranja	$E_3$	Isótopos do carbono
Massa do gomo de laranja	$A_1(E_1)$	Massa de 1/12 do elemento carbono
Massa de outras frutas	$A_2(E_2)$	Massa de outros elementos químicos (massa atômica)
Unidade de gomo de laranja (ul)	$A_3(E_1)$	Unidade de massa atômica (u)
A unidade “u” representa a massa de um gomo de laranja	$r_1(A_1, A_3)$	A unidade de massa atômica “u” representa a massa de 1/12 do elemento carbono
“A massa do gomo de laranja varia conforme o tipo de laranja”	$r_2(E_3, A_1)$	A massa de 1/12 de carbono varia conforme o isótopo

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
A massa do gomo de laranja, representada por “ul”, seria usada como padrão para medir a massa de outras frutas	${}^2R_1(A_2, r_1)$ ←→	A massa de 1/12 do elemento carbono, representada por “u”, é usada como padrão para medir a massa de outros elementos químicos
Essa variação levaria à necessidade de haver uma padronização entre as massas dos gomos de laranja, para o estabelecimento do valor de ul	${}^2R_2(r_1, r_2)$ ←→	Essa variação levou à necessidade de haver uma padronização entre as massas de 1/12 do elemento carbono, para o estabelecimento do valor de u
Essa padronização seria feita a partir da massa média de um gomo de laranja considerando os vários tipos de laranja contidos numa determinada cesta	$D_1: [{}^2R_2(r_1, r_2)]$ ←×→	Essa padronização foi feita a partir da massa de 1/12 do isótopo mais estável: o C-12

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com o mapeamento estrutural apresentado no quadro 15, a comparação entre a proposição de uma unidade arbitrária – um gomo de laranja (ul), e a proposição da unidade química – massa atômica (u), possibilitou o estabelecimento de 3 correspondências entre elementos, 3 correspondências de atributos, 2 relações de primeira ordem, 2 relação de segunda ordem e 1 diferença alinhável.

Além disso, percebemos que a comparação apresenta correspondência um-a-um entre os elementos e entre os atributos, a conectividade em paralelo foi estabelecida e a sistematicidade é presente, apesar de baixa, uma vez que foram mapeadas somente duas relações ( ${}^2R_1$  e  ${}^2R_2$ ) que possuem outras relações como predicados –  $r_1$  e  $r_2$ , respectivamente. Considerando esses aspectos, essa comparação se configura como uma analogia.

Ademais, o mapeamento permite inferir que os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares, uma vez que os significados propostos nos predicados são semelhantes. Por exemplo, nas correspondências entre elementos temos a semelhança de comparar uma porção de uma fruta específica no DB (gomo de uma laranja) com uma porção de um elemento específico no DA (1/12 do carbono), mapeada em  $E_1$ , e ainda, que assim como há diferentes tipos de laranjas (DB), existem diferentes tipos de carbonos – os isótopos – (DA), conforme mapeado em  $E_3$ . Além do mais, como existem diferentes tipos de frutas (DB), há diferentes tipos de elementos químicos (DA) –  $E_2$ . A similaridade, também, está presente nas correspondências entre atributos, como, por exemplo, no caso de  $A_3$  em que nos dois domínios temos a relação entre unidades de medida. No DB há a criação de uma unidade hipotética (unidade de gomo de laranja) para explicar a unidade de massa

atômica no DA. Essa similaridade semântica entre os elementos e os atributos mapeados se estende para as correspondências entre as relações de primeira ordem ( $r_1$  e  $r_2$ ) e para as relações de segunda ordem ( ${}^2R_1$  e  ${}^2R_2$ ).

Nesse mapeamento foi estabelecida uma diferença alinhável considerada relevante para o uso dessa analogia, pois a padronização de um gomo de laranja é considerada irreal, uma vez que não é possível estabelecer a massa média de todos os gomos de laranja existentes, porém seria possível calcular essa massa média em um universo fixo de unidades de laranja, já com a massa de 1/12 do carbono isso não acontece, pois foi definida a partir do carbono mais estável, o carbono-12, ou seja, a massa de 1/12 do carbono-12 é sempre a mesma. Consideramos essa diferença importante de ser explorada no ensino em sala de aula, possibilitando a compreensão de que as massas dos outros elementos químicos foram estabelecidas com um padrão de massa não variável.

A respeito da adequação pragmática, consideramos que os autores queriam oferecer uma perspectiva tangível do mundo macroscópico para compreender o mundo microscópico em relação ao conceito de unidade de massa atômica a partir da criação de uma unidade hipotética criada no DB, além de fornecer um contexto histórico de evolução da medida de massa atômica. O trecho abaixo ilustra parte desse propósito:

“O elemento carbono possui isótopos, sendo o **carbono-12** o mais estável e a forma predominante. Por isso, ele **foi escolhido para determinação de massas atômicas relativas de outros átomos**. ... imagine que fosse adotado como **padrão de medida a massa de 1 gomo de laranja e representássemos essa unidade por ul** (unidade de gomo de laranja). Poderíamos **expressar a massa de outras frutas em relação a ela**” (Trecho Livro E, p. 203 - grifos nosso)

Ademais, com a evolução das medidas de massa atômica, os autores contextualizam dizendo que a comparação deveria levar em consideração a medida da massa média de um gomo de laranja a partir de vários tipos de laranjas, para, então, estimar a massa de outras frutas, já que o cálculo de massa atômica é feito considerando a média ponderada dos diferentes isótopos de cada elemento, para, então, estimar a massa de outros elementos:

“Podemos calcular a **massa média de um gomo de laranja**... ” “...a massa atômica de um elemento poderia ser estimada a partir dos valores da massa atômica relativa de seus isótopos estáveis e respectivas abundâncias relativas. ” “...passou a ser expressa como um **valor médio ponderado**. ” (Trechos do Livro E, p. 204 - grifos nosso)

Além disso, apesar dos autores não explicitarem as diferenças e limitações que essa analogia pode trazer, eles afirmam que átomos e frutas são muito diferentes:

“É claro que átomos e frutas são completamente diferentes; essa é apenas uma analogia do mundo macroscópico para facilitar a compreensão do mundo microscópico.” (Trecho Livro E, p. 204)

Como pode ser visto nesse trecho, os autores não explicitam quais diferenças são essas. No entanto, é relevante que evidenciem a existência delas, pois, assim, o estudante tem uma possibilidade de compreensão ampliada, uma vez que ele pode fazer inferências das diferenças e limitações existentes entre o DB e o DA.

#### 5.1.4 Comparação entre “massa molar” e “massa de frutas”

Essa comparação foi estabelecida entre a massa de dúzias de diferentes frutas (DB) e as massas molares de diferentes substâncias (DA) e observamos que a intenção dos autores foi de oferecer uma perspectiva tangível para o conceito de mol a partir da unidade de medida dúzia. A figura 14 apresenta a comparação do Livro C e o quadro 16 o seu mapeamento estrutural.

Figura 14 - Analogia entre “massa molar” e “massa de frutas”, livro C.

**SAIBA MAIS**

**Analogias para o conceito de mol**

A grandeza **quantidade de matéria**, expressa em mol, não é utilizada em nosso dia a dia. Daí a razão de certo estranhamento por parte de muitos alunos.

Contudo, quando a quantidade de matéria é pensada como um conjunto que contém um número determinado de unidades, pode-se estabelecer analogia com um conjunto muito utilizado no cotidiano: a dúzia.

Uma dúzia, seja de laranjas, ovos, canetas ou melancias, apresenta sempre 12 unidades.

De forma semelhante, 1 mol apresenta sempre  $6,0 \times 10^{23}$  unidades.

Sabe-se que uma dúzia de melancias possui massa muito maior que uma dúzia de laranjas. Em outras palavras, a massa do conjunto (dúzia) depende de sua identidade.

De forma análoga, a massa correspondente a 1 mol de átomos ou moléculas (massa molar) também depende dos tipos de átomos ou moléculas.

**Observação:** A utilização de melancias e laranjas, por exemplo, constitui uma analogia, a qual está sujeita a problemas. Nesse caso, é preciso considerar que seja possível estimar a massa média dessas frutas.




A massa da melancia é maior que a da laranja.

Fonte: Júlio Lisboa et al. (2016, p. 249).

Quadro 16 - Mapeamento estrutural da analogia entre “massa molar” e “massa de frutas”, livro C.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Frutas	$E_1$ ↔	Entidades elementares (átomos, íons, moléculas)
Tipos de fruta (banana, maçã etc)	$E_2$ ↔	Substâncias (HCl, NaOH etc)
Dúzia	$E_3$ ↔	Mol
Massa das frutas, individualmente	$A_1(E_1)$ ↔	Massa das entidades elementares, individualmente
Massa de 1 dúzia de frutas	$A_2(E_3)$ ↔	Massa de 1 mol de entidades elementares (Massa Molar)
Uma dúzia de frutas corresponde a 12 frutas	$r_1(E_1, E_3)$ ↔	Um mol de entidades elementares corresponde a $6,02 \times 10^{23}$ entidades elementares
Tipo de frutas diferentes possuem massas diferentes	$r_2(E_2, A_1)$ ↔	Substâncias diferentes possuem massas diferentes
A massa de uma dúzia de frutas, que corresponde a 12 frutas, varia com o tipo de fruta	${}^2R_1(A_2, r_1, r_2)$ ↔	A massa de 1 mol de entidades elementares, que corresponde a $6,02 \times 10^{23}$ entidades elementares, varia com o tipo de substância
As massas das frutas de um mesmo tipo são, geralmente, diferentes	$D_1:[A_1(E_1)]$ ↔ ×	Sem considerar a existência de isótopos, as massas das entidades elementares (moleculares) de uma mesma substância são iguais entre si

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre a massa de dúzias de diferentes frutas (DB) e as massas molares de diferentes substâncias (DA) possibilitou o estabelecimento de 3 correspondências entre elementos, 2 correspondências entre atributos, 2 relações de primeira ordem, 1 relação de segunda ordem e 1 diferença alinhável.

Trata-se de uma comparação que atende ao requisito da correspondência um-a-um entre os elementos e atributos, e da conectividade em paralelo das relações, o que indica a sua consistência estrutural. A sistematicidade existe, mas é baixa, uma vez que somente uma correspondência entre relações ( ${}^2R_1$ ) que possuem outras relações como predicados ( $r_1$  e  $r_2$ ) foi mapeada. Contudo, essa comparação se configura como uma analogia, em razão do foco sobre essas relações.

Além disso, o mapeamento permite inferir que os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares, ou seja, em todas as correspondências mapeadas, tem-se entidades com significados parecidos ou praticamente idênticos, o que favorece o reconhecimento da plausibilidade da analogia. Por exemplo, o alinhamento básico entre o mol e a dúzia na estrutura

relacional dessa analogia coloca em correspondência duas unidades que expressam a mesma grandeza física: quantidade. O mesmo ocorre nas duas correspondências entre os atributos relevantes: ambas referem-se à grandeza da massa. Essa similaridade semântica entre os elementos e os atributos mapeados se estendem para as correspondências entre as relações de primeira ordem e para a relação de segunda ordem identificada no mapeamento.

No mapeamento estrutural foi abordado uma diferença alinhável, que julgamos pertinente que os professores evidenciem em sala de aula, pois a construção da analogia entre as massas molares de diferentes substâncias e as massas de dúzias de diferentes frutas pressupõe uma idealização do domínio base, ao considerar que frutas de um mesmo tipo são idênticas em todos os seus aspectos (massa, tamanho). Em outras palavras, no estabelecimento dessa analogia, geralmente, ignora-se a diferença alinhável codificada como  $D_1$ . Considerando a proposição dessa analogia no livro didático no qual encontramos a figura 14, é importante perceber que os autores fazem essa observação ao construir a analogia:

“A utilização de melancias e laranjas, por exemplo, constitui uma **analogia**, a qual está **sujeita a problemas**. Nesse caso, **é preciso considerar que seja possível estimar a massa média dessas frutas**” (Trecho do Livro C, p. 249 - grifos nosso).

Para analisar a adequação pragmática da analogia, é necessário resgatar o propósito contextual para qual a analogia foi construída no livro didático. Consideramos que o propósito contextual nesse caso foi o de oferecer uma perspectiva tangível para o conceito de mol a partir da unidade de medida dúzia. Observe o trecho retirado da Figura 14:

“Uma **dúzia**, seja de laranjas, ovos, canetas ou melancias, apresenta sempre **12 unidades**. *De forma semelhante*, 1 **mol** apresenta sempre  **$6,0 \times 10^{23}$  unidades**.” (Trecho do Livro C, p. 249 - grifos nosso)

O trecho acima evidencia esse propósito enunciado anteriormente, pois os autores relacionam de forma explícita a unidade “dúzia” com a unidade “mol”, inclusive utilizando a expressão “de forma semelhante”. Além disso, esse trecho também evidenciou a relação de primeira ordem  $r_1$ , quando os autores afirmam que uma dúzia apresenta sempre 12 unidades e 1 mol apresenta sempre  $6,0 \times 10^{23}$  unidades.

Em outro trecho percebemos, de forma similar, a relação de primeira ordem ( $r_2$ ) sendo estabelecida: “Sabe-se que uma dúzia de melancias possui massa muito maior que uma dúzia de laranjas” (Trecho do Livro C, p. 249). No mapeamento, generalizamos essa sentença como que frutas diferentes possuem massas diferentes

(DB) e, então, relacionamos que no DA as entidades elementares diferentes também devem possuir massas diferentes. Em complemento a esse trecho, os autores continuam com a comparação dizendo:

“... a **massa** do conjunto (**dúzia**) **depende da sua identidade**. De forma análoga, a **massa** correspondente a **1 mol** de átomos ou moléculas (massa molar) também **depende dos tipos de átomos ou moléculas**. ” (Trecho Livro C, p. 249 - grifos nosso)

Em destaque, temos a relação de segunda ordem ( ${}^2R_1$ ), mesmo que não de forma literal, conforme mapeado no quadro 16, mas de forma semelhante quando dizemos que a massa de uma dúzia varia com o tipo de fruta, ou seja, depende da sua identidade, conforme os autores afirmam. E, no DA, a massa de 1 mol de entidades elementares varia com o tipo de entidade elementar, ou seja, depende dos tipos de átomos ou moléculas.

Assim, apesar de se configurar uma analogia aparentemente simples, consideramos que ela se encontra pragmaticamente adequada e pode fornecer possibilidades amplas de inferências em uma atividade em sala de aula.

### 5.1.5 Comparações para “quantidade de matéria”

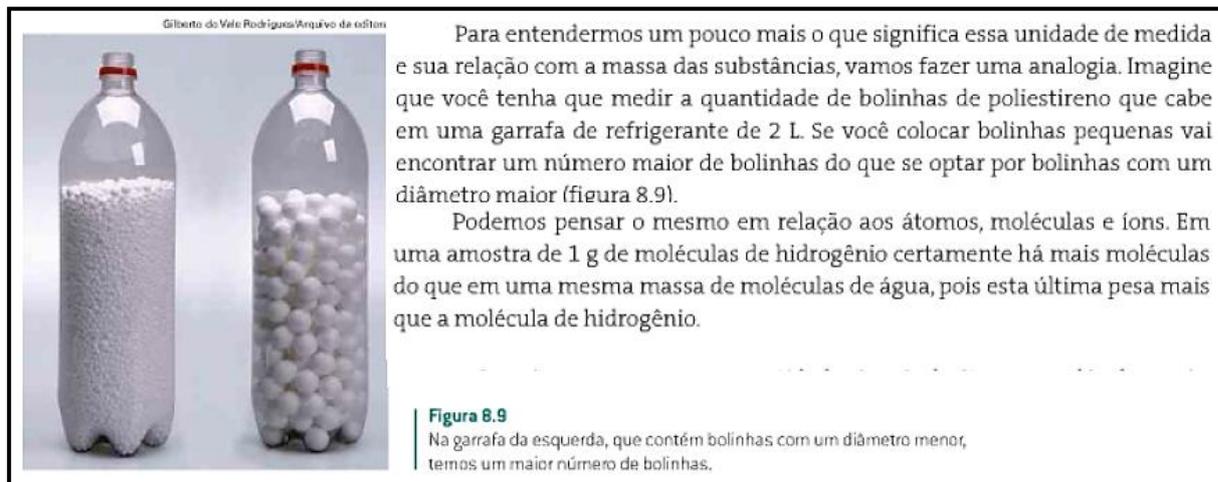
Nessa seção apresentamos as comparações encontradas para o domínio alvo “quantidade de matéria, enquanto grandeza física”. Assim como para o subtópico “constante de Avogadro” (seção 5.1.6), importa dizer que esses foram os tópicos de conteúdo para os quais encontramos a maior quantidade de comparações distintas estabelecidas para o mesmo domínio alvo. Conforme mencionado, isso possivelmente decorre de uma necessidade, por parte dos autores, de fornecer uma perspectiva tangível para a compreensão do domínio alvo, que possui certo grau de complexidade e abstração. A seguir apresentamos as ilustrações e/ou trechos dos livros em que a comparação foi estabelecida, o seu mapeamento estrutural e a análise estrutural, semântica e pragmática.

#### 5.1.5.1 Comparação entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”

Esta comparação foi estabelecida entre o tamanho de diferentes bolinhas de poliestireno como domínio base e nas diferentes relações entre as quantidades de partículas (moléculas) e as massas (ou o volume) de diferentes substâncias como

domínio alvo. A figura 15 apresenta a comparação do livro D e o quadro 17 o seu mapeamento estrutural.

Figura 15 - Analogia entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”, livro D.



Fonte: Mortimer & Machado (2016, p. 234) – Montagem com trechos copiados do livro digital.

Quadro 17 - Mapeamento estrutural da analogia entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”, livro D.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Bolinha de diâmetro menor	$E_1$	Molécula $H_2$
Bolinha de diâmetro maior	$E_2$	Molécula $H_2O$
Volume da bolinha de diâmetro menor	$A_1(E_1)$	Volume da molécula $H_2$
Volume da bolinha de diâmetro maior	$A_2(E_2)$	Volume da molécula $H_2O$
Quantidade de bolinhas de diâmetro menor	$A_3(E_1)$	Quantidade de moléculas $H_2$
Quantidade de bolinhas de diâmetro maior	$A_4(E_2)$	Quantidade de moléculas $H_2O$
Massa da bolinha de diâmetro menor	$A_5(E_1)$	Massa da molécula $H_2$
Massa da bolinha de diâmetro maior	$A_6(E_2)$	Massa da molécula $H_2O$
Bolinha de diâmetro menor apresenta um volume menor que bolinha de diâmetro maior	$r_1(A_1, A_2)$	Molécula $H_2$ apresenta um volume menor que a molécula $H_2O$

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
A massa da bolinha de diâmetro menor é menor que a massa da bolinha de diâmetro maior	$r_2(A_5, A_6)$ ←→	A massa da molécula H <sub>2</sub> é menor que a massa da molécula H <sub>2</sub> O
Bolinha de diâmetro menor apresenta volume menor e conseqüentemente menor massa que bolinha de diâmetro maior	${}^2R_1(r_1, r_2)$ ←→	As moléculas de H <sub>2</sub> apresentam menor volume e menor massa que as moléculas de H <sub>2</sub> O
Para uma mesma massa (p.ex.: 1 kg), o número de bolinhas de diâmetro menor é maior do que o número de bolinhas de diâmetro maior, por causa das diferenças entre os volumes das bolinhas	${}^2R_2(A_3, A_4, r_1)^*$ ←→	
	${}^2R_2(A_3, A_4, r_2)^*$ ←→	Para uma mesma massa (p.ex.: 1 kg), o número de moléculas de hidrogênio (aprox. $3 \times 10^{29}$ moléculas) é maior do que o número de moléculas da água (aprox. $3,3 \times 10^{28}$ ), por causa das diferenças entre as massas das moléculas
Em um mesmo volume total, o número de bolinhas de diâmetro menor é sempre maior que o número de bolinhas de diâmetro maior, por causa das diferenças entre os volumes das bolinhas	$L_1: [{}^2R_3(A_3, A_4, r_1)]$ ←→ ×	Essa condição não se aplica as substâncias, especialmente no caso de gases; volumes iguais de substâncias gasosas contém o mesmo número de partículas
As variações de massa e volume observadas entre as bolinhas de isopor são válidas por se tratarem do mesmo material	$D_1: [{}^2R_1(r_1, r_2)]$ ←→ ×	Moléculas menores (volume menor) não tem, necessariamente, massas menores
* Devido à falta de conectividade em paralelo nesta correspondência, a fim de tornar mais evidente o mapeamento, escrevemos o código em cada domínio: o código no DB e o código no DA.		

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

O mapeamento estrutural da comparação estabelecida entre o tamanho de diferentes bolinhas de poliestireno (DB) e nas diferentes relações entre as quantidades de partículas (moléculas) e as massas (ou o volume) de diferentes substâncias (DA) possibilitou o estabelecimento de 2 correspondências entre elementos, 6 correspondências entre atributos, 2 relações de primeira ordem, 2 relações de segunda ordem, 1 diferença alinhável e 1 limitação.

A correspondência um-a-um dos elementos é estabelecida entre “bolinha diâmetro menor”, “molécula H<sub>2</sub>”; “bolinha diâmetro maior”, “molécula H<sub>2</sub>O”; e entre os atributos “volume, quantidade e massa das bolinhas”, “volume, quantidade e massa das moléculas”. Entretanto, a conectividade em paralelo não está presente em todas as correspondências mapeadas, conforme observamos na relação de segunda ordem  ${}^2R_2$ , o que compromete a consistência estrutural. Em  ${}^2R_2$  temos a falta de

conectividade em paralelo, pois o DB da comparação está associado a relação de primeira ordem  $r_1$ , enquanto o DA está relacionado a relação de primeira ordem  $r_2$ .

Essa inconsistência estrutural é devido à falta de similaridade semântica na comparação entre a proporcionalidade das quantidades de bolinhas menores e maiores e entre a quantidade de matéria de moléculas menores e maiores. Como proposto no livro didático, ao comparar bolinhas de diâmetro menor com bolinhas de diâmetro maior, temos, para uma mesma massa, sempre uma maior quantidade de bolinhas de diâmetro menor devido a diferença entre os volumes das bolinhas. Entretanto, ao transpor a comparação para o DA, para uma mesma massa, podemos dizer que há uma maior quantidade de moléculas menores em relação a quantidade de moléculas maiores em virtude da diferença entre suas massas e não em virtude da diferença entre os seus volumes. Isso ocorre, pois quando nos referimos a substâncias gasosas, independentemente da substância e do tamanho de suas moléculas, volumes iguais de gases contém o mesmo número de moléculas. Tal inconsistência, também fez surgir no mapeamento a limitação ( $L_1$ ), já que no DB existe a relação de proporcionalidade entre a quantidade de bolinhas e o volume final do sistema e, no DA, essa condição não se aplica, pois, conforme já discutido, volumes iguais de diferentes substâncias gasosas contém o mesmo número de partículas.

Existe sistematicidade nessa comparação, mas como foram mapeadas apenas relações de segunda ordem ( ${}^2R_1$  e  ${}^2R_2$ ), consideramos que ela não é muito sistemática. Além disso, foi mapeada uma diferença alinhável ( $D_1$ ) que auxilia na compreensão da comparação estabelecida pelos autores do livro didático. Em  $D_1$  temos a constatação de que a relação de proporcionalidade entre a massa e volume das bolinhas somente é válida se consideramos que elas são feitas do mesmo material, já no DA não podemos fazer essa transposição, uma vez que moléculas menores nem sempre tem massas menores. Perante a análise dessa comparação, consideramos que ela se configura como uma analogia, com o devido foco relacional, mas com certa inconsistência estrutural e pouco sistemática.

Para analisar a adequação pragmática dessa analogia, consideramos o propósito contextual para qual ela foi empregada no livro didático: comparar o tamanho de diferentes bolinhas com as relações entre a quantidade de partículas (moléculas) e suas respectivas massas (ou o volume) de diferentes substâncias. Cabe ressaltar que os autores enunciaram que iriam fazer uma analogia para o entendimento do significado da unidade de medida “mol”. Ademais, destacamos que

apesar dos autores fazerem a comparação entre a proporcionalidade da quantidade de bolinhas e seus respectivos tamanhos (volumes) no DB, ao fazê-la no DA, eles consideraram a proporcionalidade da quantidade de moléculas com suas respectivas massas e não seus volumes:

Imagine que você tenha que medir a quantidade de bolinhas de poliestireno que cabe em uma garrafa de refrigerante de **2 L**. Se você colocar bolinhas pequenas, vai encontrar um número maior de bolinhas do que se optar por bolinhas com um diâmetro maior. Podemos pensar o mesmo em relação aos átomos, moléculas e íons. Em uma amostra de **1 g** de moléculas de hidrogênio certamente há mais moléculas do que uma mesma massa de moléculas de água, pois esta última pesa mais que a molécula de hidrogênio. (Trecho do livro D, p. 234-235 – grifos nossos)

Apesar desse trecho evidenciar a limitação  $L_1$ , consideramos que os autores contornaram essa limitação ao se referirem a massa de 1 g de hidrogênio ou de água e não a seus respectivos volumes, embora no DB terem considerado o volume ocupado pelas bolinhas dentro de garrafas de refrigerante de 2 L. Diante desses aspectos, consideramos que a analogia se encontra parcialmente pragmática, pois de certo modo, ela favorece a compreensão da unidade de medida “mol”, ao comparar que a quantidade de moléculas de substâncias diferentes varia com sua massa.

Para compreendermos a relação estabelecida entre a entidade de interesse científico e os objetos tomados para o estabelecimento de uma analogia, ou para a construção de um modelo, é importante considerar e analisar os princípios da familiaridade e da independência aplicados ao domínio base das analogias, e os princípios da representatividade e da dependência aplicados ao domínio representante dos modelos.

Nesse sentido, ao analisarmos a aplicação de cada um desses princípios ao domínio ilustrado na figura 15, entendemos que:

- (i) Sobre o princípio da familiaridade: os materiais mencionados na ilustração são familiares, incluindo a relação de contenção proposta pelos autores, embora não se constitua como uma situação comum ou cotidiana; a proposição de se contar a quantidade de bolinhas de poliestireno possíveis de serem colocadas dentro de uma garrafa de 2 L não é comum, mas é perfeitamente possível de ser imaginada. Além disso, a ilustração contribui para a elaboração mental dessa situação.
- (ii) Sobre o princípio da independência: consideramos que a situação proposta no livro didático, a princípio, seria independente do conhecimento sobre a

entidade de interesse científico – a relação entre o número de partículas de uma substância e a massa correspondente ou o volume ocupado. No entanto, não se pode desconsiderar que as escolhas dos autores pelos materiais ilustrados foram intencionais, e que suas intenções dependeram do conhecimento dos tamanhos das moléculas das substâncias citadas como alvo da proposição. Ou seja, as bolinhas menores foram escolhidas em função do conhecimento sobre o tamanho das moléculas de hidrogênio, do mesmo modo que as bolinhas maiores foram escolhidas em função do maior tamanho das moléculas da água. Tudo isso também significa que, se alterássemos as substâncias do alvo em função dos tamanhos das moléculas, teríamos que trocar as bolinhas da ilustração.

- (iii) Sobre o princípio da representatividade: entendemos que as bolinhas de poliestireno colocadas em cada garrafa não devem ser consideradas como “representantes diretos” das moléculas de hidrogênio e de água, embora exista uma correspondência entre as diferenças de tamanho entre as moléculas dessas duas substâncias e as diferenças entre os tamanhos das bolinhas. Como pode ser lido no recorte do livro didático (figura 15), a descrição das bolinhas colocadas nas duas garrafas foi empregada pelos autores de modo a permitir que os estudantes compreendessem a relação entre o maior número de partículas contidas em uma amostra do material decorrente do menor tamanho dessas partículas, sem que, necessariamente, a garrafa da esquerda estivesse representando moléculas de hidrogênio e a da direita estivesse representando moléculas da água.
- (iv) Sobre o princípio da dependência: como dissemos anteriormente, de fato, a escolha pelas bolinhas com diferentes tamanhos certamente foi decorrente dos diferentes tamanhos das moléculas de hidrogênio e de água citadas, embora não exista uma relação direta de representatividade entre as moléculas e as bolinhas. Contudo, uma alteração no domínio representado/alvo não levaria a uma modificação nos elementos que constituem o domínio representante/base, mas sim a uma eventual substituição desses elementos. Em outras palavras, se o domínio alvo fosse constituído por moléculas de outras substâncias (oxigênio e ácido sulfúrico, hélio e dióxido de carbono etc.), o domínio base poderia ser constituído pelas mesmas bolinhas. Da mesma forma, se as bolinhas de poliestireno fossem

trocadas por outras bolinhas ou outros objetos de diferentes tamanhos (p. ex.: bolas de tênis e bolas de basquete, uvas e laranjas, grãos de feijão e nozes etc.) a correspondência de similaridade entre as diferenças de tamanho poderia ser mantida para o estabelecimento da comparação.

A partir dessa análise, concluímos que, embora pareça haver uma construção de modelagem entre as bolinhas de poliestireno e as moléculas de hidrogênio/água, os autores tiveram a intenção de estabelecer uma comparação entre duas situações: assim como um maior número de bolinhas menores ocupam um mesmo espaço que um menor número de bolinhas maiores, em amostras de mesma massa, substâncias diferentes conterão quantidades diferentes de partículas. Em síntese, trata-se mais de uma analogia que uma situação de modelagem.

#### 5.1.5.2 Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”

Esta comparação foi estabelecida entre a unidade quilograma (DB) e a unidade mol (DA) com o objetivo de oferecer uma perspectiva tangível para o conceito de mol a partir da unidade de medida quilograma. A figura 16 apresenta a comparação do livro E e o quadro 18 o seu mapeamento estrutural.

Figura 16 - Analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”, livro E.

Imagine que você tenha de contar o número de “grãos” existentes em uma porção de feijão, em uma de arroz e em uma de sal, como nas fotos abaixo. Qual porção seria mais fácil de contar?



Quantas unidades há na porção de feijão, na de arroz e na de sal? Seria possível contar os grãos do sal?

Certamente, seria mais fácil contar os grãos de feijão, pois, quanto maior for a dimensão das unidades, mais simples será a contagem.

É por isso que um profissional que tenha de fazer cálculos envolvendo processos químicos – seja ele farmacêutico, engenheiro, médico, técnico agrícola, entre outros – baseia seu raciocínio em conjuntos contendo um número extremamente grande de unidades do mundo submicroscópico (átomos, moléculas, aglomerados iônicos, entre outras), em vez de raciocinar em termos dessas unidades. De forma análoga, é o mesmo recurso que se adota ao comprar feijão por quilograma e não por grãos, ou ao contar a idade das pessoas em anos e não em segundos. Isso explica a adoção de uma unidade especial, o mol, que torna mais práticos os cálculos de número de átomos ou moléculas em amostras cujas massas podem ser medidas com instrumentos comuns, como uma balança.

Fonte: Novais & Tissoni (2016, p. 190-191) – Montagem com trechos copiados do livro digital.

Quadro 18 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”, livro E.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Grãos (feijão, arroz, sal)	$E_1$ ←→	Entidades elementares (moléculas, átomos)
Quilograma	$E_2$ ←→	Mol
Massa dos grãos	$A_1(E_1)$ ←→	Massa das entidades elementares
Quantidade de grãos	$A_2(E_1)$ ←→	Quantidade de entidades elementares
Por meio do quilograma, estabelecemos uma forma de medir um conjunto (quantidade) de grãos sem ter que contá-los individualmente.	$r_1(E_1, E_2)$ ←→	Por meio do mol, estabelecemos uma forma de medir um conjunto (quantidade) de entidades elementares sem ter que contá-las individualmente.
O quilograma expressa a massa de uma grande quantidade de grãos pequenos (quantidade que varia com o tipo de grão) $r_2(E_2, A_1)$ [1 kg de açúcar contém um número bem maior de grãos do que 1 kg de feijão]	$r_2(E_2, A_1)$ ←→	
	$r_2(E_2, A_2)$ ←→	O mol expressa um número fixo de uma grande quantidade de entidades elementares $r_2(E_2, A_2)$ [1 mol de água contém o mesmo número de moléculas que 1 mol de sacarose]
1 quilograma não corresponde a uma quantidade específica de grãos	$D_1: [r_2(E_2, A_2)]$ ←→ ×	1 mol corresponde a uma quantidade específica de entidades elementares (aprox. $6 \times 10^{23}$ unidades)
* Devido à falta de conectividade em paralelo observada nesta correspondência, a fim de tornar mais claro o mapeamento, optamos por escrever o código em cada domínio: primeiro código no DB e o segundo código no DA		

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre o quilograma enquanto unidade associado a um conjunto muito grande de grãos (DB) e o mol enquanto unidade associado a um conjunto muito grande de entidades elementares (DA) possibilitou o estabelecimento de 2 correspondências entre elementos, 2 correspondências entre atributos, 2 relações de primeira ordem, e 1 diferença alinhável.

Embora o mapeamento tenha apresentado correspondência um-a-um entre os elementos e atributos, não há conectividade em paralelo em todas as correspondências como evidenciado na relação de primeira ordem  $r_2$ . A relação enunciado como  $r_2$  no DB envolve o atributo  $A_1$ , enquanto que no DA essa mesma relação envolve o atributo  $A_2$ . Isso significa que não há conectividade em paralelo

entre os argumentos das relações  $r_2$  colocadas em correspondências, o que, por sua vez, compromete a consistência estrutural dessa analogia: enquanto o quilograma é uma unidade de medida de massa, o mol é uma unidade de medida de quantidade de partículas.

Tal constatação também nos leva a concluir que não há similaridade semântica entre os elementos da correspondência  $E_2$ , pois as duas unidades colocadas em correspondência expressam medidas de grandezas físicas distintas. Essa ausência de similaridade semântica entre os elementos  $E_2$  ou podem comprometer o reconhecimento da plausibilidade da analogia ou podem provocar construções equivocadas sobre o domínio alvo por parte dos estudantes. Importa também dizer que essa foi uma das principais correspondências tomadas pelos autores como sendo uma similaridade dessa analogia. Porém, concluímos que tal similaridade não se realiza no interior da estrutura relacional comum dessa analogia, devido à ausência de similaridade semântica entre o quilograma e o mol e a consequente falta de conectividade em paralelo nessa relação de primeira ordem mapeada.

Considerando que o propósito contextual nesse caso foi o de oferecer uma perspectiva tangível para o conceito da unidade mol a partir da unidade de medida quilograma, buscamos trechos que pudessem evidenciar o estabelecimento da comparação atendendo a adequação pragmática, conforme fragmento abaixo:

“...baseia seu raciocínio em **conjuntos contendo um número extremamente grande de unidades** do mundo submicroscópico (átomos, moléculas, aglomerados iônicos, entre outras), em vez de raciocinar em termos dessas unidades. **De forma análoga**, é o mesmo recurso que se adota ao **comprar feijão por quilograma e não por grãos...**” (Trecho do Livro E, p. 249 - grifos nosso)

O trecho acima evidencia essa intenção retórica dos autores enunciada anteriormente, pois os autores relacionam um conjunto extremamente grande de unidades de entidades elementares (DA) com a forma análoga de se comprar feijão por quilograma (DB) e não por grãos, conforme enunciamos na relação de primeira ordem  $r_1$ .

Diante desse contexto de intenção dos autores, fizemos a relação  $r_2$ , porém, como já mencionamos, ela não apresenta similaridades em seus significados. Portanto, destacamos que essa relação ( $r_2$ ) pode também ser entendida como uma diferença alinhável associada a relação de primeira ordem  $r_1$ , um vez que apesar do quilograma e do mol serem usados como unidades de medidas de um conjunto

grande, o quilograma expressa a unidade de medida de uma quantidade de massa, enquanto o mol expressa a unidade de medida de quantidade de partículas e não de massa. Ademais, no mapeamento estrutural foi abordado uma diferença alinhável ( $D_1$ ), que, também, julgamos pertinente que os professores evidenciem em sala de aula, pois quando se trata de grãos, um quilograma não corresponde necessariamente a uma quantidade fixa de grãos de feijão, arroz ou sal, já que cada grão vai ter uma massa diferente. Porém, em correspondência ao DA, um mol de entidades elementares contém uma quantidade fixa de átomos, moléculas ou íons, que é de aproximadamente  $6 \times 10^{23}$  unidades.

Em relação a sistematicidade, ela é inexistente, uma vez que foram mapeadas somente relações de primeira ordem ( $r_1$  e  $r_2$ ). Diante de toda essa análise, apesar da comparação apresentar certa inconsistência estrutural, não ser sistemática e não possuir similaridade semântica nos significados de todas as correspondências, consideramos que ela se configura como uma analogia, por apresentar foco relacional, principalmente na relação  $r_1$ , que foi, também, o eixo de abordagem dos autores no livro didático.

### 5.1.5.3 Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”

Esta comparação foi estabelecida entre a unidade “ano” (DB) e a unidade “mol” (DA) com o objetivo de oferecer uma perspectiva tangível para o conceito de mol a partir da unidade de medida de tempo vivido (anos). A figura 17 apresenta a comparação do livro E e o quadro 19 o seu mapeamento estrutural.

Figura 17 - Analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”, livro E.

É por isso que um profissional que tenha de fazer cálculos envolvendo processos químicos – seja ele farmacêutico, engenheiro, médico, técnico agrícola, entre outros – baseia seu raciocínio em conjuntos contendo um número extremamente grande de unidades do mundo submicroscópico (átomos, moléculas, aglomerados iônicos, entre outras), em vez de raciocinar em termos dessas unidades. De forma análoga, é o mesmo recurso que se adota ao comprar feijão por quilograma e não por grãos, ou ao contar a idade das pessoas em anos e não em segundos. Isso explica a adoção de uma unidade especial, o **mol**, que torna mais práticos os cálculos de número de átomos ou moléculas em amostras cujas massas podem ser medidas com instrumentos comuns, como uma balança.

Fonte: Novais & Tissoni (2016, p. 191).

Quadro 19 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”, livro E.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Tempo de vida (segundos vividos por uma pessoa)	$E_1$ ←————→	Entidades elementares (moléculas, átomos)
Unidade: ano	$E_2$ ←————→	Unidade: mol
Número de segundos vividos por uma pessoa	$A_1(E_1)$ ←————→	Número de entidades elementares
Dificuldade de se contar o tempo de vida de uma pessoa em segundos individualmente	$A_2(E_1)$ ←————→	Dificuldade de se contar entidades elementares muito pequenas individualmente
O ano indica um grande número constante de segundos vividos por uma pessoa	$r_1(E_2, A_1)$ ←————→	O mol indica um grande número constante de entidades elementares
Podemos expressar um grande número de segundos vividos por uma pessoa sem ter que contá-los individualmente por meio dos números de anos	${}^2R_1(A_2, r_1)$ ←————→	Podemos expressar um grande número de entidades elementares, sem ter que contá-las individualmente por meio do número de mols
O ano é uma unidade para expressar a quantidade de tempo	$D_1:[E_2]$ ←————×————→	O mol é uma unidade para expressar a quantidade de matéria

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre a quantidade de “ano” enquanto unidade associado a um conjunto de tempo vivido (DB) e o mol enquanto unidade associado a um conjunto muito grande de entidades elementares (DA) possibilitou o estabelecimento de 2 correspondências entre elementos, 2 correspondências entre atributos, 1 correspondência de relação de primeira ordem, 1 correspondência de relação de segunda ordem, além de 1 diferença alinhável.

Essa comparação está relacionada a comparação da seção anterior (5.1.5.2), pois foi estabelecida no mesmo livro didático e no mesmo momento, como uma segunda opção para comparar um conjunto muito grande de entidades elementares com algo familiar ao estudante, que é a sua idade, conforme observamos no trecho:

“De forma análoga, é o mesmo recurso que se adota ao comprar feijão por quilograma e não por grãos, **ou ao contar a idade das pessoas em anos e não em segundos.**” (Trecho do Livro E, p. 249 - grifos nosso)

Conforme destacado, os autores utilizaram essa comparação para expressar mais uma possibilidade de comparação com a unidade de medida “mol”. Dessa vez, a inadequação de se medir a idade de uma pessoa em segundos e, como

alternativa, utilizar uma unidade que compõe um conjunto grande de segundos, como o “ano”.

Podemos dizer que há correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e, também, conectividade em paralelo conforme mapeado nos códigos das correspondências no quadro 19. A sistematicidade é baixa, pois foi mapeada apenas uma relação que se conecta com outra relação – a relação de segunda ordem  ${}^2R_1$ . No entanto, como o seu domínio base comparado não possui certa concretude, ou seja, é algo mais abstrato, consideramos que essa comparação é uma abstração e não uma analogia, segundo o referencial teórico adotado de Gentner (1983).

Em relação à similaridade dos predicados dos elementos, atributos e relações, em sua maioria, eles são semanticamente similares. Por exemplo, em  $E_2$  temos no DB a unidade de medida “ano” e em correspondência no DA temos a unidade de medida “mol”. Entretanto, podemos considerar uma similaridade semântica parcial entre esses elementos, uma vez que ambos são unidades de medidas de quantidades: o “mol” de quantidade de matéria e o “ano” de quantidade de tempo; porém de entidades físicas distintas. Destacamos que em contraste a comparação da seção anterior, nesse caso temos essa baixa similaridade semântica entre as entidades físicas medidas, mas isso não levou a inconsistência estrutural, como ocorreu na comparação entre a unidade de medida de massa (quilograma) e a unidade de medida de quantidade de partículas (mol), discutida na seção 5.1.5.2. Essa baixa similaridade semântica foi contemplada pela diferença alinhável mapeada ( $D_1$ ), em que esclarece que o “ano” é uma unidade de medida que expressa uma quantidade de tempo enquanto o “mol” é uma unidade de medida para expressar a quantidade de matéria. Essas observações são enriquecedoras para o ensino, pois possibilita evidenciar a diferença entre as entidades físicas medidas.

Considerando que o propósito contextual nesse caso, também, foi o de oferecer uma perspectiva tangível para o conceito da unidade “mol” a partir da unidade de medida “ano”, podemos dizer que ela está pragmaticamente adequada dentro do contexto apresentado pelos autores.

#### **5.1.5.4 Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”**

Esta comparação foi estabelecida entre uma unidade hipotética, o “miçamol”, criada para quantificar a grandeza “quantidade de miçangas” (DB), e a unidade “mol”, usada para quantificar a grandeza “quantidade de matéria” (DA). Os

autores tiveram a provável intenção de oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da grandeza numerosidade: “quantidade de matéria”, que tem como unidade padrão o “mol”, a partir da criação de um contexto que desenvolve uma unidade hipotética chamada “miçamol”. A figura 18 apresenta a comparação do livro F e o quadro 20 seu mapeamento estrutural.

Figura 18 - Analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”, livro F.



**Construção do Conhecimento**



**Contando entidades pequenas**

Vimos no item de massa atômica como foi estabelecida a relação entre as massas de diferentes substâncias, utilizando uma substância simples como padrão. Entretanto, os químicos tinham, ainda, outro desafio a vencer: como saber o número de átomos ou entidades químicas presentes nessas quantidades de substâncias? Certamente, eles não poderiam contá-las da forma como você conta laranjas na feira. Ainda que conseguissem desenvolver uma máquina que contasse mil átomos por segundo, esta gastaria, aproximadamente, 20 trilhões de anos para contar todos os átomos existentes em 12 g de carbono-12!

Diante de tal impossibilidade, os químicos desenvolveram a grandeza numerosidade. Para compreendê-la, vamos estabelecer a comparação com objetos pequenos manuseáveis, como as miçangas empregadas na confecção de bijuterias (veja a foto acima).

As unidades mais apropriadas na comercialização de miçangas são aquelas que adotam padrões de medida próximos à quantidade de miçangas, às quais serão comercializadas. Assim, o grama poderia ser uma boa unidade de medida na venda direta de miçangas ao consumidor, o quilograma para vendas a comerciantes e a tonelada para a venda do produto a grandes indústrias.

Vamos imaginar que uma pessoa muito meticulosa resolvesse comprar a quantidade exata de miçangas para confeccionar, por exemplo, certo número de colares. Para essa pessoa, a grandeza mais apropriada seria a unidade de medida que estivesse relacionada ao número de miçangas (número de entidades) e não à massa. No entanto, é muito trabalhoso contar **miçangas** uma a uma. Mas, se não é possível usar a unidade simples, que grandeza devemos usar nesse caso?

A forma adequada seria estabelecer um padrão de referência que contivesse a quantidade de fácil manuseio. Como a balança é um instrumento de medida preciso e bastante comum, a pessoa poderia escolher, como padrão, de medida uma quantidade de miçangas que pudesse ser determinada com base em sua massa. Que tal escolher 150 g de miçangas de 6 mm de diâmetro como padrão de referência? Essa miçanga não é muito grande, nem muito pequena. Além disso, 150 g correspondem a uma quantidade razoável, fácil de ser medida.

Adotada essa convenção, poderiam ser determinadas quantas miçangas de 6 mm há em 150 g. De que maneira? Contando uma a uma as miçangas em uma amostra de 150 g.

Ou, para facilitar, simplesmente medindo a massa de uma dessas miçangas. Bastaria, depois, dividir 150 g pela massa de uma miçanga. Como curiosidade, fizemos essa conta e obtivemos o resultado de 1 359 miçangas.

Resolvido o problema. Se nosso amigo meticuloso precisasse de 4 077 miçangas, bastaria comprar 450 g de miçangas, ou seja, a quantidade contida em 150 g serviria como base para seus cálculos de unidade. Ela poderia facilitar ainda mais os cálculos inventando uma grandeza específica para contar a quantidade de miçangas. Essa grandeza poderia se chamar “quantidade de miçangas”, que tal? E, como toda grandeza tem de ter uma unidade, poderia ser batizada de “miçamol”.

Assim, esse hipotético consumidor não pediria mais 450 g de miçangas, mas, sim, 3 “miçamols” de miçangas.

▲ Ainda que **miçangas** possam ser contadas uma por uma, essa não é tarefa fácil de ser efetuada no comércio. Como fazer?



Contar miçangas é muito trabalhoso, mas **medir a massa** é muito fácil. Se contarmos a quantidade de miçangas em determinada massa, saberemos quantas miçangas há em qualquer outro valor de massa. ▼

Fonte: Santos & Mól, (coord.) (2016, p. 12).

Quadro 20 - Mapeamento estrutural da analogia entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”, livro F.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Miçangas	$E_1$ ←————→	Entidades elementares (átomos/moléculas)
Unidade “miçamol”	$E_2$ ←————→	Unidade mol
Padrão adotado: 150 g de miçanga-6 (miçangas com 6 mm de diâmetro)	$E_3$ ←————→	Padrão adotado: 12 g de carbono-12 (átomos de C com número de massa 12)
Quantidade de miçangas	$A_1(E_1)$ ←————→	Quantidade de matéria
Não seria prático contar, diretamente, a quantidade de miçangas presentes em 1 miçamol.	$r_1(E_2, A_1)$ ←————→	Não é viável contar, diretamente, a quantidade de entidades elementares presentes em 1 mol de qualquer substância.
O miçamol seria a unidade de medida da grandeza de numerosidade “quantidade de miçangas”	$r_2(E_2, A_1)$ ←————→	O mol é a unidade de medida da grandeza de numerosidade “quantidade de matéria”
O miçamol seria a quantidade de miçangas de um conjunto que contém tantas miçangas quanto as de uma amostra de 150 g de miçangas-6 (miçangas com 6 mm de diâmetro): 1359 miçangas	${}^2R_1(E_3, r_2)$ ←————→	O mol é a quantidade de substância de um sistema que contém tantas partículas elementares quantos são os átomos em 12 g de carbono-12 (átomos de C com número de massa igual a 12): $6,02 \times 10^{23}$ unidades
Ao invés de contar diretamente o número de miçangas em uma amostra, a quantidade de miçangas de um conjunto qualquer poderia ser dada, medida ou calculada por meio do número de “miçamóls”	${}^3R_2(r_1, r_2, {}^2R_1)$ ←————→	Ao invés de contar diretamente a quantidade de entidades elementares em uma amostra, a quantidade de substância presente poderia ser dada, medida ou calculada por meio do número de mols

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

O mapeamento estrutural dessa comparação possibilitou o estabelecimento de 3 correspondências entre elementos, 1 correspondência entre atributos, 2 relações de primeira ordem e 1 relação de segunda ordem e 1 relação de ordem superior. Ele permite afirmar que ela é estruturalmente consistente, uma vez que, entre os domínios é possível verificar as três condições estruturais: 1<sup>a</sup>) correspondência um-a-um entre os elementos e atributos; 2<sup>a</sup>) conectividade em paralelo entre os argumentos das relações e 3<sup>a</sup>) a sistematicidade, demonstrada no sistema de relações conectadas. Destacamos, nesse caso, a sistematicidade dessa comparação, pois, apesar de ser um mapeamento estrutural com poucas correspondências de elementos e atributos, foram mapeadas quatro relações que se interconectam, favorecendo certa sistematicidade. Isso sugere que o foco da

comparação é relacional, o que nos permite afirmar que ela se configura como uma analogia.

Além disso, o mapeamento permite inferir que os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares, uma vez que os significados propostos nos predicados são semelhantes. Por exemplo, em  $E_1$  temos as miçangas no DB em correspondência as entidades elementares no DA, em  $E_2$  temos no DB a unidade de medida “miçamol” e em correspondência no DA temos a unidade de medida “mol”, já em  $E_3$  temos o padrão adotado hipoteticamente como sugerido pelos autores (150g de miçangas de 6mm cada) em correspondência com o padrão adotado no DA (12g de carbono-12). Ademais, a similaridade dos significados das correspondências, também, está presente no atributo mapeado e nas relações envolvidas na comparação, conforme descrito no quadro 20.

Na seção “construção do conhecimento”, apresentada na figura 18, estão presentes expressões que evidenciam a comparação estabelecida entre os dois domínios. Por exemplo, no trecho abaixo observamos a relação de primeira ordem  $r_1$  sendo mapeada em: “essa grandeza poderia se chamar “quantidade de miçangas”...” No entanto, nesse fragmento há apenas o DB sendo estabelecido, porém mais adiante no capítulo, os autores apresentam o DA:

“Assim como estabelecemos uma unidade padrão para quantificar as miçangas, os químicos também desenvolveram uma unidade de medida para as entidades constituintes das substâncias. No caso das **miçangas**, a **grandeza usada foi “quantidade de miçangas”**. No caso da Química, a numerosidade de espécies químicas (átomos, íons, moléculas, elétrons), além de ser expressa por número, foi adotada uma outra grandeza que facilita a contagem de átomos, como foi usada a grandeza para contar a quantidade de miçangas. Essa grandeza é denominada **quantidade de matéria**, que é uma grandeza de numerosidade, representada pela letra  $n$ , que **permite determinar a quantidade de entidades químicas** por unidade que contém uma grande quantidade de espécies.

Por **analogia**, considerando-se as diferenças entre átomos e miçangas, podemos **relacionar o conceito de quantidade de matéria à quantidade de miçangas**. Definimos como padrão de quantidade, o número de miçangas contido em 150 g de miçangas de 6 mm. No caso da Química, o padrão escolhido foi o número de átomos contidos em 12 g de carbono-12 (isótopo de carbono de massa 12). A **unidade de medida da grandeza quantidade de matéria é o mol** – do latim moles, que significa grande massa compacta. O mol é, portanto, a unidade de numerosidade de entidades químicas. ” (Trecho do Livro F, p. 13 - grifos nosso)

O trecho acima evidencia o propósito contextual da analogia, pois os autores relacionam de forma explícita a grandeza “quantidade de miçangas” (DB) com a grandeza “quantidade de matéria” (DA). Apontamos a expressão “por analogia”, o que confere o reconhecimento dos autores que estão estabelecendo uma comparação

com foco relacional entre dois domínios. Mesmo que nesse excerto os autores não tenham relacionado de forma nítida a unidade “miçamol” e a unidade “mol”, podemos inferir que essa correspondência foi estabelecida na seção “construção do seu conhecimento”, conforme trecho:

“...vamos **estabelecer a comparação** com objetos pequenos manuseáveis, como as miçangas... Essa **grandeza** poderia se chamar “**quantidade de miçangas**”... E, como toda grandeza tem de ter uma **unidade**, poderia ser batizada de “**miçamol**”. Assim... não pediria mais 450g de miçangas, mas, sim, 3 “miçamols” de miçangas.” (Trecho do Livro F, p. 12 - grifos nosso)

No trecho, os autores, apontam que vão estabelecer uma comparação e depois a fazem com a grandeza de numerosidade “quantidade de miçangas” e a unidade “miçamol” (mapeada como  $r_2$ ). Além disso, ao dizerem que “não pediria mais 450g de miçangas, mas, sim, 3 “miçamols”, os autores estão indiretamente enunciado a relação de ordem superior  ${}^3R_2$ . Diante dessa análise, configuramos essa analogia como pragmaticamente adequada.

Nesse recurso, também, é possível analisar os princípios da familiaridade e da independência aplicados ao domínio base da analogia, e os princípios da representatividade e da dependência aplicados ao domínio representante da modelagem, uma vez que os autores utilizam de uma criação concreta (miçangas) em que há a possibilidade de reprodução da comparação.

Nesse sentido, ao analisarmos a aplicação de cada um dos princípios ao domínio ilustrado na figura 18, entendemos que:

- (i) Sobre o princípio da familiaridade: os materiais mencionados na ilustração são familiares, embora não se constitua como uma situação comum ou cotidiana, ou seja, a proposição de se comprar miçangas por unidades não é comum, mas seria possível. Ademais, medir a quantidade em massa de miçangas é bem comum. Além disso, a ilustração contribui para a elaboração mental dessa situação;
- (ii) Sobre o princípio da independência: consideramos que a situação proposta no livro didático seria independente do conhecimento sobre a entidade de interesse científico – a quantidade de matéria. Assim, a maneira como a quantidade de matéria é concebida independe dos elementos utilizados na proposição da comparação;
- (iii) Sobre o princípio da representatividade: entendemos que há uma relação de representatividade entre a entidade modelada e a entidade representante, pois

a construção da concepção “quantidade de miçangas” associado a uma unidade hipotética “miçamol” foi feita de modo a representar o conceito científico de “quantidade de matéria” e sua respectiva unidade “mol”;

- (iv) Sobre o princípio da dependência: compreendemos que a construção da comparação depende do nosso conhecimento em relação a entidade modelada, ou seja, uma alteração no domínio representado/alvo (quantidade de matéria e “mol”) não levaria a uma modificação nos elementos que constituem o domínio representante/base (quantidade de miçangas e “miçamol”), mas sim a uma eventual substituição e/ou adaptação desses elementos. Nesse caso modificaríamos o modelo elaborado para representar a entidade de interesse científico.

Diante do exposto, concluímos que, o recurso apresentado na figura 18 atendeu aos princípios da analogia e aos princípios da modelagem. Portanto, há uma comparação de caráter analógico envolvido e, também, uma relação de representatividade da entidade de interesse científico. Nesse caso, concebemos o recurso como um modelo analógico, ou seja, um modelo fundamentado em uma analogia.

#### **5.1.5.5** Comparação entre a “proporção entre as massas de átomos e moléculas” e a “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”

Esta comparação foi estabelecida entre a proporção entre as massas de bolinhas de cores e massa diferentes (DB) e a proporção entre as massas de átomos e moléculas diferentes (DA). A Figura 19 apresenta a comparação do Livro C e o Quadro 21 o seu mapeamento estrutural.

Figura 19 - Analogia entre a “proporção entre as massas de átomos e moléculas” e “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”, livro C.

**Quantidade de matéria**

**Determinação da proporção entre átomos**

Considere uma bola azul e outra vermelha, cuja massa equivale à metade da massa da azul. Imagine duas caixas de mesma massa e tamanho: em uma delas há 1,0 kg de bolas azuis e, na outra, 1,0 kg de bolas vermelhas. Mesmo sem contá-las, podemos afirmar que em uma das caixas há o dobro de bolas vermelhas em relação à quantidade de bolas azuis.

Suponha agora que em uma caixa na qual foram colocados 10,0 kg de bolas azuis existam  $n$  bolas dessa cor. Qual massa de bolas vermelhas apresenta a mesma quantidade  $n$  de bolas? Como a massa de cada bola vermelha é metade da azul, a massa de  $n$  bolas vermelhas é 5,0 kg.

Para átomos e moléculas (bem como para agregados atômicos, íons, etc.), a lógica de contagem é a mesma.

É possível determinar a quantidade de átomos ou moléculas de uma amostra de material partindo-se do modelo atômico proposto por Dalton.

Apesar de Dalton e seus contemporâneos não terem conseguido determinar a massa dos átomos em unidades macroscópicas – como o quilograma (kg) –, a conservação e o rearranjo de átomos por ele propostos permitem comparar as massas das moléculas e dos átomos utilizando um raciocínio fundamental da Matemática: a proporção.

Na síntese da amônia, por exemplo, sabe-se que cada 28 g de  $N_2$  reage com 6 g de  $H_2$ , resultando em 34 g de  $NH_3$ .

$$N_2(g) + 3 H_2(g) \rightarrow 2 NH_3(g)$$

$\frac{28 \text{ g}}{\text{massa de } x \text{ moléculas de } N_2} = \frac{6 \text{ g}}{\text{massa de } 3x \text{ moléculas de } H_2} \rightarrow \frac{\text{massa de 1 molécula de } N_2}{\text{massa de 1 molécula de } H_2} = 14$

$\frac{\text{massa de } 2y \text{ átomos de N}}{\text{massa de } 2y \text{ átomos de H}} = 14 \rightarrow \frac{\text{massa de 1 átomo de N}}{\text{massa de 1 átomo de H}} = 14$

Representação em cores-fantasia.

Assim, a exemplo do procedimento adotado para as bolas azuis e vermelhas, é possível estabelecer que, considerando-se dois conjuntos com a mesma quantidade de átomos de N e de H, o primeiro apresenta massa 14 vezes superior à do segundo.

Considere um conjunto que contenha  $x$  átomos de hidrogênio, cuja massa é igual a 1,0 g. Qual deve ser a massa de um conjunto contendo a mesma quantidade  $x$  de átomos de nitrogênio?

Como cada átomo de nitrogênio apresenta massa 14 vezes superior à do átomo de hidrogênio, o conjunto de átomos de nitrogênio apresenta massa de 14 g.

Fonte: Lisboa et al. (2016, p. 245).

Quadro 21 - Mapeamento estrutural da analogia “proporção entre as massas de átomos e moléculas” e “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”, livro C.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Bolinha de cor azul	$E_1$	Substância A
Bolinha de cor vermelha	$E_2$	Substância B
Caixa	$E_3$	Sistema reacional
Massa da bolinha azul	$A_1(E_1)$	Massa da substância A
Massa da bolinha vermelha	$A_2(E_2)$	Massa da substância B
Quantidade de bolinha de cor azul	$A_3(E_1)$	Quantidade da substância A
Quantidade de bolinha de cor vermelha	$A_4(E_2)$	Quantidade da substância B
Uma determinada massa de bolinha azul corresponde a uma quantidade fixa dessa bolinha	$r_1(A_1, A_3)$	Uma determinada massa da substância A corresponde a uma quantidade fixa dessa substância
Uma determinada massa de bolinha vermelha corresponde a uma quantidade fixa dessa bolinha	$r_2(A_2, A_4)$	Uma determinada massa da substância B corresponde a uma quantidade fixa de matéria

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
A razão entre a massa de um conjunto de bolinhas azuis e a massa de um conjunto de bolinhas vermelhas é igual a um valor constante.	$r_3(A_1, A_2)$ ← →	A razão entre a massa da substância A e a massa da substância B é igual a um valor constante.
A razão entre as quantidades de bolinhas azuis e vermelhas nas caixas é constante.	$r_4(A_3, A_4)$ ← →	A razão entre as quantidades das substâncias no sistema reacional é constante.
Mesmo sem contar as bolinhas, a partir da razão constante entre as massas do conjunto de bolinhas azuis e o conjunto de bolinhas vermelhas nas caixas, é possível deduzir a relação entre as quantidades das bolinhas.	${}^2R_1(r_3, r_4)$ ← →	Mesmo sem contar o número de moléculas (ou o número de mols), a partir da razão constante entre as massas das substâncias em um sistema reacional, é possível deduzir a relação entre as quantidades das substâncias.
As bolinhas dentro da caixa não sofrem transformação	$D_1:[E_3]$ ← × →	As substâncias se transformam quimicamente em um sistema reacional

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre a proporção entre as massas de bolinhas de cores e massas diferentes colocadas em uma caixa e pesadas (DB) e a proporção entre as massas de átomos e moléculas diferentes (DA) possibilitou o estabelecimento de 3 correspondências entre elementos, 4 correspondências entre atributos, 4 relações de primeira ordem, 1 relação de segunda ordem e 1 diferença alinhável.

No mapeamento estrutural apresentado no quadro 21 temos a evidência da correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e, também, a conectividade em paralelo entre os argumentos das relações. A sistematicidade está presente, apesar de baixa, uma vez que só foi mapeada uma relação que está conecta com outras relações – a relação de segunda ordem ( ${}^2R_1$ ). Isso evidencia que o foco da comparação é relacional e, portanto, ela se configura como uma analogia estruturalmente consiste e com o devido foco relacional.

Além disso, observamos que os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares, uma vez que os significados propostos nos predicados são semelhantes. Por exemplo, nas correspondências entre elementos temos a semelhança de comparar “bolinhas de cores diferentes” com “substâncias diferentes” e a “caixa” com “sistema reacional”. Nos atributos, estão mapeados as massas e quantidades de bolinhas de cores diferentes no DB em correspondência com as massas e quantidades de substâncias diferentes no DA. A similaridade semântica se estende para as correspondências entre as relações de primeira ordem: em  $r_1$  e  $r_2$  temos a relação de proporcionalidade entre massa e quantidade de bolinhas

no DB e de substâncias no DA, em  $r_3$  e  $r_4$  a razão entre as massas e quantidades de bolinhas no DB e a razão entre as massas e quantidades de substâncias no DA. Também há a evidência de similaridade nos significados na relação de segunda ordem  ${}^2R_1$ , uma vez que no DB o seu argumento nos diz que a partir da razão constante entre a massa de bolinhas é possível deduzir a relação entre as quantidades delas, assim como, a razão constante entre a massa de substâncias (DA) possibilita a dedução da relação entre as quantidades das substâncias.

Nesse mapeamento foi estabelecida uma diferença alinhável, também, identificada em outros mapeamentos, que é a impossibilidade da comparação abordar a transformação da matéria, uma vez que as bolinhas dentro da caixa não sofrem uma transformação, enquanto, em um sistema reacional, as substâncias se transformam quimicamente ( $D_1$ ). Consideramos essa diferença relevante de ser explorada em sala de aula, de modo a tentar esclarecer para o estudante que nas reações química sempre há uma razão constante entre a massa e a quantidade de substâncias, mas que sempre há a transformação da matéria, ou seja, a recombinação dos átomos para formar novas substâncias.

Considerando que o propósito contextual nesse caso foi de oferecer um contexto para a compreensão de que há uma proporcionalidade entre as massas e quantidades de reagentes em uma reação química a partir da relação de massas e quantidades entre as entidades do DB, buscamos trechos que pudessem evidenciar o estabelecimento da comparação atendendo a adequação pragmática:

“... considere **uma bola azul e outra vermelha, cuja massa equivale à metade da massa da azul**. Imagine **duas caixas** de mesma massa e tamanho: em uma delas há **1,0 kg de bolas azuis e, na outra, 1,0 kg de bolas vermelhas**. **Mesmo sem contá-las, podemos afirmar que em uma das caixas há o dobro de bolas vermelhas** em relação à quantidade de bolas azuis.” [...] **“Para átomos e moléculas [...], a lógica de contagem é a mesma.”** (Trecho do Livro C, p. 245 - grifos nosso)

Os trechos acima evidenciam a intenção dos autores em estabelecer a comparação. Ao dizer que não é necessário contar as bolinhas dentro da caixa para saber que há uma proporção entre a quantidade delas, uma vez que se sabe a proporção entre suas massas, os autores evidenciam a principal relação mapeada, a relação de segunda ordem  ${}^2R_1$ . Apesar de não deixar explícito a transposição dos elementos e atributos do DB para o DA, eles afirmam que “para átomos e moléculas, a lógica de contagem é a mesma”, enfatizando a comparação estabelecida. Dessa forma e, ainda, conforme o subtítulo da seção “determinação da proporção entre

átomos”, consideramos que ela está pragmaticamente adequada dentro do contexto proposto pelos autores.

Diante dessa análise, concluímos que a analogia está estruturalmente consistente, apresenta o devido foco relacional, não é muito sistemática, apresenta similaridade semântica e está adequada pragmaticamente.

### **5.1.6** Comparações para constante de Avogadro

Conforme mencionado na seção anterior, o subtópico “constante de Avogadro” foi um dos que apresentou maior número de comparações distintas, cinco no total. Ademais, para esse subtópico foram encontradas as maiores ocorrências nos livros didáticos, um total de nove ocorrências nos seis livros. Além disso, para o mesmo houve uma categoria de comparação que não foi classificada conforme o referencial teórico, e, sim, como uma categoria emergente, que denominamos de “comparação por contraste”. A seguir apresentamos as ilustrações e/ou trechos dos livros em que a comparação foi estabelecida, o seu mapeamento estrutural e sua análise estrutural, semântica e pragmática.

#### **5.1.6.1** Comparação por contraste

Esta comparação foi identificada em cinco dos seis livros didáticos analisados. Em todos, os autores utilizaram ilustrações de um mol de amostras de diferentes substâncias para contrastar os seus volumes e massas diferentes, mas conceituando que em todos os recipientes havia a mesma quantidade de entidades elementares ( $6,02 \times 10^{23}$ ), conforme a Figura 20.

Figura 20 - Comparação por contraste presentes nos livros A, C, D, E e F.



Fonte: Ciscato, Pereira, Chemello & Proti (2016, p. 194 – Livro A); Lisboa et al. (2016, p. 244 – Livro C); Mortimer & Machado (2016, p. 235 - Livro D); Novais & Tissoni (2016, p. 192 – Livro E); Santos & Mól, (coord.) (2016, p. 22 – Livro F).

Diferentemente das analogias e dos outros tipos de comparação, as comparações por contraste não estão focadas em correspondências de similaridade estabelecidas a partir de um domínio para se explicar outro; nas 5 ocorrências desse tipo de comparação, os autores apresentam amostras com a mesma quantidade de matéria de diferentes substâncias com o propósito de contrastar as respectivas massas ou volumes, conforme exemplificado na Figura 20. Em síntese, os domínios das comparações por contraste não são tomados nem como base nem como alvo de compreensão, mas sim como entidades a serem contrastadas, com foco em suas diferenças. Portanto, como não há o estabelecimento de correspondências entre dois domínios da mesma forma como identificamos nos outros tipos de comparação, não foi realizado o mapeamento estrutural dessa comparação.

A respeito das ilustrações, em todos os cinco livros didáticos, os autores apresentavam por meio de expressões que os recipientes continham a mesma quantidade de matéria, mas massa ou volumes diferentes. Selecionamos os fragmentos dos livros que evidenciam isso:

“...**quantidade iguais de átomos** de substâncias distintas apresentam **massas diferentes.**” (Trecho do Livro A, p. 194 - grifos nosso)

“Apesar das **diferentes massas desses conjuntos**, todas as substâncias colocadas neles **contêm o mesmo número de agregados atômicos.**” (Trecho do Livro C, p. 244 - grifos nosso)

“Se quisermos **comparar quantidades iguais** de átomos, moléculas ou íons... **Quantidades de diferentes substâncias que corresponde a 1 mol.**” (Trecho do Livro D, p. 235 - grifos nosso)

“Essas amostras **têm massas e volumes diferentes**, no entanto, **todas contêm  $6 \times 10^{23}$  unidades...**” (Trecho do Livro E, p. 192 - grifos nosso)

“Para cada substância, temos **igual número de constituintes, mas diferentes massas.**” (Trecho do Livro F, p. 22 - grifos nosso)

Observamos que nos Livros A, C e F, os autores deram foco na diferença de massa das substâncias, mas que continham a mesma quantidade de matéria (1 mol), já no Livro E, além de inferir sobre as massas diferentes, também distingue os volumes. No Livro D, apesar de não deixar evidente no texto do capítulo que está comparando a massa e volume diferentes, percebemos a clara menção a uma comparação quando os autores escrevem “se quisermos comparar quantidades iguais [...]”, o que deixa explícito que eles recorrem a uma comparação para trabalhar o conceito de quantidade de matéria. No entanto, como é uma comparação que não possui domínios base e alvo com relações de similaridade, e, sim, o foco está na diferença entre as massas e os volumes para uma mesma quantidade de matéria (1 mol), consideramos adequado categorizá-la como uma categoria emergente, denominando-a de comparação por contraste.

#### 5.1.6.2 Comparação entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”

Esta comparação foi estabelecida entre um mol de folhas sulfite (DB) e a dimensão da constante de Avogadro (DA). Os autores tiveram a provável intenção de oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da dimensão do número de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ). A Figura 21 apresenta a comparação do Livro C e o Quadro 22 o seu mapeamento estrutural.

Figura 21 - Analogia entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”, livro C.

A constante de Avogadro tem seu valor determinado experimentalmente, e o mais preciso é  $6,02214179 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , ou seja, em 18 g de água encontram-se  $6,02214179 \times 10^{23}$  moléculas de água. Geralmente arredonda-se o valor para  $6,0 \times 10^{23}$ .

600 000 000 000 000 000 000 000

ou  
600 sextilhões

Esse valor é absurdamente grande e difícil de compreender, já que não é possível mensurar nenhum material com essa grandeza. Um mol de folhas de papel sulfite poderia ser dividido em 1 milhão de pilhas e ainda assim cada uma, colocada na superfície da Terra, teria altura suficiente para chegar ao Sol (na verdade, ultrapassaria um pouco). Um mol de grãos de arroz corresponde ao consumo mundial de arroz por cerca de 4 milhões de anos.

Fonte: Lisboa et al. (2016, p. 247).

Quadro 22 - Mapeamento estrutural da analogia entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”, livro C.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Folha sulfite	$E_1$ ↔	Entidades elementares (moléculas, átomos)
Um mol de folha sulfite	$E_2$ ↔	Um mol de entidades elementares
Pilhas de um mol folha sulfite	$A_1(E_2)$ ↔	Dimensão de um mol de entidades elementares (Constante de Avogadro)
Um mol de folha sulfite corresponde a $6 \times 10^{23}$ folhas	$r_1(E_1, E_2)$ ↔	Um mol de entidades elementares corresponde a $6 \times 10^{23}$ entidades
Um mol de folhas de papel sulfite ( $6 \times 10^{23}$ folhas) empilhadas na superfície da Terra, teria altura para ultrapassar o sol	${}^2R_1(A_1, r_1)$ ↔	Um mol de entidades elementares ( $6,0 \times 10^{23}$ entidades) equivale a aproximadamente 600 sextilhões de entidades elementares (dimensão da constante de Avogadro)

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação pilhas de papel sulfite (DB) e dimensão da constante de Avogadro (DA) possibilitou o estabelecimento de 2 correspondências entre elementos, 1 correspondências entre atributos, 1 relação de primeira ordem e 1 relação de segunda ordem.

Podemos dizer que há correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e, também, conectividade em paralelo. A sistematicidade existe, mas é baixa, uma vez que somente uma relação que possui outras relações como predicados ( ${}^2R_1$ ) foi mapeada. Além disso, conforme nosso mapeamento, o foco dela

está na relação  ${}^2R_1$  que pode ser enunciada como: ao empilhar um mol ( $6,0 \times 10^{23}$ ) de folhas sulfites na superfície da Terra, essas folhas alcançariam altura suficiente para chegar até o sol, evidenciando o número extremamente grande que a constante de Avogadro representa. Assim, apesar de seu mapeamento possuir poucas correspondências, consideramos que o foco da comparação está nas relações enunciadas, o que a configura como uma analogia.

Quanto à similaridade semântica, podemos afirmar que ela foi parcialmente contemplada, uma vez que nem todos os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares. Por exemplo,  $E_1$  e  $E_2$  atendem à similaridade semântica, pois temos em  $E_1$  folha sulfite (DB) sendo relacionada as entidades elementares (DA) e; em  $E_2$  um mol de folha sulfite (DB) em correspondência com um mol de entidades elementares (DA). Porém, quando analisamos o atributo  $A_1$  verificamos uma inconsistência semântica, pois no DB temos a correspondência “pilhas de folhas” como medida de uma quantidade de folhas e no DA “dimensão” como extensão de um número elevado. Essa inconsistência se repete na relação  ${}^2R_1$ .

Na análise da adequação pragmática da analogia, consideramos o trecho: “Esse valor é absurdamente grande e difícil de compreender, já que não é possível mensurar nenhum material com essa grandeza.” (trecho livro C, p. 247). Nele, os autores afirmam que a constante de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ) é um número muito grande e complexo de se entender, e, ainda, acrescentam que não há nada concreto que possamos utilizar para mensurar essa grandeza. Diante desse fragmento textual, consideramos que a analogia se encontra pragmaticamente adequada, dado que, o objetivo da comparação foi explicitado dentro do contexto do subtópico de conteúdo abordado.

Assim, embora essa comparação atenda parcialmente a similaridade semântica, ela é estruturalmente consistente, apresenta foco relacional e está adequada pragmaticamente dentro do seu contexto de aplicação no livro didático. Portanto, se desenvolvida de maneira a levantar esse aspecto de que a constante de Avogadro é um número muito elevado, pode favorecer as possibilidades de inferências por parte dos estudantes.

### 5.1.6.3 Comparação entre “constante de Avogadro” e “consumo mundial de um mol de arroz”

Esta comparação foi estabelecida entre o tempo necessário para o consumo de um mol de arroz (DB) e a dimensão da constante de Avogadro (DA). Nessa situação, os autores, também, tiveram a intenção de oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da dimensão do número de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ). A Figura 21 (seção anterior 5.1.6.2) apresenta a comparação do Livro C e o Quadro 23 o seu mapeamento estrutural.

Quadro 23 - Mapeamento estrutural da analogia entre “constante de Avogadro” e “consumo mundial de um mol de arroz”, livro C.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Grãos de arroz	$E_1$ ←————→	Entidades elementares (moléculas, átomos)
Um mol de arroz	$E_2$ ←————→	Um mol de entidades elementares
Tempo de consumo de um mol de arroz	$A_1(E_2)$ ←————→	Dimensão de um mol de entidades elementares (Constante de Avogadro)
Um mol de arroz corresponde a $6,0 \times 10^{23}$ grãos de arroz	$r_1(E_1, E_2)$ ←————→	Um mol de entidades elementares corresponde a $6,0 \times 10^{23}$ entidades
Um mol de arroz ( $6,0 \times 10^{23}$ grãos) corresponde ao consumo mundial por cerca de 4 milhões de anos	${}^2R_1(A_1, r_1)$ ←————→	Um mol de entidades elementares ( $6,0 \times 10^{23}$ entidades) equivale a aproximadamente 600 sextilhões de entidades elementares (dimensão da constante de Avogadro)

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação tempo de consumo mundial de um mol de arroz (DB) e a dimensão da constante de Avogadro (DA) possibilitou o estabelecimento de 2 correspondências entre elementos, 1 correspondências entre atributos, 1 relação de primeira ordem e 1 relação de segunda ordem.

Similar a comparação da seção anterior, podemos dizer que há correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e, também, conectividade em paralelo. A sistematicidade existe, mas é baixa, uma vez que somente uma relação que possui outras relações como predicados ( ${}^2R_1$ ) foi mapeada. Além disso, conforme nosso mapeamento, o foco dela está nessa relação  ${}^2R_1$  ao enunciar que para representar a constante de Avogadro em uma dimensão mais concreta, comparou-a com o consumo de um mol de arroz pela população mundial, conforme

ilustrado na Figura 21: “Um mol de grãos de arroz corresponde ao consumo mundial de arroz por cerca de 4 milhões de anos.” (LISBOA et al., 2016, p. 247). No entanto, como o seu domínio base comparado não possui certa concretude, ou seja, é algo mais abstrato, consideramos que essa comparação é uma abstração e não uma analogia.

Quanto à similaridade semântica, podemos afirmar que ela foi parcialmente contemplada, uma vez que nem todos os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares. Por exemplo,  $E_1$  e  $E_2$  atendem à similaridade semântica, pois temos em  $E_1$  grãos de arroz (DB) sendo relacionadas a entidades elementares (DA) e; em  $E_2$  um mol de arroz (DB) em correspondência com um mol de entidades elementares (DA). Porém, quando analisamos o atributo  $A_1$  verificamos uma inconsistência semântica, pois no DB temos a correspondência “tempo de consumo” como medida de quantidade de tempo e no DA “dimensão” como extensão de um número elevado. Essa inconsistência se repete na relação  ${}^2R_1$ .

A análise da adequação pragmática dessa comparação, pode ser considerada semelhante à da seção anterior (5.1.6.2), pois ela foi estabelecida dentro do mesmo subtópico de conteúdo. Assim, embora essa comparação atenda parcialmente a similaridade semântica, ela é estruturalmente consistente e adequada pragmaticamente dentro do seu contexto de aplicação no livro didático. Portanto, se desenvolvida de maneira a levantar esse aspecto de que a constante de Avogadro é um número muito elevado, pode favorecer as possibilidades de inferências por parte dos estudantes.

#### **5.1.6.4 Comparação entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”**

Esta comparação foi estabelecida entre o tempo necessário para contar um mol de moléculas de água (DB) e a dimensão da constante de Avogadro (DA). Os autores tiveram a provável intenção de oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da dimensão do número de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ). A Figura 22 apresenta a comparação do Livro D e o Quadro 24 o seu mapeamento estrutural.

Figura 22 - Abstração entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”, livro D.

Para ter uma ideia do tamanho do número representado pela constante de Avogadro, vamos calcular quanto tempo demoraria para “contar” as moléculas de água em um mol de água (18,0 g), o que equivale, aproximadamente, ao volume de duas colheres das de sopa.

>1º Supondo que vocês contem 1 molécula por segundo, calculem:

- Quantas moléculas vocês contariam em uma hora?
- Quantas moléculas vocês contariam em um dia?
- Quantas moléculas vocês contariam em um ano?
- Quanto anos vocês demorariam para contar as  $6,02 \cdot 10^{23}$  moléculas existentes em 1 mol (18,0 g) de água?

Se vocês calcularam corretamente, terão encontrado um número que ainda não faz sentido, algo como 19 quatrilhões de anos. Ou seja, se vocês “tivessem começado a contar” quando o planeta Terra se formou, há cerca de 4,6 bilhões de anos, estariam longe, mas muito longe mesmo, de terminar essa contagem.

Fonte: Mortimer & Machado (2016, p. 236).

Quadro 24 - Mapeamento estrutural da abstração entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”, livro D.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Moléculas de água	$E_1$ ←————→	Entidades elementares (átomos, moléculas)
Um mol de água	$E_2$ ←————→	Um mol de entidades elementares
Tempo para contar moléculas de água	$A_1(E_1)$ ←————→	Dimensão de entidades elementares (Constante de Avogadro)
Um mol de água contém $6,0 \times 10^{23}$ moléculas	$r_1(E_1, E_2)$ ←————→	Um mol de entidades elementares contém $6,0 \times 10^{23}$ entidades
O tempo necessário para contar um mol de moléculas de água é muito grande	$r_2(E_2, A_1)$ ←————→	A dimensão de um mol de entidades elementares é muito grande
O tempo necessário para contar quantas moléculas existem em $6,0 \times 10^{23}$ (1 mol) de água é de 19 quatrilhões de anos	${}^2R_1(r_1, r_2)$ ←————→	A dimensão de um mol de entidades elementares ( $6,0 \times 10^{23}$ entidades) equivale a aproximadamente 600 sextilhões de entidades elementares

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre o tempo necessário para se contar quantas moléculas existem em um mol de água (DB) e a dimensão do valor da constante de Avogadro (DA) possibilitou o estabelecimento de

2 correspondências entre elementos, 1 correspondências entre atributos, 2 relações de primeira ordem, 1 relação de segunda ordem.

A correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e a conectividade em paralelo foram estabelecidas, conforme o mapeamento acima. A sistematicidade existe, mas é baixa, uma vez que somente uma relação que possui outras relações como predicados ( ${}^2R_1$ ) foi mapeada. Ademais, como o seu domínio base comparado não possui certa concretude, ou seja, é algo mais abstrato, consideramos que essa comparação é uma abstração e não uma analogia.

Quanto à similaridade semântica, podemos afirmar que ela foi parcialmente contemplada, uma vez que nem todos os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares. Por exemplo, em  $E_2$ , atende à similaridade semântica, pois temos em  $E_2$  um mol de água (DB) em correspondência com um mol de entidades elementares (DA). Porém, quando analisamos o atributo  $A_1$  verificamos uma inconsistência semântica, pois no DB temos a correspondência “tempo” como medida de uma quantidade de tempo e no DA “dimensão” como extensão de um número elevado. Essa inconsistência se repete nas relações  $r_2$  e  ${}^2R_1$ .

Para analisar a adequação pragmática da analogia, é necessário resgatar o propósito contextual para qual a comparação foi construída no livro didático. Consideramos que o propósito contextual nesse caso foi o de oferecer uma perspectiva tangível para a dimensão no número de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ). Os autores reconhecem isso quando escrevem: “Para ter uma ideia do tamanho do número representado pela constante de Avogadro [...]” (Trecho Livro D, p.236) e, também, em outra sentença antes de começar a atividade, apontam: “[...] vamos realizar alguns cálculos para ter uma ideia da dimensão desse número.” (Trecho Livro D, p.236), confirmando o objetivo de elaboração da atividade.

Os autores não trazem explicitamente qual o domínio base e alvo da comparação, mas é possível perceber no fragmento abaixo, a tentativa de aproximação:

“Terão encontrado um **número que ainda não faz sentido**, algo como **19 quatrilhões de anos**. Ou seja, se vocês “tivessem começado a contar” quando o planeta Terra se formou, há cerca de 4,6 bilhões de anos, **estariam longe, mas muito longe mesmo, de terminar essa contagem.**” (Trecho do Livro D, p. 236 - grifos nosso)

Nesse trecho, ao dizer que o número encontrado na atividade não faz sentido, os autores estão querendo demonstrar a extensão da dimensão da constante

de Avogadro. Além do mais, acrescentam que caso tivéssemos começado a contar essas moléculas de água quando a Terra se formou, estaríamos muito longe de terminar essa contagem, o que está relacionado ao número extremamente grande que constitui a constante de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$  entidades elementares).

Assim, embora essa comparação atenda parcialmente a similaridade semântica, ela é estruturalmente consistente e adequada pragmaticamente dentro do seu contexto de aplicação no livro didático. Portanto, se desenvolvida de maneira a levantar esse aspecto de que a constante de Avogadro é um número muito elevado, pode favorecer possibilidades de inferências em uma atividade em sala de aula.

#### 5.1.6.5 Comparação entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”

Esta comparação é a segunda parte da atividade de investigação proposta por Mortimer & Machado (2016), conforme vimos na seção anterior. Ela foi estabelecida entre a quantidade de voltas ao redor da Terra por um mol de moléculas de água (DB) e a dimensão da constante de Avogadro (DA). Nesse caso, os autores, também, tiveram a provável intenção de oferecer uma perspectiva tangível para a compreensão da dimensão do número de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ). A Figura 23 apresenta a comparação do Livro D e o Quadro 25 o seu mapeamento estrutural.

Figura 23 - Abstração entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”, livro D.

>29 Suponham que vocês fossem capazes de dispor essas moléculas lado a lado ao longo de uma linha. Considerem que cada molécula de água seja uma esfera de aproximadamente  $10^{-10}$  m de diâmetro (isso é uma aproximação para facilitar os cálculos. Uma molécula de água não é esférica e é ligeiramente maior, já que cada ligação O—H mede, aproximadamente,  $0,96 \cdot 10^{-10}$  m, para uma molécula de água no estado gasoso). A partir desse dado, calculem e respondam:

- Quantas moléculas vocês seriam capazes de dispor em 1 m?
- Quantas moléculas vocês seriam capazes de dispor em 1 km?
- Considerando que a circunferência em torno da Terra, na linha do equador, mede aproximadamente 40 000 km, quantas voltas seria necessário dar em torno da Terra, no equador, para dispor todas as moléculas de água ao longo dessa linha?

Se vocês calcularam corretamente, terão encontrado um número ainda muito grande de voltas (algo próximo de 1,5 milhão) em torno da Terra.

Fonte: Mortimer & Machado (2016, p. 236).

Quadro 25 - Mapeamento estrutural da abstração entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”, livro D.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Moléculas de água	$E_1$ ←————→	Entidades elementares (átomos, moléculas)
Um mol de água	$E_2$ ←————→	Um mol de entidades elementares
Número de voltas em torno da Terra	$E_3$ ←————→	Dimensão da constante de Avogadro
Um mol de água contém $6,0 \times 10^{23}$ moléculas	$r_1(E_1, E_2)$ ←————→	Um mol de entidades elementares contém $6,0 \times 10^{23}$ entidades
O número de voltas em torno da Terra, para dispor, um mol de moléculas de água é muito grande	$r_2(E_2, E_3)$ ←————→	A dimensão de um mol de entidades elementares é muito grande
O número de voltas em torno da Terra, para dispor, um mol de moléculas de água é de aproximadamente 1,5 milhão de voltas	${}^2R_1(r_1, r_2)$ ←————→	A dimensão de um mol de entidades elementares ( $6,0 \times 10^{23}$ entidades) equivale a aproximadamente 600 sextilhões de entidades elementares

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre o número de voltas necessárias ao redor da Terra por um mol de moléculas de água (DB) e a dimensão do valor da constante de Avogadro (DA) possibilitou o estabelecimento de 3 correspondências entre elementos, 2 relações de primeira ordem, 1 relação de segunda ordem.

A correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e a conectividade em paralelo foram estabelecidas, conforme o mapeamento acima. A sistematicidade existe, mas é baixa, uma vez que somente uma relação que possui outras relações como predicados ( ${}^2R_1$ ) foi mapeada. Nessa comparação, o seu domínio base comparado, também, não possui certa concretude, ou seja, é algo mais abstrato, e, portanto, consideramos que essa comparação é uma abstração e não uma analogia.

Quanto à similaridade semântica, podemos afirmar que ela, também, foi parcialmente contemplada, uma vez que nem todos os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares. Por exemplo,  $E_2$  atende à similaridade semântica, pois temos em  $E_2$  um mol de água (DB) em correspondência com um mol de entidades elementares (DA). Porém, quando analisamos o  $E_3$  verificamos uma inconsistência semântica, pois no DB temos a correspondência “número de voltas” como medida de quantidade de voltas na Terra e no DA “dimensão” como extensão de um número elevado. Essa inconsistência se repete nas relações  $r_2$  e  ${}^2R_1$ .

Em partes, a análise da adequação pragmática já foi realizada na seção anterior, contudo, é possível verificar em um trecho na segunda parte da atividade, a afirmação da intenção dos autores em oferecer uma perspectiva tangível para a dimensão no número de Avogadro ( $6,0 \times 10^{23}$ ), quando trazem no final da atividade: “[...] terão encontrado um número ainda muito grande de voltas [...]” (Trecho Livro D, p. 236), confirmando que o número de voltas ao redor da Terra encontrado ainda é muito elevado (1,5 milhão de voltas), o que caracteriza a constante de Avogadro ser da ordem de 600 sextilhões.

Assim, conforme a abstração da seção anterior, essa comparação, também, é parcialmente similar semanticamente, porém é estruturalmente consistente e adequada pragmaticamente dentro do seu contexto de aplicação no livro didático. Portanto, se desenvolvida de maneira a levantar esse aspecto de que a constante de Avogadro é um número muito elevado, pode favorecer possibilidades de inferências em uma atividade em sala de aula.

#### **5.1.7 Comparação entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”**

Essa comparação foi encontrada em 3 livros didáticos (B, D e F – 50% dos livros analisados). Excluindo a comparação por contraste (seção 5.1.6.1) identificada em cinco dos livros didáticos, há que se destacar que essa comparação envolvendo uma receita culinária como domínio base foi a única que se repetiu entre os livros. Ela foi estabelecida entre a estequiometria das reações químicas (DA) e uma receita culinária para a preparação de um bolo (DB) com o objetivo de fornecer um contexto de aplicação e compreensão da lei de Proust e das relações estequiométricas em uma reação química a partir de uma receita de bolo. As Figura 24, 25 e 26 apresentam como a comparação foi abordada nos três livros didáticos diferentes (Livro B, D e F, respectivamente). E o Quadro 26 o seu mapeamento estrutural.

Figura 24 - Analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro B.

Você já tentou fazer um bolo? Se tentou, sabe que é preciso seguir uma receita que indica a proporção dos ingredientes e o modo de fazer.

**Receita de bolo simples**

**Ingredientes**

- 2 copos e meio de farinha
- 2 copos e meio de açúcar
- 1 colher de sopa de manteiga
- 1 copo de leite morno
- 4 ovos
- 1 colher de chá de fermento em pó

**Como fazer**

Bata as claras em neve e, em outro recipiente, bata o açúcar com as gemas e a manteiga. Adicione a farinha de trigo e o leite morno. Por último coloque o fermento e incorpore, aos poucos, as claras em neve à massa. Asse em forno preaquecido em uma assadeira redonda e previamente untada com manteiga e farinha de trigo.



Se você modificar a proporção de qualquer um dos ingredientes, vai obter um bolo diferente do esperado (mais seco, mais mole, mais duro, mais gorduroso, sem estrutura, etc.).

Considerando as diferenças entre a culinária e a Química, enfrentamos um problema semelhante quando provocamos a reação de substâncias para obter um produto: **as substâncias reagem e formam produtos numa proporção específica.**

Observe que o princípio do cálculo estequiométrico é o mesmo que o utilizado para fazer um bolo. Por exemplo, se para fazer um bolo precisamos de 4 ovos, para fazer dois bolos precisamos de quantos ovos? Se usarmos 2 copos de leite, de quantos copos de farinha vamos precisar? Veja a receita na página anterior e responda.

Fonte: Reis (2016, p. 46-47).

Figura 25 - Analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro D.

Nas palavras de Proust:

[...] um composto é um produto privilegiado ao qual a natureza confere proporções fixas [...].  
Devemos reconhecer, portanto, [...] que as características de um composto verdadeiro são invariáveis como a proporção entre seus elementos [...].

PROUST, Joseph Louis. J. de Phys., LXIII, 1806, 264 f. apud PARTINGTON, James Riddick. *A History of Chemistry*. London: MacMillan, 1954. v. 3. p. 650.



Sabe-se, hoje, que nem todas as substâncias compostas seguem a Lei de Proust, pois existem algumas para as quais as proporções entre os átomos podem variar. Para a maioria das substâncias com as quais lidamos em nosso cotidiano e para todas aquelas com as quais trabalharemos ao longo do nosso curso, no entanto, a Lei de Proust continua essencialmente válida e aplicável.

**Figura 8.7**  
Podemos encontrar a Lei de Proust em quase tudo que fazemos. Quando preparamos um bolo ou cupcakes coloridos, por exemplo, utilizamos essa lei para usar a quantidade exata de ingredientes para atingirmos o resultado desejado.

Fonte: Mortimer & Machado (2016, p. 232).

Figura 26 - Analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro F.



▲ Assim como os **ingredientes de um bolo** devem ser medidos em proporções ideais, os reagentes devem seguir relações estequiométricas corretas.

Ao se preparar um bolo, os ingredientes devem ser adicionados proporcionalmente, ou seja, não se pode retirar um ingrediente ou aumentar apenas um deles sem acrescentar os demais na mesma proporção. Isto é, se você aumenta ou diminui a quantidade de um, terá de fazê-lo também com os outros, na mesma proporção.

Da mesma forma, os cálculos químicos baseiam-se em relações de proporcionalidade.

Fonte: Santos & Mól, (coord.) (2016, p. 54-55) – Montagem com trechos copiados do livro digital.

Quadro 26 - Mapeamento estrutural da analogia entre “lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”, livro B, D e F.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Bolo	$E_1$	Produtos
Ingredientes	$E_2$	Reagentes
Preparação do bolo (cozimento)	$E_3$	Formação dos produtos (reação química)
Receita culinária	$E_4$	Estequiometria química
“Impurezas” presentes nos ingredientes	$E_5$	Impurezas presentes nos reagentes
Mistura dos ingredientes	$E_6$	Mistura dos reagentes
Quantidade de bolo produzida	$A_1(E_1)$	Quantidade de produtos formados
Quantidade de ingredientes	$A_2(E_2)$	Quantidade de reagentes
Grau de pureza dos ingredientes	$A_3(E_2)$	Grau de pureza dos reagentes
Rendimento do cozimento do bolo	$A_4(E_3)$	Rendimento da formação dos produtos
Excesso de ingredientes	$A_5(E_2)$	Excesso de reagentes
Aspecto da mistura dos ingredientes	$A_6(E_6)$	Aspecto da mistura dos reagentes
Essa condição não se aplica na preparação de bolos	$L_1:[A_7(E_3)]^*$	As reações reversíveis alcançam um estado de equilíbrio químico
O cozimento de bolos é sempre um processo endotérmico	$L_2:[A_8(E_3)]^{**}$	As reações químicas são processos endotérmicos ou exotérmicos (nem toda reação química é um processo endotérmico)

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Os ingredientes (E2) se transformam em bolo (E1) seguindo uma receita (E4) específica	$r_1(E_1, E_2, E_4)$ ←→	Os reagentes (E2) se transformam em produtos (E1) seguindo uma estequiometria (E4) específica
As quantidades de ingredientes (A2) a serem usadas para o cozimento do bolo (E3) são determinadas pela receita culinária (E4)	$r_2(E_3, E_4, A_2)$ ←→	As quantidades de reagentes (A2) a serem usadas para a formação dos produtos (E3) são determinadas pela estequiometria química (E4)
O grau de pureza dos ingredientes (A3 / E5) pode afetar o rendimento do cozimento do bolo (A4)	$r_3(E_5, A_3, A_4)$ ←→	O grau de pureza dos reagentes (A3 / E5) afeta o rendimento da formação dos produtos (A4)
Independentemente das quantidades de ingredientes (A2) misturados na preparação, ocorre o cozimento do bolo (E3)	$r_4(E_3, A_2)$ ←→	Independentemente das quantidades de reagentes (A2) misturadas para a reação, ocorre a formação dos produtos (E3)
As “impurezas” presentes nos ingredientes (E5) permanecerão misturados ao bolo cozido (E1)	$r_5(E_1, E_5)$ ←→	As impurezas presentes nos reagentes (E5) permanecerão misturados aos produtos formados (E1)
Macroscopicamente, durante a preparação do bolo (cozimento) (E3), o aspecto da mistura preparada se modifica (A6)	$r_6(E_3, A_6)$ ←→	Macroscopicamente, durante a formação dos produtos (reação química) (E3), o aspecto da mistura reacional se modifica (A6)
Ao variar as quantidades de ingredientes (A2) determinadas pela receita (E4), cozinha-se (E3) uma quantidade proporcional de bolo (A1)	${}^2R_1(A_1, r_2)$ ←→	Ao variar as quantidades de reagentes (A2) determinadas pela estequiometria (E4), em uma reação química (E3), forma-se uma quantidade proporcional de produtos (A1)
[Se as quantidades de ingredientes (A2) não estiverem de acordo com a receita (E4), após o cozimento do bolo (E3)] – r2, haverá excesso de ao menos um ingrediente (A5), que permanecerá misturado ao bolo cozido (E1)	${}^2R_2(E_1, A_5, r_2)$ ←→	[Se as quantidades de reagentes (A2) não estiverem de acordo com a estequiometria (E4), após a reação química (E3)] – r2, haverá excesso de ao menos um reagente (A5), que permanecerá misturado aos produtos formados (E1)
Nem todo ingrediente impuro afeta o rendimento do cozimento do bolo	$D_1:[r_3(E_5, A_3, A_4)]$ ←×→	Todo reagente impuro afeta o rendimento da formação dos produtos
Macroscopicamente, o cozimento de um bolo sempre altera o aspecto da mistura de ingredientes	$D_2:[r_6(E_3, A_6)]$ ←×→	Macroscopicamente, nem toda reação química altera o aspecto da mistura reacional
* - A7 é o código de um predicado descritivo das reações químicas (E3) que não tinha sido previamente mapeado e que não se aplica ao domínio base: a reversibilidade. ** - A8 é o código de um predicado descritivo do cozimento de bolo (E3) que não tinha sido previamente mapeado e que não pode ser transferido para o domínio alvo.		

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com o mapeamento estrutural praticamente exaustivo, apresentado no quadro 2, a comparação entre a estequiometria das reações químicas

(DA) e uma receita culinária para a preparação de um bolo (DB) possibilitou o estabelecimento de 6 correspondências entre elementos, 6 correspondências entre atributos relevantes desses elementos, 6 correspondências entre relações de primeira ordem e 2 correspondências entre relações de segunda ordem, além da abordagem de 2 diferenças alinháveis e de 2 limitações. Tais quantidades de correspondências evidenciam a riqueza dessa comparação.

Além disso, o mapeamento estrutural nos permite afirmar que essa comparação é estruturalmente consistente, uma vez que, entre os dois domínios, é possível verificar: (i) a correspondência um-a-um entre os elementos e os atributos desses elementos, não havendo dois ou mais elementos (ou atributos) em um domínio que corresponda a um mesmo e único elemento (ou atributo) no outro domínio; e (ii) a conectividade em paralelo entre os argumentos das 8 relações similares alinhadas – 6 de primeira ordem e 2 de segunda ordem. Essa conectividade pode ser verificada pela indicação dos códigos dos argumentos das relações enunciadas em ambos os domínios no Quadro 26.

O Quadro 26, também, revela o maior número de relações em correspondência sobre a quantidade de atributos mapeados, o que evidencia o foco relacional da comparação. Esse aspecto nos permite afirmar que a comparação entre a estequiometria das reações químicas e uma receita culinária de preparação de bolos se configura, de fato, como uma analogia. Considerando os contextos nos quais essa comparação foi apresentada e a nossa experiência docente, há que se destacar que a principal relação evocada nessa analogia é a  ${}^2R_1$ , que poderia ser enunciada da seguinte forma: assim como ao se variar as quantidades de ingredientes determinadas por uma receita cozinha-se uma quantidade proporcional de bolo, ao se variar as quantidades de reagentes determinadas pela estequiometria forma-se uma quantidade proporcional de produtos. Tal relação é designada como uma relação de segunda ordem ( ${}^2R_1$ ) por evocar uma outra relação de menor complexidade, que tinha sido previamente identificada no mapeamento – a relação  $r_2$ . Há que se considerar que essa mesma relação ( $r_2$ ) também se constitui como argumento da outra relação de segunda ordem mapeada ( ${}^2R_2$ ), que aborda a questão do excesso de reagentes misturados em quantidades não estequiométricas. Além disso, podemos dizer que a relação  $r_2$  é uma sutil variação de uma relação ainda mais fundamental – a relação  $r_1$ , que trata da proporção na qual reagentes se convertem em produtos.

A presença de duas relações de segunda ordem, embora indiretamente conectadas pela relação  $r_2$ , evidencia certa sistematicidade que favorece a compreensão do domínio alvo por meio da possibilidade de inferências feitas a partir do conhecimento sobre o domínio base. As outras relações de primeira ordem ( $r_3$ ,  $r_4$ ,  $r_5$  e  $r_6$ ) são possibilidades de abordagem que se configuram como predicados relacionais isolados, ou seja, não conectados entre si. Essas relações, em correspondência com o DB, abordam diferentes aspectos das reações químicas:  $r_3$  – o modo como o grau de pureza dos reagentes afeta o rendimento;  $r_4$  – a ocorrência independentemente das quantidades de reagentes misturados;  $r_5$  – a presença de impurezas mesmo após a ocorrência dos processos; e  $r_6$  – a alteração do aspecto da mistura reacional.

Ao analisar cada uma das correspondências, podemos verificar a existência de similaridade semântica tanto entre os elementos colocados em correspondência quanto entre os atributos e, principalmente, as relações. Essa similaridade semântica decorre do fato de ambos os domínios envolverem manipulação de substâncias materiais e fenômenos de mesma natureza. As correspondências  $E_1$  e  $E_2$ , por exemplo, envolvem entidades materiais concretas, semanticamente similares. A correspondência  $E_3$  envolve dois processos e a correspondência  $E_4$ , por sua vez, trata de “orientações” a respeito desses processos; a receita culinária é semanticamente semelhante à estequiometria química – ambas apresentam as proporções nas quais as entidades materiais devem ser misturadas para que os processos ocorram sem excessos e desperdícios. Sobre as relações colocadas em correspondência, também podemos afirmar sobre a similaridade semântica envolvida: praticamente todas as relações identificadas nos dois domínios são de natureza causal, ou seja, expressam alguma relação de causa e efeito. Em corroboração, as conectividades em paralelo dos argumentos semanticamente similares também favorecem a percepção da similaridade semântica de cada relação em correspondência, que por sua vez, contribuem para a interpretação da analogia e compreensão das relações estequiométricas das reações químicas.

Ainda, em relação ao mapeamento, encontramos duas diferenças alinháveis que julgamos serem pertinentes para abordagem em sala de aula, caso as correspondências para as quais elas estão alinhadas sejam exploradas: a diferença  $D_1$ , alinhada à semelhança entre a possibilidade do grau de pureza dos reagentes e dos ingredientes afetarem, respectivamente, o rendimento da reação química e o

cozimento do bolo; e a diferença  $D_2$ , alinhada à alteração macroscópica tanto da mistura reacional quanto da mistura dos ingredientes durante a ocorrência dos fenômenos descritos em cada domínio.

A respeito da primeira diferença alinhável, é importante considerar que, enquanto a diminuição do grau de pureza de reagentes necessariamente afeta o rendimento de uma reação química, no sentido de se produzir menos do que se espera, no caso do cozimento de bolos, uma variação no “grau de pureza” de alguns ingredientes não provocaria uma diminuição no rendimento de um bolo, no sentido de se produzir menos bolo do que o esperado. Por exemplo, suponha que um bolo seja feito com 100 g de açúcar refinado constituído por 30% de amido de milho. A menor massa real de açúcar empregada no preparo desse bolo não afetará, necessariamente, a quantidade de bolo preparada. O rendimento seria afetado, provavelmente, se o “grau de pureza”<sup>4</sup> do fermento em pó, por exemplo, fosse de apenas 70%.

Sobre a segunda diferença, consideramos que a mesma se constitui como uma oportunidade para que os estudantes compreendam (ou se lembrem) que há muitos fenômenos químicos que não envolvem modificações visíveis ou perceptíveis no sistema reacional. Essa diferença está alinhada à relação  $r_6$ , que apresenta como argumentos o elemento  $E_3$  e o atributo  $A_6$ .

Além dessas diferenças, o mapeamento estrutural também aponta para duas limitações da analogia: a primeira ( $L_1$ ) se configura como uma condição própria do domínio alvo – a reversibilidade das reações – que não se aplica no domínio base. Nesse caso, o código  $A_7$ , como foi apontado no quadro 26, foi atribuído a um novo predicado descritivo do domínio alvo que não tinha sido mapeado entre os atributos similares relevantes: a reversibilidade das reações químicas.

A segunda limitação ( $L_2$ ) se apresenta como um aspecto ou predicado descritivo do domínio base (a natureza endotérmica dos processos de cozimento) que não pode ser transferido para o domínio alvo, pois nem toda reação química é um processo endotérmico. Assim como na limitação  $L_1$ , o predicado descritivo do

---

<sup>4</sup> Empregamos o termo grau de pureza entre aspas sabendo que os fermentos em pó são misturas constituídas por vários componentes. Nesse sentido, ao empregar o termo grau de pureza, estamos nos referindo à porcentagem do fermento químico, como um todo, na mistura com outros componentes porventura adicionados.

processo de cozimento de bolos, apresentado como argumento da limitação  $L_2$ , foi identificado com um novo código –  $A_8$ .

Há que se dizer que o mapeamento apresentado no Quadro 26, embora exaustivo, não esgota as possibilidades de correspondências de similaridade, tampouco esgota as diferenças alinháveis e as limitações da analogia. Contudo, consideramos que tanto as diferenças alinháveis mapeadas quanto as duas limitações são aspectos possíveis e relevantes de serem abordados na construção dessa analogia.

A respeito do modo como a analogia foi empregada em cada livro didático, primeiramente identificamos quais correspondência mapeadas foram abordadas pelos autores. Enquanto no livro D, por meio da legenda que acompanha uma fotografia de *cupcakes* coloridos (ver figura 25), os autores abordaram somente a relação  $r_2$  do domínio base: “utilizamos essa **lei [de Proust] para usar a quantidade exata de ingredientes** para atingirmos o resultado desejado” (Trecho do Livro D, p. 232 – grifos nossos), no livro B a analogia foi um pouco mais explorada.

No livro B, além da relação  $r_2$ : “a receita indica a proporção dos ingredientes [...]”; os autores também abordaram a relação  $r_1$  no domínio alvo: “**as substâncias reagem e formam produtos numa proporção específica**” (Trecho do Livro B, p. 46), e a relação de segunda ordem  $R_1$  “combinada” com a relação de primeira ordem  $r_4$ , ambas no domínio base: “Se você **modificar a proporção** de qualquer um dos **ingredientes**, vai **obter um bolo diferente** do esperado...” (Trecho do Livro B, p. 46 – grifos nosso). Entretanto, consideramos que teria sido mais adequado abordar cada uma dessas duas relações separadamente. Ou seja, abordar, primeiramente, a possibilidade de se variar as quantidades de ingredientes, no DB, e as de reagentes, no DA, que leva à geração de quantidades proporcionais de bolo (DB) e de produtos (DA). Em seguida, separadamente, dizer que, independentemente das quantidades misturadas em uma reação química, assim como seria na preparação de um bolo, há ocorrência de fenômenos (a reação e o cozimento). Nesse sentido, a relação de segunda ordem  ${}^2R_2$ , explorada em ambos os domínios, complementaria adequadamente a ideia – a de que o excesso de algum reagente, assim como o de algum ingrediente, permanece misturado aos produtos formados. Ademais, fazendo-se uma substituição dos elementos do DB por elemento do DA na sentença apresentada, obtêm-se uma proposição equivocada, do ponto de vista químico: “Se você modificar a proporção de qualquer um dos **reagentes**, vai

obter um **produto** diferente do esperado...” (Trecho do Livro B, p. 46 – grifos nosso). O correto poderia ser: “se você modificar a proporção de qualquer um dos reagentes, os produtos serão proporcionalmente formados, determinados pela quantidade do reagente limitante e misturados com o excesso dos outros reagentes”.

Ainda no livro B, encontramos uma breve menção ao reconhecimento das diferenças existentes entre uma receita culinária e a estequiometria das reações: “considerando as diferenças entre a culinária e a Química [...]” (Trecho do Livro B, p. 46). Contudo, os autores não especificam quais seriam essas diferenças, deixando a dedução a cargo dos estudantes e/ou do professor.

No livro F, os autores exploram, fundamentalmente, apenas as relações de primeira ordem  $r_1$  e  $r_2$ . Os dois trechos a seguir, copiados do livro F, apresentam marcações em negrito de enunciados referentes ao DB e ao DA, com indicações às relações mapeadas no Quadro 26:

“Ao se preparar um bolo, **os ingredientes devem ser adicionados proporcionalmente** [ $r_2$  no DB], ou seja, **não se pode retirar um ingrediente ou aumentar apenas um deles sem acrescentar os demais na mesma proporção** [ $r_2$  e  $r_1$  no DB]. Isto é, se você aumenta ou diminui a quantidade de um, terá de fazê-lo também com os outros, na mesma proporção” [reafirmações de  $r_2$  e  $r_1$  no DB].

“Assim como **os ingredientes de um bolo devem ser medidos em proporções ideais** [reafirmação de  $r_2$  no DB], **os reagentes devem seguir relações estequiométricas corretas**” [ $r_2$  no DA]. (Trechos do livro F, p. 54-55 – grifos nossos)

Há que se observar que nenhuma diferença ou limitação foi apontada pelos autores dos livros D e F. Como dissemos anteriormente, o reconhecimento da existência de diferenças ocorre apenas no livro B. Consideramos que a abordagem das diferenças alinháveis e das limitações das analogias deve ser, na medida do possível, planejada pelos professores e indicada pelos autores dos livros didáticos, a fim de evitar construções equivocadas sobre as entidades de interesse científico tomadas como objetos de compreensão, ainda que algumas diferenças ou limitações nos pareçam muito óbvias. A nossa experiência no ensino de Ciências, particularmente no ensino de Química, nos permite dizer que a aparente obviedade de algumas analogias pode se configurar como obstáculo ao compartilhamento de significados promovido em suas construções em sala de aula.

Por fim, considerando os propósitos contextuais decorrentes da nossa interpretação do modo como a analogia foi apresentada em cada livro didático, resta-nos dizer sobre a adequação pragmática em cada caso. Como já foi dito

anteriormente, o propósito contextual do emprego dado à analogia entre a estequiometria das reações químicas e uma receita culinária para a preparação de bolos, em pelo menos dois livros didáticos (o B e o F), basicamente, foi o de oferecer um contexto de aplicação similar, mais tangível, de modo a permitir a compreensão das relações fixas de proporcionalidade entre reagentes e produtos na ocorrência das reações químicas. Considerando as relações em correspondência abordadas, embora em número inferior ao das possibilidades identificadas no mapeamento estrutural, podemos afirmar que a analogia se encontra pragmaticamente adequada, ou seja, permite cumprir com tal finalidade.

Já no livro D, no qual a analogia foi empregada no contexto da apresentação da lei de Proust, consideramos que a mesma não se apresenta pragmaticamente adequada. Uma análise atenta sobre o contexto no qual a analogia foi apresentada nos permite perceber que os autores, com o propósito de oferecer um contexto para a compreensão da lei das proporções constantes na composição das substâncias, e não das reações químicas, apresentam como ilustração uma fotografia de *cupcakes* coloridos e fazem uma referência à necessidade de se utilizar “essa lei” para misturar as quantidades exatas de ingredientes para a preparação do produto desejado. No entanto, a baixa similaridade semântica entre “composição” e “preparação” parece comprometer a adequação pragmática da escolha dessa analogia para se referir às proporções fixas entre os elementos nas substâncias, uma vez que a ideia de composição estaria mais próxima a de um predicado descritivo das substâncias, enquanto a ideia da preparação dos *cupcakes* se caracteriza como um procedimento que leva à obtenção do produto. Ademais, teria sido mais adequado afirmar, na legenda da fotografia dos *cupcakes*, que “a composição do produto desejado envolve determinados ingredientes em uma proporção fixa”, e não que empregamos a lei de Proust “para usar a quantidade exata de ingredientes”, pois as quantidades podem variar proporcionalmente, de acordo com as orientações da receita culinária.

#### **5.1.8** Comparações reagente limitante e reagente em excesso

Comparações para o subtópico de conteúdo “reagente limitante e reagente em excesso” foram abordadas por 2 livros didáticos (B e E), porém com domínios bases diferentes. No livro B, uma comparação entre a proporção específica de dois tipos de flores (DB), já no livro E, os autores compararam a proporção específica entre

os ingredientes de um sanduíche (DB) e, em ambos, temos como DA: a proporção específica entre substâncias reagentes. Em seguida, apresentamos as ilustrações de como as comparações apareceram nos livros, os seus mapeamentos estruturais e sua análise estrutural, semântica e pragmática.

#### 5.1.8.1 Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”

Essa comparação foi estabelecida entre a proporção específica de dois tipos de flores para a fabricação de um buquê (DB) e a proporção específica de reagentes em uma reação química (DA). Observamos que a intenção da autora foi de oferecer um contexto de aplicação para compreensão dos conceitos de reagente limitante e reagente em excesso. Destacamos que essa comparação não foi apresentada dentro do capítulo do livro do estudante e, sim, na seção “manual do professor”, como uma sugestão de contexto de aplicação para explicar os conceitos de reagente limitante e reagente em excesso em uma reação química. A Figura 27 apresenta a comparação do Livro B e o Quadro 27 o seu mapeamento estrutural.

Figura 27- Analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”, livro B.

<p>Uma sugestão para explicar o que significa um reagente em excesso é iniciar a aula expondo na lousa a seguinte situação, que deverá desencadear uma discussão com seus alunos:</p> <p>Uma floricultura recebeu uma encomenda de buquês de flores formados por cinco margaridas e uma rosa vermelha. Se nessa floricultura há 440 margaridas e 92 rosas vermelhas, quantos buquês poderão ser formados?</p> <p>Deixe que os alunos proponham a solução dessa questão.</p> <p>Realizando o cálculo para verificar quantas rosas vermelhas são necessárias para formar os buquês:</p> <p>5 margaridas ————— 1 rosa vermelha          440 margaridas ————— x</p> $x = \frac{440 \cdot 1}{5} \Rightarrow x = 88 \text{ rosas vermelhas}$	<p>Assim, para 440 margaridas serão usadas 88 rosas vermelhas. Logo, a floricultura teria quatro rosas vermelhas “em excesso”, que não poderiam ser utilizadas.</p> <p>Então, se:          5 margaridas + 1 rosa vermelha → 1 buquê</p> <p>Portanto:          440 margaridas + 88 rosas vermelhas → 88 buquês</p> <p>É interessante colocar na lousa possíveis respostas dos alunos. No caso dessa situação, verifica-se que todas as margaridas são consumidas; portanto, representam o reagente limitante e o reagente em excesso são as rosas vermelhas. Discuta essa analogia com os alunos e apresente a eles os cálculos de reagente em excesso e reagente limitante de uma reação química.</p>
--	---

Fonte: Reis (2016, p. 311-312) – Montagem com trechos copiados do livro digital.

Quadro 27 - Mapeamento estrutural da analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”, livro B.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Margaridas (flor)	E <sub>1</sub>	Reagente A (substância)
Rosas vermelhas (flor)	E <sub>2</sub>	Reagente B (substância)
Buquê hipotético	E <sub>3</sub>	Produto hipotético

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Produção de buquês	$E_4$ ←————→	Reação química
Quantidade de margaridas	$A_1(E_1)$ ←————→	Quantidade do reagente A
Quantidade de rosas vermelhas	$A_2(E_2)$ ←————→	Quantidade do reagente B
Quantidade de buquês	$A_3(E_3)$ ←————→	Quantidade de produtos
Excesso de rosa vermelha	$A_4(E_2)$ ←————→	Excesso de reagente B
Com 5 margaridas e 1 rosa vermelha forma-se a quantidade de 1 buquê hipotético (proporção idealizada para a produção de buquês)	$r_1(A_1, A_2, A_3)$ ←————→	Com 5 mol do reagente A e 1 mol do reagente B forma-se 1 mol do produto hipotético (estequiometria da reação) A estequiometria de uma reação química não se constitui como um predicado descritivo do fenômeno, mas sim como um predicado relacional entre as quantidades das substâncias envolvidas
Com 5 margaridas e 2 rosas vermelhas forma-se 1 buquê e tem-se um excesso de 1 rosa vermelha (quantidades hipotéticas)	${}^2R_1(A_4, r_1)$ ←————→	Com 5 mol do reagente A e 2 mol do reagente B forma-se 1 mol de produtos e tem-se um excesso de 1 mol do reagente B (quantidades hipotéticas)
Para se produzir quantidades maiores do buquê hipotético sem haver desperdício de flores (excesso – $A_4$ ), as quantidades dos dois tipos de flores devem ser aumentadas mantendo-se a proporção idealizada	${}^2R'_1(A_4, r_1)$ ←————→	Para se formar quantidades maiores do produto sem haver desperdício de reagentes, as quantidades dos dois reagentes devem ser aumentadas mantendo-se a estequiometria da reação
Na produção de buquês a partir das quantidades disponíveis de flores (5 margaridas, e 2 rosas), a quantidade de margaridas é limitante, uma vez que para se produzir 1 buquê hipotético, necessita-se de 5 margaridas e 1 rosa vermelha	${}^2R_2(E_4, r_1)$ ←————→	Na reação química a partir das quantidades disponíveis de reagentes (5 mol de A e 2 mol de B), a quantidade do reagente A é limitante, uma vez que para se formar 1 mol do produto hipotético, necessita-se de 5 mol de A e 1 mol de B.
Na produção de buquês, as margaridas e as rosas não se transformam em uma nova flor	$D_1:[E_4]$ ←————×————→	Na reação química, os reagentes A e B se transformam em uma nova substância

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre a proporção de margaridas e rosas vermelhas para a formação de buquês (DB) e a proporção entre substâncias reagentes para formação de produtos (DA) possibilitou o estabelecimento de 4 correspondências entre elementos, 4 correspondências entre

atributos, 1 relações de primeira ordem, 3 relações de segunda ordem e 1 diferença alinhável.

O mapeamento permite afirmar que ela é estruturalmente consistente, uma vez que, a correspondência um-a-um entre os elementos e atributos e a conectividade em paralelo foram estabelecidas. A sistematicidade está demonstrada no sistema de relações conectados, ou seja, existe relação de segunda ordem que englobam relações de primeira ordem ( ${}^2R_1$ ,  ${}^2R'_1$  e  ${}^2R_2$ ). Apesar do mapeamento não apresentar uma relação de ordem superior o que aumentaria a sistematicidade da analogia, podemos inferir que o foco da comparação é relacional, já que a intenção da autora é enunciar, principalmente, a relação de segunda ordem  ${}^2R_2$ . Isso nos permite afirmar que ela se configura como uma analogia.

Além disso, o mapeamento permite inferir que os predicados dos elementos, atributos e relações são semanticamente similares, uma vez que os significados propostos nos predicados são semelhantes. Por exemplo, em  $E_1$  e  $E_2$  temos no DB a margaridas e rosas (tipos de flores) e em correspondência no DA temos reagente A e reagente B (tipos de substâncias). Em  $E_3$  o buquê como DB e o produto como DA, ambos sendo formados a partir de um procedimento.

No mapeamento estrutural foi abordada uma diferença alinhável, que julgamos pertinente que os professores evidenciem em sala de aula. Ela está relacionada ao elemento  $E_4$  (produção de buquês – DB; reação química – DA) e deve ser ressaltada, pois na produção de buquês não é possível ver a transformação das margaridas e rosas em outros tipos de flores e em uma reação química sempre ocorre a transformação de substâncias reagentes nas substâncias produtos. Destacamos que essa mesma diferença alinhável ocorreu em mapeamentos estruturais de outras analogias anteriores, pois é desafiador encontrar um domínio familiar que ocorra algum processo similar ao da transformação da matéria, como nas reações químicas.

Para analisar a adequação pragmática da analogia, consideramos o propósito contextual para qual a analogia foi construída no livro didático, ou seja, oferecer um contexto para a compreensão dos conceitos de reagente limitante e reagente em excesso a partir da relação de proporcionalidade das entidades do DB. Ao comparar a quantidade de correspondências entre o mapeamento estrutural e as inferências apresentadas no trecho do livro didático, observamos uma quantidade menor de possibilidades. No entanto, o livro aborda parcialmente a relação de ordem superior  ${}^2R_1$  e  ${}^2R_2$ , quando o autor traz o trecho:

...verifica-se que todas as **margaridas** são consumidas: portanto, **representam o reagente limitante [R<sub>2</sub>]** e o **reagente em excesso são as rosas vermelhas [R<sub>1</sub>]. Discuta essa analogia** com os alunos e apresente a eles os cálculos de reagente em excesso e reagente limitante de uma reação química. ” (Trechos do livro B – grifos nossos)

Ressaltamos o reconhecimento da autora de que essa comparação se configura como uma analogia quando ela escreve “discuta essa analogia[...]”. Assim, ainda que, essa analogia tenha sido apresentada na seção do manual do professor, consideramos que ela se encontra pragmaticamente adequada, uma vez que é apresentada para o ensino do conceito de reagente limitante e reagente em excesso. Além do mais, ela é estruturalmente consistente com devido foco relacional, possui certa sistematicidade e atende à similaridade semântica.

#### 5.1.8.2 Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”

Essa comparação foi estabelecida entre a proporção específica de ingredientes para a produção de um sanduíche (DB) e a proporção específica de reagentes em uma reação química (DA). Observamos que a intenção dos autores foi de oferecer uma situação do cotidiano para a compreensão dos conceitos de reagente limitante e reagente em excesso. A Figura 28 apresenta a comparação do Livro e o Quadro 28 o seu mapeamento estrutural.

Figura 28 - Analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”, livro E.

## Reagente limitante

Para que você entenda o conceito de reagente limitante, vamos primeiro refletir sobre uma situação de seu cotidiano fazendo uma analogia, isto é, uma comparação, com os ingredientes de um sanduíche.

### Atividades

Suponha os seguintes produtos disponíveis em uma lanchonete:

- 8 pães do tipo baguete
- 5 tomates (≈ 20 fatias)
- 1 pé de alface (≈ 20 folhas)
- 1 kg de queijo

Imagine que os funcionários dessa lanchonete, ao montar sanduíches, devem seguir rigorosamente a proporção fixada pela direção do estabelecimento, de modo que em cada baguete haja:

- 2 folhas de alface
- 4 fatias de tomate
- 100 g de queijo

1. Quantos sanduíches iguais poderão ser feitos com os ingredientes disponíveis?
2. Que ingredientes ficarão sobrando?
3. Apesar de 8 baguetes estarem disponíveis, não será possível montar 8 sanduíches. Por quê?
4. Para utilizar todos os ingredientes disponíveis, o que deve ser providenciado? Especifique a quantidade.
5. Nessa situação, poderíamos dizer que o tomate é um ingrediente limitante. Por analogia, explique o que, para uma reação química, deve ser um reagente limitante.



#### Atenção!

Nesta atividade recorreremos a uma analogia. Ela é bem distante do que ocorre em uma transformação química.

Assim como na preparação de sanduíches a falta de um ou mais ingredientes pode nos impedir de montar todos os sanduíches de acordo com uma receita-padrão, também a falta de um reagente pode impedir que os demais participantes sejam totalmente consumidos em uma transformação química.

Como você sabe, as reações químicas envolvem proporções muito bem definidas. Com isso, se “faltar” um reagente, o outro não poderá ser totalmente consumido. A substância “em falta” é chamada de reagente limitante.

Quadro 28- Mapeamento estrutural da analogia entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”, livro E.

<b>Domínio Base</b>	<b>Correspondências</b>	<b>Domínio Alvo</b>
Ingrediente A	$E_1$ ←————→	Reagente A
Ingrediente B	$E_2$ ←————→	Reagente B
Sanduíche	$E_3$ ←————→	Produto
Preparação de sanduíche	$E_4$ ←————→	Formação de produtos
Receita	$E_5$ ←————→	Estequiometria
Quantidade de ingrediente A	$A_1(E_1)$ ←————→	Quantidade de reagente A
Quantidade de ingrediente B	$A_2(E_2)$ ←————→	Quantidade de reagente B
Excesso de ingrediente A	$A_3(E_1)$ ←————→	Excesso de reagente A
A quantidade de ingrediente A é proporcional a quantidade de ingrediente B	$r_1(A_1, A_2)$ ←————→	A quantidade de reagente A é proporcional a quantidade de reagente B
A mistura dos ingredientes A e B forma um sanduíche	$r_2(E_1, E_2, E_3)$ ←————→	A mistura dos reagentes A e B forma o produto
A preparação de um sanduíche segue uma receita padrão	$r_3(E_4, E_5)$ ←————→	A formação de produto em uma reação química segue uma estequiometria
A quantidade de ingredientes A e B deve seguir uma receita padrão para a preparação de um sanduíche	${}^2R_1(r_1, r_3)$ ←————→	A quantidade de reagentes A e B deve seguir uma estequiometria para a formação de produtos em uma reação química
Na preparação de um sanduíche de acordo com uma receita padrão, se tem um excesso de ingrediente A, o ingrediente B será o limitante	${}^2R_2(A_3, r_3)$ ←————→	Na formação de produto de acordo com a estequiometria da reação química, se há um excesso do reagente A, o reagente B será o limitante
Na preparação de um sanduíche, os ingredientes não se transformam em outras substâncias	$D_1:[E_4]$ ←————×————→	Na formação de produtos, os reagentes se transformam em outras substâncias
Uma quantidade inferior de ingrediente A ou B não permite a preparação do sanduíche de acordo com a receita padrão	$D_2:[{}^2R_1(r_1, r_3)]$ ←————×————→	Uma quantidade inferior do reagente A ou B permite a formação de produtos em proporção menor de acordo com a estequiometria da reação
Dependendo da quantidade de ingredientes disponíveis, pode-se criar sanduíches diferentes da receita padrão	$D_3:[{}^2R_1(r_1, r_3)]$ ←————×————→	Independentemente da quantidade de reagentes, o tipo de substâncias formada nos produtos não variam

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

De acordo com esse mapeamento estrutural, a comparação entre a proporção de ingredientes para formação de um sanduíche (DB) e a proporção entre substâncias reagentes para formação de produtos (DA) possibilitou o estabelecimento

de 5 correspondências entre elementos, 3 correspondências entre atributos, 3 relações de primeira ordem, 2 relações de segunda ordem e 3 diferenças alinháveis.

O mapeamento permite afirmar que a comparação é estruturalmente consistente, uma vez que, entre os domínios é possível verificar as três condições estruturais: 1ª) correspondência um-a-um entre os elementos e atributos, não havendo, por exemplo, dois ou mais elementos (ou atributos) em um domínio que corresponda a um mesmo e único elemento (ou atributo) no outro domínio; 2ª) conectividade em paralelo entre os argumentos das relações, que pode ser verificada pela indicação dos códigos dos argumentos das relações enunciadas em ambos os domínios no quadro 28; 3ª) a sistematicidade, demonstrada no sistema de relações conectados, ou seja, existe relação de segunda ordem que englobam relações de primeira ordem. Além disso, o mapeamento evidenciou uma maior quantidade de relações que atributos mapeados, o que sugere que o foco da comparação é relacional, o que nos permite afirmar que ela se configura como uma analogia.

Há que se destacar que a principal relação evocada nessa analogia é a  ${}^2R_1$ , que pode ser enunciada da seguinte forma: “assim como na preparação de um sanduíche os ingredientes devem seguir uma receita padrão, em uma reação química os reagentes devem seguir uma estequiometria para a formação de produtos”. Essa relação é designada como uma relação de segunda ordem por evocar pelo menos uma relação de primeira ordem ( $r_1$  e  $r_3$ ).

Ao analisar cada uma das correspondências, podemos verificar a existência de similaridade semântica tanto entre os elementos e atributos colocados em correspondência, quanto nas relações de primeira ordem e segunda ordem. Isso decorre do fato de ambos os domínios envolverem procedimentos, no domínio base a combinação de ingredientes para a produção de sanduíches e no domínio alvo a combinação de reagentes para formação de produtos. As correspondências  $E_1$  e  $E_2$ , por exemplo, envolvem os elementos ingredientes e substâncias reagentes. As correspondências de atributos  $A_1$  e  $A_2$  demonstram quantidade desses ingredientes e reagentes. As relações, também, são semanticamente semelhantes, pois elas são de natureza proporcional, uma vez que, conforme expressado anteriormente a proporção entre os ingredientes para formação de um sanduíche é comparada a proporção de reagentes para formação de produtos em uma reação química.

No mapeamento estrutural foram abordadas três diferenças alinháveis, que julgamos pertinentes que os professores evidenciem em sala de aula. Duas delas

estão relacionadas diretamente a correspondência considerada mais relevante do mapeamento, a  ${}^2R_1$ , uma vez que uma quantidade inferior de ingredientes não permite a formação de sanduíches de acordo com a receita padrão, já em uma reação química, mesmo uma quantidade pequena de cada reagente faz com que haja a formação de produtos seguindo a estequiometria da equação química ( $D_2$ ) e; a combinação dos ingredientes podem formar diferentes sanduíches (caso não siga a receita padrão), já em uma reação química, os reagentes devem sempre se combinar de forma estequiométrica formando determinados produtos que variam de acordo com o tipo de reação química ( $D_3$ ). Ademais, enunciamos mais uma diferença alinhável que está relacionada a transformação da matéria, já mencionada em outras analogias, ou seja, a produção de sanduíches não faz com que os ingredientes se transformem em outras coisas, já nas reações químicas, as substâncias reagentes sempre se transformam em novas substâncias (produtos) ( $D_1$ ). Os autores não discutem essas diferenças com detalhes, mas reconhecem que elas existem, conforme o fragmento: “Nessa atividade recorreremos a uma analogia, Ela é **bem distante do que ocorre em uma transformação química.**” (Trechos do livro E, p. 201 – grifos nossos). Ao reconhecerem que ela é “bem distante do que ocorre em uma transformação química”, podemos inferir que os autores estão falando, principalmente, da diferença alinhável  $D_1$ , pois como já mencionado na preparação de um sanduíche não ocorre a transformação da matéria como em uma reação química.

Para analisar a adequação pragmática da analogia, é necessário resgatar o propósito contextual para qual a analogia foi construída no livro didático. Os autores tiveram a intenção de oferecer uma situação do cotidiano para a explicação do conceito de reagente limitante e reagente em excesso a partir da proporção entre ingredientes de um sanduíche, conforme ilustrado na Figura 28, no trecho “ para que você entenda o conceito de reagente limitante, vamos primeiro refletir sobre uma **situação de seu cotidiano fazendo uma analogia...**” (Livro E, p. 201 – grifos nossos). Destacamos que os autores, nesse trecho, reconhecem que vão realizar uma analogia para explicar um conceito da estequiometria.

Ademais, ao comparar a quantidade de correspondências entre o mapeamento estrutural e as inferências apresentadas no trecho do livro didático, observamos uma quantidade menor de possibilidades. No entanto, o livro aborda parcialmente as relações de segunda ordem  ${}^2R_1$  e  ${}^2R_2$ , quando o autor traz o trecho:

“Assim como na preparação de um sanduíche **a falta de um ou mais ingredientes pode nos impedir de montar todos os sanduíches de acordo com uma receita-padrão**, também, **a falta de um reagente pode impedir que os demais participantes sejam totalmente consumidos em uma transformação química.**

Como você sabe, **as reações químicas envolvem proporções muito bem definidas**. Com isso, se “faltar” um reagente, o outro não poderá ser totalmente consumido. **A substância “em falta” é chamada reagente limitante.**” (Trechos do livro E, p. 201 – grifos nossos)

Quando os autores inferem que a falta de um ingrediente pode impedir de montar um sanduíche seguindo uma receita padrão e que a falta de um reagente pode impedir que as substâncias sejam consumidas totalmente, eles estão enunciando parcialmente a relação  ${}^2R_2$ , pois indiretamente estão relatando o conceito de reagente limitante e reagente em excesso. No segundo parágrafo do trecho acima, eles deixam isso mais evidente ao dizer que as reações envolvem proporções bem definidas, ou seja, seguem uma estequiometria ( ${}^2R_1$ ) e, que a substância “em falta” é chamada de reagente limitante (novamente parte de  ${}^2R_2$ ).

Além disso, os autores evidenciam o DB na atividade proposta, quando escrevem:

“Nessa situação, poderíamos dizer que **o tomate é um ingrediente limitante**. Por analogia, **explique o que, para uma reação química, deve ser um reagente limitante.**” (Trecho do livro E, p. 201 – grifos nossos)

Observamos que eles deixam claro que o tomate é um ingrediente limitante, ou seja, na atividade proposta, o tomate é o ingrediente que está “em falta” para a produção de mais sanduíches. Em seguida, eles pedem para o estudante explicar o que deve ser um reagente limitante em uma reação química, de acordo com essa analogia estabelecida por eles.

Assim, consideramos que a analogia se encontra pragmaticamente adequada, uma vez que é apresentada dentro do conceito de reagente limitante e reagente em excesso e evidencia em sua proposta trechos tanto do domínio base quando do domínio alvo da analogia, o que pode fornecer possibilidades amplas de inferências em uma atividade em sala de aula. Ademais, a analogia é estruturalmente consistente, apresenta foco relacional, possui certa sistematicidade e é semanticamente similar.

### 5.1.9 Análise das comparações no contexto da estequiometria nos livros PNLD/2018

Na tentativa de simplificar os dados das seções anteriores de modo a tornar o estudo mais explícito e compreensível, fizemos um resumo dos principais pontos observados durante a análise estrutural, semântica e pragmática das comparações.

Inicialmente, identificamos os subtópicos e os livros que apresentaram alguma comparação e qual o tipo de comparação neles apresentados, conforme resumido no Quadro 29.

Quadro 29 – Subtópicos da estequiometria que apresentaram alguma comparação, seu tipo e o livro didático.

Subtópico da Estequiometria	Quantidade de ocorrências	Quantidade de comparação	Tipo de comparação	Livros didáticos
Balanceamento de Equação Química	3	3	Metáfora Relacional, Analogia e Modelo*	A, F (2)
Dimensão atômica	1	1	Analogia	F
Massa atômica	1	1	Analogia	E
Massa Molar	1	1	Analogia	C
Quantidade de matéria enquanto grandeza física	5	5	Analogia, Abstração e Modelo*	C, D, E (2), F
Constante de Avogadro	9	5	Comparação por contraste, Analogia e Abstração	A, C (3), D (3), E, F
Lei de Proust	2	1	Analogia	B, D
Relações estequiométricas	1			F
Reagente em excesso e limitante	2	2	Analogia	B, E
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>17**</b>		
*Embora os modelos não sejam um tipo de comparação, eles foram apresentados como analogias nos livros				
**A quantidade total de comparações seriam 19, no entanto, como os modelos não são um tipo de comparação, temos no total 17 comparações encontradas nos livros				

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

O Quadro 29, apesar das 25 ocorrências apontadas anteriormente, apresenta 19 comparações distintas, devido a repetição em livros didáticos diferentes. Por outro lado, foram encontradas, para um mesmo subtópico de conteúdo, comparações envolvendo diferentes DB e DA. Destacamos os conteúdos referentes à constante de Avogadro e à quantidade de matéria, enquanto grandeza física; ambos apresentaram 5 comparações distintas. Assim, apesar do tópico constante de Avogadro ter apresentado um total de 9 ocorrências de comparações, a esse subtópico estão associadas 5 diferentes abordagens (1 comparação por contraste, 1

analogia e 3 abstrações), devido a repetição da comparação por contraste em cinco dos livros didáticos.

Entre as 19 comparações caracterizadas no Quadro 29, 16 foram classificadas de acordo com a TME: 11 analogias, 4 abstrações e 1 metáfora relacional. Apenas 3 foram classificadas em outras categorias: 1 categoria emergente (comparação por contraste), 1 modelo convencional e 1 modelo analógico; em função do não enquadramento de suas características em nenhum dos outros tipos de comparação previstos pelo referencial teórico. Há que se considerar o número de ocorrências encontradas para a categoria emergente – comparação por contraste: 5 ocorrências em cinco livros didáticos. Diferentemente das analogias e dos outros tipos de comparação, as comparações por contraste não estão focadas em correspondências de similaridade estabelecidas a partir de um domínio para se explicar outro, ou seja, os domínios das comparações por contraste não são tomados nem como base nem como alvo de compreensão, mas sim como entidades a serem contrastadas, com foco em suas diferenças.

Entre os resultados, considera-se que a maior porcentagem de comparações com foco em relações evidencia o caráter mais relacional e menos descritivo dos subtópicos da estequiometria tomados como alvos das comparações. Esse aspecto é corroborado pelo fato de não terem sido encontradas comparações de mera aparência. Constatamos, também, que as analogias não são o único tipo de comparação empregado como recurso para mediação didática; destacamos, entre os dados levantados, as abstrações, as ocorrências que envolveram uma comparação por contraste e a metáfora relacional.

Com o objetivo de comparar a análise estrutural das comparações encontradas nos livros didáticos, elaboramos o Quadro 30, com a intenção de verificar quais mapeamentos estruturais possibilitaram uma maior quantidade de relações de segunda ordem e de ordem superior. Ademais, de modo a confirmar sua consistência estrutural, similaridade semântica e adequação pragmática, elaboramos o Quadro 31, que resume os dados apresentados nas seções anteriores desse capítulo.

Quadro 30– Quantidade de correspondências mapeadas nas comparações de estequiometria identificadas nos livros do PNLD/2018.

Comparação	Quantidade de correspondências mapeadas entre o DB e o DA						
	Elemento	Atributo	Relação de 1ª ordem	Relação de 2ª ordem	Relação de ordem superior	Diferença alinhável	Limitação
Comparação entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”	-	-	-	-	-	-	-
Comparação explícita entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”	6	5	5	1	1	2	6
Modelo didático para o acerto de coeficientes estequiométricos	3	4	3	1	0	3	0
Comparação entre “dimensão atômica” e “dimensão da Terra”	2	2	1	0	0	0	0
Comparação entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja”	3	3	2	2	0	1	0
Comparação entre “massa molar” e “massa de frutas”	3	2	2	1	0	1	0
Comparação entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”	2	6	2	2	0	1	1
Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”	2	2	2	0	0	1	0
Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”	2	2	1	1	0	1	0
Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”	3	1	2	1	1	0	0
Comparação entre a “proporção entre as massas de átomos e moléculas” com a “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”	3	4	4	1	0	1	0
Comparação por contraste	-	-	-	-	-	-	-
Comparação entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”	2	1	1	1	0	0	0

Comparação	Quantidade de correspondências mapeadas entre o DB e o DA						
	Elemento	Atributo	Relação de 1ª ordem	Relação de 2ª ordem	Relação de ordem superior	Diferença alinhável	Limitação
Comparação entre “constante de Avogadro” e “consumo mundial de um mol de arroz”	2	1	1	1	0	0	0
Comparação entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”	2	1	2	1	0	0	0
Comparação entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”	3	0	2	1	0	0	0
Comparação entre “Lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”	6	6	6	2	0	2	2
Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”	4	4	1	3	0	1	0
Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”	5	3	3	2	0	3	0

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Quadro 31 – Síntese da análise estrutural, semântica e pragmática das comparações dos subtópicos de estequiometria encontradas nos livros do PNL D/2018.

Subtópico	Comparação	Análise Estrutural			Similaridade semântica	Adequação pragmática
		Correspondência um-a-um	Conectividade em paralelo	Sistematicidade		
1. Balanceamento de equação química	Comparação entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica

Subtópico	Comparação	Análise Estrutural			Similaridade semântica	Adequação pragmática
		Correspondência um-a-um	Conectividade em paralelo	Sistematicidade		
	Comparação explícita entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”	Existente	Existente	Mais elevada	Apresenta	Adequada
1. Balanceamento de equação química	Modelo didático para o acerto de coeficientes estequiométricos	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
4. Dimensão atômica	Comparação entre “dimensão Atômica” e “dimensão da Terra”	Existente	Existente	Inexistente	Apresenta	Adequada
5. Massa atômica	Comparação entre a “unidade: massa atômica” e a “unidade hipotética: gomo de laranja”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta	Adequada
7. Massa Molar	Comparação entre “massa molar” e “massa de frutas”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta	Adequada
8. Quantidade de matéria enquanto grandeza física	Comparação entre “quantidade de matéria” e “tamanho de bolinhas de poliestireno”	Existente	Parcial	Baixa	Apresenta parcialmente	Parcialmente adequada
	Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: quilograma”	Existente	Parcial	Inexistente	Apresenta parcialmente	Adequada
	Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade: ano”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta parcialmente	Adequada
	Comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol”	Existente	Existente	Mais elevada	Apresenta	Adequada
	Comparação entre a “proporção entre as massas de átomos e moléculas” com a “proporção entre as massas de bolinhas diferentes”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta	Adequada

Subtópico	Comparação	Análise Estrutural			Análise Semântica	Análise pragmática
		Correspondência um-a-um	Conectividade em paralelo	Sistematicidade		
9. Constante de Avogadro	Comparação por contraste	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
	Comparação entre “constante de Avogadro” e “folhas de papel sulfite”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta parcialmente	Adequada
	Comparação entre “constante de Avogadro” e “consumo mundial de um mol de arroz”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta parcialmente	Adequada
	Comparação entre “constante de Avogadro” e “tempo para contar moléculas de água”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta parcialmente	Adequada
	Comparação entre “constante de Avogadro” e “voltas na Terra por um mol de moléculas”	Existente	Existente	Baixa	Apresenta parcialmente	Adequada
10. Lei de Proust	Comparação entre “Lei de Proust e relações estequiométricas” e “receita culinária”	Existente	Existente	Mais elevada	Apresenta	Parcialmente adequada*
13. Relações estequiométricas						
17. Reagente limitante e reagente em excesso	Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “buquê de flores”	Existente	Existente	Mais elevada	Apresenta	Adequada
	Comparação entre “reagente limitante e em excesso” e “sanduíche”	Existente	Existente	Mais elevada	Apresenta	Adequada

\*No Livro D, a analogia não foi considerada pragmaticamente adequada ao subtópico de Lei de Proust.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No Quadro 31, pontuamos como existente ou inexistente se a comparação apresentava ou não correspondência um-a-um e conectividade em paralelo. No caso da sistematicidade, optamos por dizer: inexistente (quando não foram mapeadas relações de segunda ordem ou ordem superior), baixa (quando ocorreu apenas uma relação de segunda ordem) ou mais elevada (quando foi mapeada pelo menos uma relação de ordem superior ou quando foram mapeadas várias relações de segunda ordem). Para a análise da similaridade semântica, dizemos se apresenta ou apresenta parcialmente a similaridade entre os significados das correspondências mapeadas e para a adequação pragmática, se ela foi adequada dentro do contexto proposto ou inadequada de acordo com os trechos apresentados nos livros.

Observamos que as comparações que possibilitaram uma maior quantidade de relações mapeadas foram: 1<sup>a</sup>) Analogia “balanceamento de equação química” (5 relações de primeira ordem, 1 relação de segunda ordem e 1 relação de ordem superior); 2<sup>a</sup>) Analogia “receita de bolo” (6 relações de primeira ordem e 2 relações de segunda ordem); 3<sup>a</sup>) Analogia “buquê de flores” (1 relação de primeira ordem e 3 relações de segunda ordem); 4<sup>a</sup>) Analogia “sanduíche” (3 relações de primeira ordem e 2 relações de segunda ordem).

Essa quantidade de relações nos leva a inferir que as analogias relacionadas aos subtópicos “balanceamento de equação química” - 7 relações no total - e “Lei de Proust/Relações estequiométricas” – 8 relações no total - são as mais elaboradas, já que apresentaram uma quantidade maior de relações mapeadas comparada as outras duas analogias em destaque. Diante do exposto, e considerando o Quadro 31, que resume se essas analogias são consistentes estruturalmente, similarmente semânticas e se estão adequadas pragmaticamente, confirmamos que essas analogias se destacaram por serem mais sofisticadas em sua construção devido a quantidade e complexidade das relações estabelecidas entre o DB e DA.

Justificamos a não escolha da comparação entre a “unidade: mol” e a “unidade hipotética: miçamol” relacionada ao subtópico “quantidade de matéria enquanto grande física”, pois apesar de, também, ser considerada com uma sistematicidade mais elevada que as demais comparações, pois ela apresentou uma relação de ordem superior, ela, ainda, assim, apresentou poucas relações interconectadas se comparada as quatro analogias mencionadas acima. Além do mais, essa comparação pode ser compreendida como um processo de modelagem analógica.

## 5.2 Elaboração do modelo analógico

Nesta etapa propusemos a elaboração de um modelo analógico, a partir de uma comparação estruturalmente consistente e sistemática, que pudesse ser utilizada no ensino dos respectivos subtópicos de conteúdo para os quais a analogia havia sido proposta.

De acordo com o avaliado na seção anterior, concluímos que duas analogias se destacaram durante suas análises estruturais e, também, por apresentarem um número maior de relações mapeadas: 1ª) Analogia do balanceamento de equação química e 2ª) Analogia da receita culinária de um bolo. Inspirados pelas passagens textuais e ilustrações dos livros didáticos e, ainda, por apresentar relações de ordem superior, escolhemos a primeira analogia que estabelece a comparação entre uma balança de dois pratos (DB) e os coeficientes estequiométricos de uma equação química (DA) para desenvolver um modelo analógico. Ademais, utilizamos o critério de qual analogia seria possível fazer uma representação em um modelo concreto 3D que pudesse ser utilizado por docentes e discentes no estudo da estequiometria em sala de aula.

Conforme mencionamos no capítulo da metodologia, utilizamos como referencial teórico para o desenvolvimento do modelo analógico o “modelo de modelagem” de Justi & Gilbert (2016). Seguindo as etapas de criação, expressão, testes e avaliação, o modelo analógico “balança de equações” foi idealizado tendo-se como domínio representante uma balança de dois pratos e como domínio representado uma equação química, ou seja, utilizamos o recurso de uma balança para representar uma equação química (*Reagentes* → *Produtos*), ilustrado nas Figuras 29 e 30. Além disso, consideramos que a modelagem não possui uma visão única e, portanto, não há regras gerais na construção de modelos (JUSTI, 2015).

Figura 29 - Modelo analógico “balança de equações”: balança equilibrada.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Figura 30 - Modelo analógico “balança de equações”: balança desequilibrada.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

Na Figura 29 temos o modelo analógico “balança equilibrada”, ou seja, há a mesma quantidade de átomos representados do mesmo elemento (bolinhas de cores iguais) tanto no recipiente com a inscrição da letra “R” quanto no recipiente de

inscrição com a letra “P”, indicando o equilíbrio de massas da balança, assim como em uma equação química balanceada. Diferentemente, na Figura 30 temos a “balança desequilibrada”, indicando que não há quantidades iguais de átomos representados do mesmo elemento nos dois recipientes. Conforme mostrado na imagem, o recipiente “R” possui 4 bolinhas brancas e 2 vermelhas, já no prato “P” há 2 bolinhas brancas e 1 vermelha, de modo que a balança não mantém os recipientes (pratos) na mesma altura, sugerindo o seu desequilíbrio, assim como em uma equação química não balanceada.

Acreditamos que esse recurso visual, concreto e manipulável pode se constituir como um recurso mediacional auxiliar para o ensino de estequiometria em sala de aula, visto que professores podem utilizá-lo como uma ferramenta didática ao introduzir o conceito de balanceamento de equações químicas. Assim, antes de submetê-lo a uma análise empírica das suas potencialidades e limitações de seu uso por docentes em sala de aula, fizemos o mapeamento estrutural do modelo com a intenção de conhecer sua abrangência e limitações (Quadro 32).

Quadro 32 – Mapeamento estrutural do modelo analógico “balança de equações”.

<b>Modelo (Representante)</b>	<b>Correspondência</b>	<b>Entidade de interesse científico (Representado)</b>
Balança	E <sub>1</sub> ←————→	Equação Química
Caixa/prato com a inscrição “R”	E <sub>2</sub> ←————→	Lado esquerdo de uma equação química (lado dos reagentes)
Caixa/prato com a inscrição “P”	E <sub>3</sub> ←————→	Lado direito de uma equação química (lado dos produtos)
Inscrição de seta no “braço” da balança	E <sub>4</sub> ←————→	Seta da equação química
Esferas	E <sub>5</sub> ←————→	Átomos
Conjunto de esferas	E <sub>6</sub> ←————→	Moléculas
Inscrição que sinaliza o equilíbrio nas alturas dos pratos	L <sub>1</sub> : [E <sub>7</sub> ] ←————×————→	Não há elemento correspondente
Cores das esferas	A <sub>1</sub> (E <sub>5</sub> ) ←————→	Elementos químicos (tipos de átomos)
A seta inscrita no braço da balança é simples	A <sub>2</sub> (E <sub>4</sub> ) ←————→	A seta das equações químicas irreversíveis é simples
A seta inscrita no braço da balança apresenta sentido único	A <sub>3</sub> (E <sub>4</sub> ) ←————→	A seta das equações químicas irreversíveis apresenta sentido único
A seta inscrita no braço da balança é reta	A <sub>4</sub> (E <sub>4</sub> ) ←————→	A seta das equações químicas irreversíveis é reta

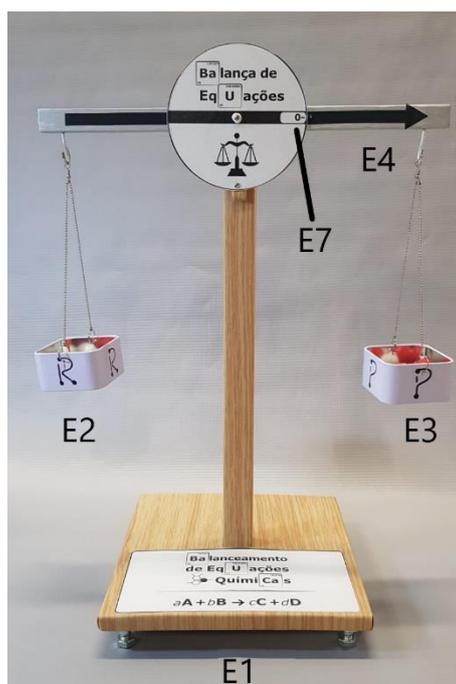
As esferas possuem massa	$A_5 (E_5)$ ←————→	Os átomos possuem massa
Os conjuntos das esferas possuem massa	$A_6 (E_6)$ ←————→	As moléculas possuem massa
Balança equilibrada	$A_7 (E_1)$ ←————→	Equação balanceada
Altura do prato R (determinada pela massa total das esferas contidas nesse prato)	$A_8 (E_2)$ ←————→	Massa total dos reagentes
Altura do prato P	$A_9 (E_3)$ ←————→	Massa total dos produtos
A altura do prato R é determinada pela massa total das esferas ou de conjuntos de esferas contidas nesse prato	$r_1 (A_8, A_5, A_6, E_2)$ ←————→	A massa total dos reagentes corresponde à massa total dos átomos, ou das moléculas representadas no lado esquerdo da equação química
A altura do prato P é determinada pela massa total das esferas ou de conjuntos de esferas contidas nesse prato.	$r_2 (A_9, A_5, A_6, E_3)$ ←————→	A massa total dos produtos corresponde à massa total dos átomos, ou das moléculas representadas no lado direito da equação química
Esferas de cores diferentes (e tamanhos) apresentam massas diferentes	$r_3 (A_1, A_5)$ ←————→	Átomos de elementos diferentes apresentam massas diferentes
Conjuntos de esferas de cores diferentes apresentam massas diferentes	$r_4 (A_1, A_6)$ ←————→	Moléculas formadas por diferentes elementos químicos apresentam massas diferentes
A quantidade total de esferas contidas no prato P da balança deve ser igual à quantidade total de esferas, com as mesmas cores, contidas no prato R	$r_5 (E_5, E_3, E_1, A_1, E_2)$ ←————→	A quantidade total de átomos representados no lado direito (produtos) da equação deve ser igual à quantidade total de átomos, dos mesmos elementos, representados no lado esquerdo (reagentes)
A altura do prato P, determinada pela massa total das esferas, ou dos conjuntos de esferas, contidas nesse prato da balança, deve ser igual à altura do prato R, determinada pela massa total de esferas, com as mesmas cores, contidas nesse prato	${}^2R_1 (r_2, r_1)$ ←————→	A massa total dos átomos, ou das moléculas representadas no lado direito (produtos) da equação química deve ser igual à massa total dos átomos ou moléculas, dos mesmos elementos químicos, representados no lado esquerdo (reagentes)
Quando a altura do prato P é igual à altura do prato R, a quantidade de esferas no prato P é igual a quantidade de esferas no prato R	${}^3R_2 ({}^2R_1, r_5)$ ←————→	Quando a massa total dos produtos é igual a massa total dos reagentes, a quantidade de átomos nos produtos é igual à quantidade de átomos nos reagentes
Quando os pratos atingem a mesma altura (quantidades iguais de esferas no prato R e no prato P), a balança encontra-se equilibrada	${}^4R_3 ({}^3R_2, A_7)$ ←————→	Quando as massas dos produtos e reagentes são iguais (quantidades iguais de átomos no produto e no reagente), a equação química encontra-se balanceada
Quando a balança está equilibrada, as alturas dos pratos P e R são iguais e a inscrição que sinaliza esse equilíbrio permanece no “zero”	$D1: [{}^4R_3 ({}^3R_2, A_7)]$ ←————×————→	Quando a equação química está balanceada, as massas totais dos produtos e dos reagentes são iguais, porém sem uma indicação visual na equação química

Fonte: Elaborado pela autora (2020), utilizando o software MAPES (mapes.cf).

O mapeamento estrutural permitiu estabelecer 23 correspondências de similaridades: 6 entre elementos, 9 entre atributos, 5 entre relações de primeira ordem, 1 entre relação de segunda ordem e 2 entre relações de ordem superior. Ademais, foram mapeadas 1 diferença alinhável e 1 limitação.

Com o objetivo de esclarecer o mapeamento e quais são os elementos no domínio representado, colocamos uma legenda na Figura 31, identificando no modelo cada um dos elementos.

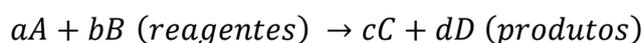
Figura 31 - Elementos do mapeamento do Quadro 32 identificados no modelo concreto.



Fonte: Arquivo pessoal (2020).

O elemento E5 (esferas) e E6 (conjunto de esferas) não foram indicados na figura acima, pois estão dentro dos recipientes, assim, cada esfera de tamanho e cor diferente representa um tipo de átomo diferente (por exemplo, branca para hidrogênio e vermelha para oxigênio) e o agrupamento de duas ou mais esferas, representa uma molécula.

Com a finalidade de estabelecer as correspondências entre esses elementos do modelo, temos que compará-lo a representação de uma equação química (que também está inscrita na base da balança). Convencionalmente, na Química, escrevemos uma equação química da seguinte forma:



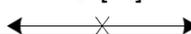
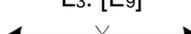
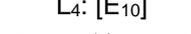
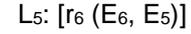
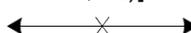
Observamos que o E1 (balança - DB) está representando toda uma equação química (DA), pois tem-se o E2 (inscrição R – reagentes), o E3 (inscrição P – produtos), E4 (inscrição da seta – seta da equação química), além de E5 (esferas - átomos) e E6 (conjunto esferas – moléculas), conforme já mencionado anteriormente. Isso evidencia a correspondência um-a-um de acordo com a TME. Os atributos, também, trazem essa correspondência: “cores das esferas” e “elementos químicos” (A1), “a seta inscrita no braço da balança é simples” e “a seta das equações químicas irreversíveis é simples” (A2), “a seta inscrita no braço da balança apresenta sentido único” e “a seta das equações químicas irreversíveis apresenta sentido único” (A3), “a seta inscrita no braço da balança é reta” e “a seta das equações químicas irreversíveis é reta” (A4), “as esferas possuem massa” e “os átomos possuem massa” (A5), “os conjuntos das esferas possuem massa” e “as moléculas possuem massa” (A6), “balança equilibrada” e “equação balanceada” (A7), “altura do prato R” e “massa total dos reagentes” (A8) e “altura do prato P” e “massa total dos produtos” (A9). Além disso, a conectividade em paralelo foi estabelecida, conforme os argumentos de cada relação mapeada no quadro 32.

Podemos afirmar, também, que há similaridade semântica entre os significados das correspondências, como já evidenciado nos elementos e atributos acima. Essa similaridade se estende as relações de primeira ordem, segunda ordem e ordem superior. Por exemplo, em  $r_1$  e  $r_2$  temos a proporcionalidade entre a altura dos pratos e a massa contida deles (DB) em associação com a proporcionalidade entre a massa dos reagentes e a massa dos seus átomos (DA). As relações  $r_3$  e  $r_4$  enunciam que assim como no modelo esferas e conjunto de esferas de cores diferentes apresentam massas diferentes, em uma equação química átomos e moléculas de elementos diferentes apresentam massas diferentes. Em  $r_5$ , há a relação no DB de que a quantidade total de esferas de uma mesma cor contida em um dos pratos deve ser igual à quantidade dessa mesma cor contida no outro prato, já no DA a quantidade total de átomos de um mesmo elemento químico nos reagentes deve ser igual à quantidade total de átomos desse elemento nos produtos. Na relação de segunda ordem  ${}^2R_1$ , e nas relações de ordem superior ( ${}^3R_2$  e  ${}^4R_3$ ), temos a construção da principal relação que o modelo balança de equações permite estabelecer, que é a igualdade nas alturas dos pratos no DB que permite concluir que a massa dos reagentes e produtos são iguais no DA (equação química).

O mapeamento permitiu que uma diferença alinhável ( $D_1$ ) fosse estabelecida entre o representante e o representado. Ela associa que na “balança de equações”, quando a altura dos pratos se iguala, há uma inscrição que sinaliza esse equilíbrio, por outro lado, em uma equação química quando as massas dos reagentes e dos produtos se igualam não existe essa indicação visual. Diante dessa análise, mapeamos a limitação ( $L_1$ ) que indica que no DB há uma inscrição que sinaliza o equilíbrio nas alturas dos pratos e no DA não há elemento correspondente.

O modelo “balança de equações” foi planejado de modo a superar algumas limitações que a analogia da balança de dois pratos e o acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química apresentou. As limitações mapeadas na analogia, foram:

Quadro 33 – Limitações da analogia entre “acerto de coeficientes estequiométricos” e “uma balança de dois pratos”.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Ponteiro da balança	$L_1: [E_7]$ 	<i>Não há elemento correspondente</i>
<i>Não há elemento correspondente</i>	$L_2: [E_8]$ 	Seta da equação química
<i>Não há elemento correspondente</i>	$L_3: [E_9]$ 	Átomos
<i>Não há elemento correspondente</i>	$L_4: [E_{10}]$ 	Moléculas
<i>Não há relação correspondente no domínio base</i>	$L_5: [r_6 (E_6, E_5)]$ 	Os elementos químicos presentes na composição dos produtos são os mesmos elementos presentes na composição dos reagentes
<i>Não há relação correspondente devido à ausência de correspondências para os elementos <math>E_9</math> e <math>E_{10}</math></i>	$L_6: [r_7 (A_3, E_9, E_{10}, E_5, E_6)]$ 	O acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química implica em igualar o número total de átomos de cada elemento químico representado no lado dos reagentes com o número total de átomos de cada elemento químico representado no lado dos produtos

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Conforme o quadro 33 e o mapeamento do quadro 32, podemos perceber que a limitação  $L_2$  foi contemplada no modelo, pois há a indicação da seta no “braço da balança”, a limitação  $L_3$  e  $L_4$ , também, foram superadas, pois agora temos esferas e conjuntos de esferas para representar os átomos e as moléculas. E a limitação  $L_5$  está compreendida, além das esferas e do conjunto de esferas, com a relação de ordem superior  ${}^3R_2$ , que diz que quando a altura dos pratos se igualam, é porque há a mesma quantidade de cada esfera em ambos os pratos, ou seja, é possível

visualmente conferir a quantidade de átomos de cada elemento químico presente em cada lado da equação química olhando as esferas em cada prato da balança. Isso, também, implica na limitação L<sub>6</sub>, pois a partir dessa observação, os estudantes podem prever o acerto dos coeficientes estequiométricos das equações químicas.

Assim, identificamos que a maioria dessas limitações foram contempladas no modelo “balança de equações”, exceto a limitação L<sub>1</sub> que diz que na balança há um ponteiro e no DA não há elemento correspondente. Essa mesma limitação se manteve no modelo construído, temos na balança (representante) a inscrição que sinaliza o equilíbrio da altura dos pratos, mas não há elemento correspondente na equação química (representado). Portanto, a limitação continuou, mas por outro lado criou uma “vantagem didática”, pois é por meio dela que conseguimos construir retoricamente argumentos que irão convencer os estudantes que o balanceamento de uma equação química implica no balanceamento de massas entre as substâncias reagentes e produtos que, conseqüentemente, infere no acerto dos coeficientes estequiométricos de uma equação química. Ressaltamos, ainda, que o modelo foi elaborado com o objetivo de representar equações químicas balanceadas e desbalanceadas e não uma reação química, ou seja, ele não foi concebido para representar o processo de transformação da matéria. Apesar disso, é possível observar de forma indireta que a transformação ocorre, pois os conjuntos de esferas (moléculas) colocados no prato “R” são diferentes dos conjuntos de esferas colocados no prato “P”.

A fim de comparar o mapeamento estrutural do modelo analógico e da analogia que o inspirou (seção 5.1.1.2), fizemos o Quadro 34 que indica a quantidade de correspondências estabelecidas em cada um.

Quadro 34 - Quantidade de correspondências da analogia “balança de dois pratos” e do modelo “balança de equações”

Comparação	Quantidade de correspondências mapeadas entre o DB e o DA						
	Elemento	Atributo	Relação de 1ª ordem	Relação de 2ª ordem	Relação de ordem superior	Diferença alinhável	Limitação
Analogia Balança de dois pratos	6	5	5	1	1	2	6
Modelo analógico Balança de equações	6	9	5	1	2	1	1

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observamos que o modelo apresentou uma quantidade similar, levemente superior, de correspondências de similaridades estabelecidas. Isso indica que o modelo tem uma sistematicidade ligeiramente maior que a analogia, uma vez que nele foi mapeada relação de ordem superior de maior nível hierárquico igual a quatro, enquanto na analogia tivemos relação de ordem superior de maior nível hierárquico igual a três. Diante de toda essa análise do modelo, a “balança de equações” pode ser considerada um modelo analógico, uma vez que foi fundamentado na analogia entre “o acerto de coeficientes estequiométricos de uma equação química e uma balança de dois pratos”, e pode se configurar como um recurso mediacional pragmaticamente adequado para o ensino de alguns subtópicos da estequiometria. Além disso, a construção do modelo permitiu superar a maioria das limitações que a analogia apresentava, de acordo com os mapeamentos realizados.

Consideramos como abrangência do modelo todos os subtópicos de conteúdo da estequiometria que é possível abordar com a utilização do recurso. Assim, diante do mapeamento estrutural do Quadro 32 e da nossa experiência docente, consideramos que é possível tratar os seguintes temas: 1º) balanceamento dos coeficientes de uma equação química, 2º) lei da conservação de massa (Lei de Lavoisier), 3º) reagente em excesso e limitante e 4º) proporções estequiométricas.

Desse modo, para avaliar esse e outros modelos, eles foram apresentados a professores de Química da EPTNM com o objetivo de analisar a abrangência verificada no mapeamento, suas potencialidades e suas limitações em eventuais situações de uso.

### **5.3 Apresentação de modelos para professores de Química**

Na terceira etapa da pesquisa, apresentamos modelos para professores de Química da formação geral e técnica da EPTNM, do CEFET-MG, por meio de grupos focais, a fim de analisar suas percepções a respeito das potencialidades e limitações dos recursos mediacionais apresentados em eventuais situações de uso.

Em concordância com a metodologia, os recursos apresentados aos docentes foram dois modelos virtuais e dois modelos concretos e, em cada caso, um modelo convencional e um modelo analógico (Apêndices D, E e F). A seguir, apresentamos os resultados de acordo com as categorias determinadas no Quadro 9 (seção 4.3.1.1).

### 5.3.1 Primeira Sequência dos grupos focais

Nesse primeiro momento do grupo focal, tivemos a intenção de compreender aspectos gerais sobre a prática de ensino de conceitos e procedimentos da estequiometria, especialmente na EPTNM. Para isso, consideramos dois momentos: (1º) aspectos relacionados a prática de ensino de estequiometria (quais as dificuldades enfrentadas pelos alunos na percepção dos professores e as dificuldades em ensinar esse tópico de conteúdo na educação básica) e (2º) aspectos relacionados ao emprego de analogias e modelos no ensino de estequiometria (qual o repertório de analogia, modelos e modelos analógicos).

#### 5.3.1.1 Aspectos relacionados a prática de ensino de estequiometria

Buscamos nas falas dos docentes evidências que pudessem justificar nossa escolha de temática: a estequiometria, assim como, conhecer mais sobre a prática de ensino desse tópico de conteúdo na educação básica:

((09min46s)) você põe o nome estequiometria/ eles já têm assim/ essa travada né(!?); (professor 5)

((12min06s)) [...] eu acho que tá entre as mais difíceis/ para eles/ eles acham que a teoria atômica é mais simples do que isso {estequiometria} (Professor 6)

((12min36s)) não é o mais difícil {estequiometria}/ mas tá entre o mediano pro (sic) difícil/ (professor 5)

((14min18s)) [...] como a estequiometria é a parte mais central/ porque ela engloba tanto inorgânica/ físico-química e orgânica/ é uma coisa que eles têm que é muito difícil/ porque eles veem toda hora/ então/ eles têm que saber isso bem/ e ainda assim/ eles criam uma resistência tão grande que impossibilita eles absorverem conhecimento e pôr isso em prática; (Professor 6)

Nos fragmentos das falas acima, observamos que na percepção dos professores, eles consideram a estequiometria como um tópico de conteúdo de mediano a difícil pelos alunos, em concordância com o encontrado no estado da arte realizado por Santos & Silva (2013), que identificaram nos estudos analisados, que a estequiometria é considerada como de difícil aprendizagem para os estudantes.

Além disso, alguns autores abordam que a estequiometria é um tema central para diversos outros tópicos da Química e, por isso, suas dificuldades comprometem a aprendizagem em outros temas da disciplina, conforme infere Tristão, Defreitas-Silva & Justi (2008) ao dizerem “apesar de normalmente abordada como um tópico de ensino isolado, a estequiometria está presente em diferentes contextos do

ensino de Química”, confirmando o exposto pelos professores. Os participantes dos grupos focais também fizeram outras observações a respeito dessa concepção:

((07min06s)) [...] é um conteúdo que eu/ toda vez eu tô (sic) precisando dele/; (Professor 3)

((07min29s)) [...] de qualquer forma quando você vai lhe dar com química, você precisa de estequiometria; (Professor 3)

((16min53s)) [...] existem outros conteúdos que são igualmente difíceis ou até mais difíceis/ porém a estequiometria/ ela é um caminho para tantos outros conteúdos/ que às vezes ela/ torna mais difícil ainda a compreensão por exemplo de equilíbrio químico/ que é algo que eu lido muito com eles/ quando eles não entenderam bem estequiometria/ vão ter uma enorme dificuldade em equilíbrio/ maior ainda/ sabe (!?)/ então/ é.../ eu acredito que às vezes eu lido com situações que a dificuldade do aluno em equilíbrio está na verdade em estequiometria/ [...] (Professor 3)

Professor 3 enfatiza a necessidade da estequiometria para ensinar diversos outros assuntos da Química, assim como Santos & Silva (2013), ao afirmarem que ela é um conteúdo da Química fundamental, pois engloba a transição entre os três domínios da matéria: macroscópico, microscópico e representacional.

Além disso, alguns docentes acreditam que parte da dificuldade dos estudantes está na manipulação de cálculos matemáticos:

((08min03s)) [...] eu tenho que ensinar soluções/ dissociações./ enfim/ aí quando trás o número/ vem número pra essa ideia/ quanto que formou/ qual que é o teor/ isso é realmente/ a maior dificuldade deles/ então/ pureza/ determinar pureza de um sal pra eles assim/ é o caótico/ é o fim do mundo/; (Professor 7)

((08min46s)) os números sempre o pessoal tem receio muito grande/ [...] / nós temos que ensinar balanço de massa/ e o balanço de massa tem que ter./ o balanço envolve justamente a estequiometria quando tem reações químicas/ então/ quando não tem reação química/ você já tem que trabalhar as proporções/ e aí/ quando você inclui as reações química/ aí fica mais./ como um adicional de dificuldade/ [...] (Professor 6)

((10min44s)) [...] às vezes uma coisa que é simples/ porcentagem né(!?)/ eu falo com eles assim/ eu vou te dar 100 g de minério de ferro e nesse minério de ferro tem 50% de ferro/ eles viram pra mim e fala/ então é 50 g/ eles respondem/ eles entendem/ quando isso é passado./ é visto em uma equação/ quando é./ eu preciso de trabalhar com balanceamento e mostrar essa pureza depois de um cálculo estequiométrico/... (Professor 7)

((11min21s)) parece que eles se perderam/ eles esqueceram o que que é porcentagem / [...] (Professor 7)

Costa & Souza (2013) também identificaram essa particularidade durante sua pesquisa. Eles afirmam que a estequiometria está entre os assuntos que os alunos apresentam alguma dificuldade e ela pode ser tanto pelos cálculos ou pelas reações, já que os estudantes não conseguem, muitas vezes, balancear as reações e/ou realizar os cálculos estequiométricos. Gomes & Macedo (2007), da mesma

forma, levantaram em sua pesquisa que a matemática é considerada o maior entrave na aprendizagem da estequiometria.

Entretanto, destacamos que não é uma concepção unânime entre os participantes, conforme colocado por Professor 1 e Professor 4:

((36min58s)) [...] em questão da dificuldade/ eu antes achava que era matemática/ sempre achei que o problema dos meninos fosse a matemática/ e hoje eu já não acho mais que é a matemática/ [...] (Professor 4)

((37min34s)) [...] vocês sabem fazer conta/ vocês sabem fazer tudo/ o problema é que na hora que fala mol/ [...] o problema que eu vejo é esse bloqueio quanto a alguns termos que teoricamente não são comuns para eles/ [...] (Professor 4)

((38min20s)) [...] eu também já pensei que pudesse ter o problema com a matemática/ mas eu já vi tanto aluno bom travando em mol/ que eu já desconstruí isso completamente/ assim/ a matemática pode sim constituir mais um agravante no conteúdo de mol/ mas ela não é o problema; (Professor 1)

Ressaltamos que apesar de não consideraram a matemática como o principal problema na aprendizagem dos estudantes, os professores participantes da pesquisa reconhecem que essa inabilidade pode ser um agravante para aprender conceitos e procedimentos da estequiometria.

Enfatizamos que a estequiometria é uma parte fundamental no ensino de Química e muitos estudantes apresentam dificuldades nesse conteúdo, não conseguindo assimilar todos os conceitos adequadamente (RAVILOLO & LERZO, 2016). Selecionamos alguns trechos em que os docentes apresentaram essa preocupação em alguns subtópicos relacionados, como: quantidade de matéria, mol e reagente limitante:

((14min49s)) [...] e aí a gente começa a falar de mol/ de quantidade de matéria/ aí eu acho que é bem complicado/ eu acho que quando eles associam o número/... (Professor 1)

((15min39s)) quando entra o mol/ é.../ se você falar da estequiometria relação entre massas/ relação entre./ que seja/ quantidade de molécula/ ainda vai/ mas quando você coloca o mol/ aí começa a complicar/ [...] (Professor 1)

((17min57s)) a gente lida então com/ ah.../ reagente limitante/ ou essas coisas assim/ por exemplo no equilíbrio/ ele tem que entender que o que vai formar de reagente é o que reagiu./ a parte do reagente que reagiu/ às vezes nem todo reagente reagiu/ e parece que isso é uma dificuldade para eles entenderem isso né(!?)/ que aquela estequiometria funciona/ mas funciona para o que reagiu entende(!?)/ então./ eu percebo bastante a dificuldade nesse quesito/ por exemplo; (Professor 3)

Perante o exposto, podemos inferir que a estequiometria se constitui como um tópico de conteúdo de grande relevância para o ensino e aprendizagem da

Química e tem um perfil desafiador para professores e estudantes, o que confere elegibilidade para nossa investigação.

### 5.3.1.2 Aspectos relacionados ao emprego de analogias e modelos no ensino de estequiometria

Ainda na primeira sequência dos grupos focais, buscamos identificar o uso de analogias e/ou modelos para o ensino de estequiometria, com o objetivo de conhecer o repertório de comparações que os professores participantes utilizam em sala de aula e se alguma delas estava presente nos livros didáticos do PNLD/2018 e/ou nos recursos que apresentamos na segunda sequência de cada grupo focal.

Uma das primeiras analogias citadas pelos docentes foi a de comparar o “mol” com um outro conjunto de unidades familiar aos estudantes, como a “dúzia”. Observamos, inclusive, que os professores participantes reconhecem o estabelecimento de uma analogia com esse domínio base:

((19min53s)) [...] uma dúzia não é doze(!?)/ um mol é esse número aqui de unidades/ [...] (Professor 2)

((20min47s)) você diria que esse momento que você fala da dúzia/ você está fazendo uma analogia(?); (mediador)

((20min56s)) tô/ sim/ sim/ justamente/ colocando algo que eles pudessem assimilar; (Professor 2)

((21min00s)) eu geralmente falo da dúzia/ da dezena/ da centena/ sabe (!?)/ todos esses são nomes que a gente dá para uma determina quantidade/ assim como no mol; (Professor 3)

((22min14s)) [...] então, eu deixo claro para eles, é um conjunto, um conjunto grande, mas é um conjunto igual a dúzia é um conjunto/; (Professor 1)

Destacamos que essa comparação foi identificada de maneira parcial no Livro C (seção 5.1.4) e, indiretamente, também, no Livro E (seção 5.1.5.2). Para Costa & Souza (2013), conceitos como moléculas, mol, massa de um átomo e volume não são palpáveis. E, por experiência docente, notamos que autores de livros didático e professores tentam buscar uma dimensão mais tangível e familiar ao estudante no momento de introduzir essas concepções. Acrescentando com o estado da arte de Santos & Silva (2013), eles identificaram como subtópicos de dificuldade de aprendizagem: grandeza da Constante de Avogadro; confusão entre mol/quantidade de matéria/Constante de Avogadro/massa molar; confirmando nossa inferência anterior.

Ademais, os participantes dos grupos focais, reconheceram a necessidade de deixar claro as diferenças entre os domínios comparados quando estabelecem essa comparação em sala de aula:

((24min28s)) mas é nesse./ mas aí é nesse conceito/ aí é exatamente aí que eu falo com eles/ por exemplo/ eu não posso ter meio ovo/ mas eu posso ter meia dúzia de ovos/... (Professor 1)

((24min52s)) [...] eu deixo claro para eles que não tem como eu pensar em meia molécula/ mas ao invés de usar aquilo eu tivesse usando meia dúzia/ não teria problema; (Professor 1)

Esses trechos, mencionados por professor 1, explicita que os alunos têm dificuldade em compreender a existência de menos de uma unidade de mol (0,5 mol, por exemplo) e esclarece que podemos ter meia dúzia de alguma coisa, assim como, também podemos ter meia dúzia de moléculas.

Adiante, traz outra analogia, ainda, comparando um conjunto grande de unidades como referência ao “mol”:

((29min02s)) [...] queria que ele entendesse a diferença entre./ quando eu pergunto do mol/ quantas moléculas eu tenho(!?)/ quantos átomos eu tenho(!?)/ e aí eu usei a relação de dúzia com a mão/... (Professor 1)

((29min20s)) [...] se eu tenho uma dúzia de pessoas/ quantas dúzias de mãos eu tenho(!?)/ quantas dúzias de dedos eu tenho(!?) [...] o que eu queria deixar claro para ele/ que em um mol eu posso ter dois mol (sic) de algum átomo/ de algum elemento/ e isso também era um bloqueio para eles/ e o que percebi é que na dúzia e na mão/ eles contam muito bem/ e aí quando era da dúzia para contar os átomos/ eles contavam muito bem/ mas quando passava pro mol/ só trocar a palavra/ aí eu apagava a palavra dúzia e colocava mol no lugar/ aí já dava o bloqueio; (Professor 1)

Verificamos, que mesmo com todos os exemplos apontados por professor 1, ainda assim, há o reconhecimento de que quando se transpõe essas comparações para o conceito de “mol”, os estudantes apresentam um bloqueio de aprendizagem. Ao questionarmos o motivo dessa dificuldade de transposição, ele afirmou:

((21min16s)) mas sabe/ o sentimento que eu tenho/ mesmo com todas essas analogias/ que eu/ também/ uso diversas delas/ quando você passa pro mol/ no primeiro momento/ dá um nó na cabeça dos meninos/ principalmente/ quando isso é ensinado no primeiro ano/... (Professor 1)

((21min34s)) você atribui esse nó que dá na cabeça deles porquê(?); (mediador)

((21min38s)) maturidade./ imaturidade científica/... (Professor 1)

((21min44s)) sim/ eu acho que é a maturidade científica/ aí ele começa a ver/ mas eu acho que não é um problema não/ eu acho que mesmo dando um nó na cabeça dele/ eu acho que é importante ter noção que existe um número/ que esse número é muito grande/... (Professor 1)

Costa & Souza (2013) afirmam que “é praticamente unânime entre professores do Ensino Médio a dificuldade que os alunos têm acerca da compreensão

do significado de quantidade de matéria e mol.” Os participantes do grupo focal concordaram que existe uma dificuldade para o entendimento do conceito “mol” e que isso pode estar associado a não familiaridade com a nomenclatura, assim como, com a evolução do conhecimento individual dos sujeitos, ou seja, de uma imaturidade científica dos estudantes na introdução dos conceitos e procedimentos da estequiometria.

Além das comparações citadas para o conceito de “mol”, tivemos outras relacionadas a diferentes subtópicos de conteúdo da estequiometria, como a comparação da balança de dois pratos:

((30min45s)) [...] o que exatamente você falou sobre a balança com ele, você lembra(?); (mediador)

((30min50s)) [...] eu tava falando pra ele que tinha uma proporção como as coisas reagirem/ e.../ que o que formava depois era um reflexo do que tinha antes/ e tudo tinha que se manter/ a gente ia ter recombinações/ mas que depois tudo ia ficar lá e aquela massa ia se manter/ entende(!?)/ então/ é.../ o que eu queria mostrar é que o global do antes seria igual o global do depois/ [...] (Professor 3)

((31min28s)) você chegou a fazer desenho de balança(?)/ alguma coisa assim(?); (mediador)

((31min31s)) sim/ fiz um desenho de balança/ [...] só que eu achava que só a balança sozinha não ajudava/ [...] as vezes a gente tem moléculas assim grandes com muitos átomos/ aqui.../ e eu tenho só três delas/ se eu tiver muito das pequenininhas aqui/ mas eu consigo/ assim/ balancear essa massa/ as vezes acontece isso também nas reações/ sabe(!?)/ as moléculas mudam de tamanho/ é.../ a gente tinha uma quantidade de átomos antes/ numa determinada molécula/ eles vão se recombinar/ talvez ficar com moléculas menores/ mas eu vou formar mais moléculas/ aí no total a gente vai manter a massa/ sabe(!?); (Professor 3)

Percebemos que os professores utilizam o recurso de uma balança para explicar o princípio da conservação de massa enunciado por Lavoisier, assim como nos Livros A e F (seção 5.1.1) em que os autores trazem essa mesma comparação. Entretanto, no Livro A os autores não explicitam os dois domínios, ou seja, enunciam uma metáfora, já no Livro F há o estabelecimento de uma analogia e de um modelo, assim como, enunciado por Professor 3 ao dizer que inclusive fez desenho e tentou deixar claro a comparação entre as massas dos dois lados da balança, tal como em uma equação química.

Os participantes ainda enunciaram comparações relacionadas aos subtópicos: reagente limitante e reagente em excesso; lei de Proust e relações estequiométricas:

### Reagente limitante e reagente em excesso:

((26min36s)) já tinha tentando vários recursos/ tinha desenhado bolinha/ falei de balança e nada funcionava/ [...] suponha que eu tô fazendo umas lembrancinhas para uma festinha tá(!?) e eu tô./ a minha lembrancinha é assim/ tem um saquinho/ aí nesse saquinho tem dois bombons/ três balas/ aí tem o saquinho que tá isso/ aí/ e./ que tá fechado com um lacinho/ pode ser(!?)/ [...] só que acontece o seguinte/ a gente tem/ 50 saquinhos/ 53 lacinhos/ a gente tem 98 balas e/ sei lá/ 203 bombons/ te pergunto/ quantas lembrancinhas a gente vai conseguir montar(?)/ fechadinha/ bonitinha/ com tudo lá/ entende(!?) e aí ele não estava conseguindo fazer para química de jeito nenhum/ mas ele conseguiu montar as lembrancinhas/... (Professor 3)

((28min10s)) [...] então quem que vai limitar aqui(!?) por exemplo/ a quantidade que a gente vai conseguir produzir de lembrancinha/ ele/ ah é tal/ aí eu falei/ e os outros vão fazer o que(!?) ah.../ sobra né(!?) sabe(!?) eu falei/ uai então/ quantos que sobra desse(!?) quantos que sobra desse(!?) quantos que sobra desse(!?) aí ele falou tudo certinho/ [...] a gente vai se reinventando/ porque nem eu sabia que eu sabia essa analogia/; (Professor 3)

((01h19min 11s)) [...] a gente já dançou até quadrilha/ ai de repente você sobrou/ aí ó (sic)/ você tava (sic) em excesso/ [...]; (Professor 3)

### Lei de Proust e relações estequiométricas:

((16min07s)) ah/ eu penso na questão de cozinha/ receita/ por exemplo/ você quer fazer uma receita pra produzir um bolo/ [...] se você quer fazer dois/ você tem que dobrar os ingredientes; (Professor 5)

((17min58s)) é/ a da receita de bolo quando eu vou explicar lei ponderal/ mas depois disso/ eu não consigo usar mais do que isso/ eu nunca tive essa./ tanto que eu falo/ pra mim inicialmente eu não consigo lembrar de nenhuma analogia; (Professor 6)

((18min25s)) na turma de mecânica<sup>5</sup> eu costumo falar de carro né(!?) por exemplo/ você tem um carro/ você precisa de um pneu./ quatro pneus/ um volante/ aí/ se você quiser produzir dois/ você precisa do dobro dessas peças; (Professor 5)

Apesar de nos livros B e E termos encontrado duas analogias para o mesmo DA “reagente limitante e reagente em excesso” (seção 5.1.8), encontramos dois DB diferentes: no caso do Livro B (seção 5.1.8.1), a montagem de um buquê de flores, e no Livro E (seção 5.1.8.2), a produção de um sanduíche. Já nas passagens textuais acima, dos grupos focais, os participantes citaram como possibilidades de domínio base: a fabricação de lembrancinhas de festa e a formação de pares para dançar quadrilha. Por outro lado, a analogia da receita de bolo citada por Professor 6 para o subtópico de Lei de Proust e/ou relações estequiométricas foi estabelecida em três dos livros analisados (B, D e F – seção 5.1.7). Além disso, esse professor mencionou uma outra possibilidade para o mesmo DA (estequiometria das reações químicas) utilizando como domínio base a fabricação de carros.

<sup>5</sup> Um dos cursos técnicos do CEFET-MG.

Nesses trechos, os participantes também relataram a espontaneidade no uso das analogias. Ao dizer “a gente vai se reinventando/ porque nem eu sabia que eu sabia essa analogia” (Professor 3), observamos que o participante traz o reconhecimento de que não sabia e nem fez um planejamento prévio para usar essa analogia, isto é, a comparação surgiu a partir de uma dificuldade de aprendizagem apresentada pelo estudante. Esse fato está em concordância com pesquisa de Thiele & Treagust (1994), que concluiu que os professores utilizam as analogias de modo espontâneo na hora de incentivar os alunos a responderem uma pergunta, ou seja, eles recorrem a sua própria experiência ou leitura profissional como fonte de analogias, assim como, em Ferraz & Terrazzan (2002), que identificaram que as analogias são inerentes ao cotidiano dos professores devido a sua própria experiência docente. Notamos, também, esse aspecto quando Professor 6 mencionou que “pra mim inicialmente eu não consigo lembrar de nenhuma analogia”, reconhecendo que, a princípio, não lembrava de ter utilizado alguma comparação no ensino de estequiometria, mas quando Professor 5 citou a analogia da receita de bolo, ele indicou que já a utilizava do mesmo modo para explicar as leis ponderais. Podemos inferir que esses recursos constituem o saber-fazer docente, que é sensibilizado pela intervenção dos seus alunos, sem um planejamento anterior, na intenção de aproximar o conceito científico do cotidiano do estudante (Ferraz & Terrazzan, 2002).

Os participantes, também, foram questionados quanto ao conhecimento e uso de modelos nas suas práticas educativas no ensino de estequiometria. Alguns modelos foram citados:

((32min33s)) o modelo é/ eu comprei umas miçangas de diferentes tamanhos e diferentes cores/ e aí eu fui fazendo a combinação das miçangas para gerar estruturas similares as moléculas/ então/ por exemplo/ eu peguei uma miçanga lá que eu falei que era carbono/ uma outra que eu falei que era oxigênio/ uma outra que eu falei que era hidrogênio/ aí eu coloquei nos tubinhos né(!?)/ e aí fiz/ por exemplo/ conjuntos de 15./ 15 conjuntinhos de miçangas/ e aí aqueles 15 conjuntinhos de miçangas iam ocupar um volume diferente e teriam/ também/ uma massa diferente/ [...] (Professor 1)

((34min19s)) [...] aquilo dali tinha volumes diferentes/ tinha massas diferentes/ mas tinha a mesma quantidade de moléculas/ e não necessariamente/ tinha a mesma quantidade de átomos/ por que no caso do  $\text{CO}_2$ / seriam três átomos por moléculas/ no caso do  $\text{HCl}$  eram dois átomos por moléculas; (Professor 1)

((35min19s)) [...] por exemplo/ faço bolinha/ uma bolinha grande/ a outra bolinha pequena/ sabe(!?)/ e aí vou recombinao/ como se fosse as suas miçangas/ [...] (Professor 3)

Observamos a citação de um modelo muito utilizado nas práticas docentes que é utilizar “bolinhas” para representar átomos, em alusão ao modelo atômico

proposto por Dalton. Porém, nesse caso, identificamos o desenvolvimento de um segundo modelo mais complexo e elaborado, que é o modelo dos conjuntos de miçangas para representar diferentes substâncias e, conseqüentemente volumes e massas diferentes. Embora um pouco diferente da analogia encontrada no Livro F (seção 5.1.5.4), que utilizou miçangas para a criação de uma unidade arbitrária “miçamol”, os dois modelos utilizaram o mesmo recurso material de representação: as miçangas para representar átomos. O participante que elaborou o modelo acredita que ele foi fundamentado em uma analogia:

((48min51s)) vocês conhecem algum modelo que tenha sido fundamentado em uma analogia(?); (mediador)

((48min57s)) ah eu acho que o da miçanga foi/ miçanga não é átomo/ miçanga não é molécula/ então você fez uma analogia de miçanga para átomo/ e a partir daquele modelo./ daquelas miçangas você construiu um modelo; (Professor 1)

Desse modo, ocorreu o reconhecimento de um modelo usado para representar átomos e moléculas através das miçangas e conjuntos de miçangas. No entanto, o mero uso das miçangas para representar os átomos e/ou moléculas não o torna um modelo analógico, uma vez que não ocorreu a preposição de um analogia, ou seja, nesse sentido ele é reconhecido como um modelo convencional.

Ademais, foram descritos outros modelos que não necessariamente envolvem subtópicos da estequiometria, mas que foram relatados como uma demanda que surgia, geralmente, nas aulas que envolviam o ensino de cálculos estequiométricos. São dois exemplos para explicar a decomposição de substâncias ou dissociação atômica, ou seja, como um mol de uma substância pode se transformar em mais de um mol quando representado em uma equação química:

#### **Exemplo 1:**

((45min41s)) [...] cada pincel geralmente tem uma tampa/ mas eu tenho muitos pinceis/ então eu consigo fazer um modelo assim ó (sic) / com um pincel com duas tampas/ uma de cada lado/ aí falo assim/ gente/ esse negócio vai reagir/ sofrer uma transformação/ vai mudar/ ele era um corpo de pincel com duas tampas/ ele perde essas duas tampas/ aí ele vai virar corpo de pincel e duas tampas/... (Professor 3)

((46min36s)) como se fosse uma decomposição/ e isso obedece essa relação sempre/ então/ eu sempre quando isso acontecer/ vou ter a quantidade de tampa igual o dobro da quantidade do corpo do pincel/ sabe(!?)/ então/ a gente vai indo por esse lado/ aí eu acho que eles visualizam isso bem/ e é bom que o negócio está na minha mão/ naquela hora; (Professor 3)

((47min00s)) eu usei exatamente esse modelo/ por que o menino tava (sic) com dificuldade/ assim/ como que um mol de substâncias de um lado pode formar dois/ três mol do outro lado(!?) {de uma equação química}/ [...] (Professor 4)

**Exemplo 2:**

((16min25s)) adoro falar de comida também/ porque eu acho que eles prestam atenção quando fala de comida/ tem uma coisa que eles têm muita dificuldade/ não sei se vocês passam por isso/ é dissociação de sal/ só dissociação/ eu tenho NaCl/ quando coloco em água/ Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>/ e aí eu falo com eles/ que eles podem pensar./ porque aí eles não concordam que eu tinha um mol e eu formei um mol de Na<sup>+</sup> e um mol de Cl<sup>-</sup>/... (Professor 7)

((16min51s)) que um mol virou dois/ por que(!?)/ não seria 0,5 mol(!?)/ eles falam assim comigo/ por que não 0,5 mol(!?)/ porque na hora que eu somar esses dois meio/ vai virar um/ aí eu falo com eles que é igual aquele docinho "ele e ela"/ que eu tenho a parte preta e a parte branca/ eles estão juntinhos que nem Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>/... (Professor 7)

((17min13s)) aí eu falo assim/ mas eu quero que separa porque eu só gosto do brigadeiro preto/ aí eu separei/ mas quantos docinhos pretos que eu tenho(!?)/ um/ e quantos branquinhos(!?)/ um/ continua sendo um/ então um aqui/ virou um mais um/ mas isso é mito difícil pra eles/ aí eu vou inventando meus doces/ agora eu quero um doce que tem duas bolinhas pretas e uma bolinha branca/ aí eu vou separando meus docinhos quando falo de dissociação/ porque isso de um mol virar um mais um/ pra eles é muito difícil; (Professor 7)

No exemplo 1 temos a utilização de pincéis como representante e no exemplo 2, docinhos de festa de duas cores e, em ambos, temos como representado a separação dos átomos de uma molécula. Destacamos que nenhuma das duas comparações foram estabelecidas em nenhum dos capítulos analisados dos livros didáticos do PNLD/018.

Ainda, foram citados dois outros modelos com características virtuais de representação das transformações químicas:

**Exemplo 1:**

((19min33s)) eu já vi animação de reação química/ pra poder mostrar né(!?)/ tem dois recipientes com duas substâncias diferentes e/ aí/ quando elas são misturadas/ aí as moléculas vão chegando uma perto da outra e/ aí/ elas interagem e transformam em outra coisa/ mas que envolva a conta/ o cálculo/ é assim/ com cálculo ou com uma outra coisa/ só vi esse tipo assim/... (Professor 6)

((20min05s)) [...] é um vídeo de simulação/ porque não dá para dizer que é uma simulação/ porque já estava pronto o vídeo/ então não dava pra colocar/ mas gravação da simulação/ aí usando isso como informação/ mas eu já vi um software que você consegue colocar/ aumentar as proporções e tudo mais e aí/ que aí é um simulador/... (Professor 6)

((20min36s)) você lembra o nome(?); (mediador)

((20min38s)) não lembro o nome/ isso daí foi muito tempo atrás/ no começo que a internet ainda tava (sic)./ não existia nem Youtube direito/ então uma coisa meio complexa; (Professor 6)

**Exemplo 2:**

((20min49s)) não sei se seria o que você está falando/ mas lá naquele museu de minas e metais né(!?)/ das minas e do metal/ tem uma tabela que a gente pega um elemento e joga um no outro assim/ você lembra(!?)/ aí você pega assim/ vamos supor/ um oxigênio e dois hidrogênios e eles juntam e formam água/ isso é legal/ é como se fosse um modelo né(!?); (Professor 7)

Nesses fragmentos acima, percebemos que os participantes conhecem modelos também digitais que possibilitam a representação e/ou simulações de fenômenos científicos, nesse caso das transformações químicas. No primeiro exemplo, um vídeo simulando a interação e formação de novas substâncias, da mesma maneira que o recurso disponível no museu citado, que possibilita a formação de produtos a partir de determinados reagentes.

Destacamos duas falas dos participantes a respeito do uso de modelos nas práticas docentes:

((35min35s)) quando eles veem o modelinho é muito bonitinho ne(!?)/ que é colorido/ [...] (Professor 1)

((35min42s)) com certeza é muito marcante esse momento (Professor 3)

Conforme destacado acima, essas falas dos professores indicam que os modelos podem ser ferramentas potencializadoras durante o ensino e a aprendizagem de conceitos e procedimentos da educação em ciências.

Diante do exposto, podemos inferir que os professores possuem e utilizam um bom repertório de comparações, principalmente, analogias e modelos durante suas práticas docente, conforme resultados dos grupos focais e da pesquisa de Santos & Silva (2013). As analogias são muito utilizadas para explicar ideias abstratas e não familiares, concepção muito presente na Química, assim, representam ferramentas de pensamento potencialmente vantajosa no ensino e aprendizagem (MOZZER & JUSTI, 2015). Além disso, modelos e analogias podem contribuir na construção do conhecimento dos estudantes, principalmente, no que concerne à sua função criativa (MOZZER & JUSTI, 2018). Desse modo, enfatizamos a potencialidade desses recursos didáticos para o ensino de Química.

### 5.3.2 Segunda sequência dos grupos focais

Na segunda sequência do grupo focal, tivemos o objetivo de conhecer a abrangência, as potencialidades e as limitações dos recursos apresentados, além de classificá-los quanto ao tipo de modelagem utilizada. Para isso, dividimos essa seção em dois momentos: 1º) aspectos relacionados as características e ao uso dos recursos apresentados e 2º) aspectos relacionados ao tipo de modelagem empregada nos recursos apresentados.

### 5.3.2.1 Aspectos relacionados as características e ao uso dos recursos apresentados

Nesse primeiro momento da segunda parte do grupo focal, tivemos a intenção de identificar a abrangência, as potencialidades e as limitações que os recursos apresentados aos professores poderiam apresentar para o ensino de estequiometria. Além disso, buscamos identificar ressalvas quanto ao uso de determinado modelo.

Em relação aos dois primeiros recursos apresentados (Apêndice D), a maioria dos participantes disseram que não conheciam a plataforma PHET, entretanto, todos gostaram e se mostraram interessados em utilizá-la em sala de aula, como exemplificado nas falas:

((01h16min49s)) [[...]] achei superinteressante/ você perceber a proporção com a qual eles se combinariam e quantos tinham no produto/ pra daí chegar no reagente (Professor 2)

((01h15min03s)) com certeza {utilizaria}/ eu achei o sanduíche fantástico/ [[...]]; (Professor 4)

((32min35s)) com certeza {utilizaria}/ principalmente nessa parte dos jogos; (Professor 5)

((26min41s)) eu gostei muito; (Professor 7)

Em seguida, apresentamos os outros dois recursos (Apêndice E e F), nesse caso, todos os participantes disseram não ter visto esses modelos concretos anteriormente, porém, todos, do mesmo modo, gostaram e se mostraram interessados em utilizá-los em sala de aula:

((01h54min44s)) eu adorei a balança gente; (Professor 2)

((01h54min46s)) eu também adorei; (Professor 1)

Um dos objetivos dessa segunda sequência de perguntas aos professores era identificar a abrangência dos recursos e confirmar essas percepções de acordo com o levantamento prévio realizado na análise estrutural. Assim, identificamos que os docentes utilizariam os dois recursos da plataforma PHET para ensinar conceitos como: balanceamento de equação química, lei das proporções definidas, reagente limitante e reagente em excesso, relações estequiométricas e, ainda, composição química das moléculas; conforme observado nos trechos:

((32min16s)) tem essa ideia né(!?)/ que tem que ter a mesma quantidade de um lado e do outro {átomos}; (Professor 5)

((38min20s)) balanceamento; (Professor 6)

((01h22min45s)) eu acho que entra nas proporções definidas/ não(!?); (Professor 2)

((29min15s)) isso daqui é muito legal pra mostrar pra eles/ você pode ter hidrogênio/ pode ter nitrogênio/ e ainda assim/ seria excesso/ seria excesso não./ sobriaria/ né(!?)/ porque a reação não é completa; (Professor 7)

((01h16min49s)) [...] você perceber a proporção com a qual eles se combinariam e quantos tinham no produto/ pra daí chegar no reagente (Professor 2)

((38min27s)) daria para dar uma relembra da composição química do que compõe uma molécula/ eles têm muita dúvida; (Professor 5)

Observamos que os docentes citaram os subtópicos similares aos que observamos no levantamento de subtópicos nos livros didáticos investigados, além de acrescentar a possibilidade de utilizar os modelos da plataforma PHET, também, para explicar a composição química de formação de moléculas.

Alguns docentes tiveram percepções diferentes quanto a abrangência do modelo, enquanto Professor 6 acredita que o seu uso não permite ensinar tudo de estequiometria, Professor 7 já acredita nessa possibilidade; de acordo com os fragmentos:

((41min34s)) ele é uma boa ferramenta para introdução dos conceitos/ mas não uma ferramenta completa para indicar tudo que a gente precisaria em ensinar estequiometria; (Professor 6)

((44min25s)) [...] é suficiente pro conteúdo(!?)/ a meu ver/ é suficiente/ porque/ quando eu consigo aqui ver excesso em mols/ o que tá faltando em mols/ o tanto de mol que eu tô (sic) colocando/ porque transformar esse mol em massa/ já é uma coisa anterior a estequiometria/ por isso que eu estou falando/ assim/ nesse sentido/ eu não acho que o *software* é só introdutório não/ eu acho que ele é completo/ agora quando a gente passa aí pra esse negócio que você precisa de mais do que oito mols/ aí já é problema do (menino\*); (Professor 7)

Em relação a abrangência dos recursos concretos, identificamos que os docentes utilizariam o modelo de cliques para os seguintes assuntos: tipos de reações, formação de novas substâncias, dissociação de moléculas e energia de ligação, conforme observado nos fragmentos:

((01h32min29s)) [...] ele tem essa possibilidade até pra gente trabalhar/ aí não é só com estequiometria/ é com um monte de outros que já enxerguei aqui/ eu vou usar/ que fique claro/ eu já adorei/ eu já tô (sic) assim./ com certeza.../ eu acho que usaria em reações/ acho que eu usaria em todos os tipos de reações/ dá para usar aqui/ porque.../ como você já tem as pecinhas fixas que são os átomos e ele./ você pode combinar bonitinho/ é até melhor/ porque aqui eu não tô (sic) presa a questão da geometria/ [...]; (Professor 4)

((01h04min19s)) para ensinar formação mesmo/ a formação da nova estrutura/ pra falar./ igual eu tenho que falar muito de dissociação/ [...]; (Professor 7)

((01h14min05s)) [...] mas quando a gente fala energia de ligação/ as moléculas se quebram e se formam de novo/ até pra isso/ isso aqui seria legal ó (sic)/ separa todo mundo e aí agora eu vou reorganizar; (Professor 7)

Destacamos que já tínhamos elencado na seção 5.1.1.3 como abrangência desse modelo os seguintes subtópicos de conteúdo: 1º) balanceamento dos coeficientes de uma equação química e 2º) transformação química. Percebemos que os docentes citaram a possibilidade de representatividade da transformação química ao dizer “para ensinar [...] a formação da nova estrutura”, no entanto, eles não comentaram explicitamente que o modelo poderia ser utilizado para balanceamento dos coeficientes de uma equação química. Acreditamos que essa ausência é devido a obviedade do tópico abordado, uma vez que a atividade começa com o título “balanceamento de equação química” e inerentemente o modelo já estava sendo utilizado com esse fim. Destacamos, entretanto, que os professores expandiram as possibilidades de abordagem do modelo para outros temas da Química.

O último recurso apresentado, foi o modelo analógico da “balança de equações”. Nele os professores identificaram como abrangência do recurso, a possibilidade de abordar os seguintes temas: balanceamento dos coeficientes de uma equação química, lei da conservação de massa, reagente em excesso e limitante e proporções estequiométricas:

((01h00min52s)) seria melhor praquela (sic) primeira parte do balanceamento/ pra você descobrir os coeficientes/ pra você ir naquela parte da lei de conservação das massas; (Professor 5)

((01h07min32s)) pra mim ela serviria pra falar que a massa dos reagentes é igual a massa dos produtos/ porque/ igual a gente fala com eles/ nada se cria/ tudo se transforma/ novas moléculas/ mas mesma massa/ eu acho que é isso que essa balança passa/ o principal que essa balança passa; (Professor 7)

((01h02min51s)) isso mesmo/ talvez ele seja melhor para identificar coeficiente de balanceamento; (Professor 7)

((01h42min38s)) sabe o que eu acho interessante(!?)/ que favorece uma compreensão/ as vezes você tem um excesso aqui ó/ e esse excesso não balanceia/ mas a parte que reage/ ela balanceia; (Professor 3)

((01h49min03s)) conservação da massa/ além da proporção que é óbvio/ a conservação da massa; (Professor 1)

Na seção 5.2, quando expusemos os resultados da elaboração do modelo “balança de equações”, consideramos como abrangência os seguintes temas: 1º) balanceamento dos coeficientes de uma equação química, 2º) lei da conservação de massa (Lei de Lavoisier), 3º) reagente em excesso e limitante e 4º) proporções estequiométricas. Conforme apresentado acima, os professores identificaram os mesmos assuntos como abrangência desse modelo.

Além disso, buscamos avaliar as potencialidades desses possíveis recursos didáticos em eventuais situações de uso. Consideramos potencialidade do

recurso o modo como o professor se apropria do modelo para ensinar algum tópico de conteúdo. Dentre as possibilidades, para os modelos da plataforma PHET, encontramos: mostrar para o aprendiz que não há a possibilidade de sobrar meia molécula, extrapolar o conhecimento abordado em sala de aula, relacionar ao cotidiano do aluno, controlar o uso do celular em sala de aula e a universalidade do recurso. Exemplificamos, abaixo, cada uma dessas ocorrências, respectivamente:

((01h18min10s)) eu achei legal porque quando a gente./ o menino acha que/ por exemplo/ vai formar água/ aí tem lá hidrogênio/ oxigênio/ para formar água/ então/ eu achei legal que ele mostra que dependendo do tanto que você põe/ vai sobrar  $O_2$ / não sobra  $O$ ; (Professor 1)

((45min57s)) para mim/ o legal do *software* é que o aluno/ ele vai além do que o professor fala/ então/ ele consegue captar melhor a compreensão/ porque ele não fica só no que eu falei/ ele vai lá e testa e verifica/ e aí ele começa até extrapolar as coisas/ que aí ele começa a fazer esse tipo de questionamento/ porque o problema maior é esse/ é ele chegar e questionar isso daqui/ funciona(!?)/ não funciona(!?)/ porque quanto mais ele conseguir questionar/ mais ele vai aprender sobre isso e não vai ter medo de ver isso na prova/ porque o que eu vejo mais é isso; (Professor 6)

((34min10s)) [...] se a gente trabalha com uma forma de sempre dar/ exemplos do dia a dia deles/ pra poder facilitar/ realmente/ a do sanduíche é muito mais fácil que as bolinhas/ mas a bolinha é uma extrapolação/ [...]; (Professor 6)

((01h6min55s)) por isso que esses recursos/ eu acho que também para outros conteúdos/ seria fantástico/ porque é difícil controlar o uso do celular em sala é.../ e a atenção/ [...]; (Professor 2)

((01h10min21s)) eu acho que em termos de acesso/ eu acho que o digital ele seria mais/ [...] universal; (Professor 5)

Os docentes identificaram muita potencialidade no modelo de clipes, principalmente em relação aos tópicos: não representação dos átomos pelo modelo de Dalton, não dependência da geometria espacial das moléculas, a possibilidade de mostrar a formação de novas substâncias, além de ser comum, barato e versátil:

((01h30min42s)) achei legal o modelinho com os clipes porque tira a ideia da esfera/ rígida/ definidinha (sic)/ [...]; (Professor 1)

((01h30min56s)) mesmo porque todos os modelos que a gente vê.../ e agora eu tô (sic) parando para pensar nisso/ é a tal da bolinha mesmo né(!?)/ é o modelo de Dalton/ que ele representa tudo/ mesmo a gente já sabendo que houve evoluções quanto aos modelos e que não é esse o modelo que melhor representa atualmente né(!?); (Professor 4)

((59min05s)) o reagente tá lá ainda e o produto tá lá/ porque quando a gente faz o do clipes/ você destrói e constrói né(!?); (Professor 7)

((59min15s)) e o que não foi reconstruído/ vamos dizer assim/ permanece do mesmo jeito; (Professor 5)

((01h32min21s)) [...] eu adorei/ na verdade/ porque é um recurso comum para todo mundo; (Professor 4)

((01h32min28s)) barato; (Professor 1)

((01h32min29s)) barato demais da conta (sic)/ é.../ como eu falei/ ele é acessível até mesmo a gente comprar umas caixinhas de clipes pra poder levar pros meninos e separar os joguinhos/ [...] é até melhor/ porque aqui eu não estou presa a questão da geometria/ mas aqui eu poderia/ chegar lá e construir a minha legenda/ e a minha legenda não importa/ porque esses modelos {bola e bastão} a gente está preso a geometria dele/ o vermelhinho tem dois encaixes/ aqui/ eu posso usar esse ora com um átomo/ ora com outro/ então facilita; (Professor 4)

((01h33min47s)) você consegue a um clipes/ colocar três clipes/ quatro clipes/ quantos você quiser/ ele é mais versátil; (Professor 3)

Quanto as potencialidades de utilizar o modelo da “balança de equações” em sala de aula, os docentes indicaram a possibilidade de esclarecimento do que uma equação química representa e que substâncias em excesso não fazem parte da estequiometria e do balanceamento:

((01h42min38s)) sabe o que eu acho interessante(!?)/ que favorece uma compreensão/ as vezes você tem um excesso aqui ó/ e esse excesso não balanceia/ mas a parte que reage/ ela balanceia; (Professor 3)

((01h42min54s)) mas isso eu acho muito importante ser ressaltado com os meninos/ porque a proposta da equação é mostrar o que se transforma; (Professor 1)

((01h44min00s)) isso faz muito sentido para equação/ mas para reação acho que/ é ainda/ é válido/ porque/ assim/ numa equação não faz sentido você pôr algo que é excesso dos dois lados/ mas num sistema reacional é isso mesmo que acontece; (Professor 3)

Finalizada as indagações em relação a abrangência e as potencialidades dos modelos, os participantes foram incentivados a relatar as limitações dos recursos. As limitações de recursos didáticos devem, sempre que possível, serem esclarecidas em sala de aula, pois “o “problema” não é a existência das limitações (que são inerentes a qualquer comparação), mas a não discussão das mesmas” (MOZZER & JUSTI, 2015, p.134). Assim, buscando compreender as limitações presentes nos dois modelos da plataforma PHET, selecionamos alguns fragmentos textuais dos grupos focais que evidenciaram limitações quanto a alguns conceitos científicos: inadequação do item “minha receita” para uma reação química, a não representação de uma transformação química, a não visualização clara da proporção em massa das substâncias e a impossibilidade de trabalhar com grandezas maiores:

((01h15min09s)) eu tenho uma ressalva e eu colocaria pra eles/ então eu colocaria exatamente aquilo/ porque quando você ver o queijo sobrando/ eu acho que na cabeça do aluno é muito mais fácil ver o queijo sobrando do que um monte de moléculas sobrando lá/ só que eu falaria pra ele/ olha com os átomos a história é diferente/ porque lembra que a gente já estudou ligações químicas(!?)/ que os átomos/ eles se ligam já com certas necessidades/ então/ não tem como a gente propor a nossa receita/ sem considerar que os átomos/ eles tem essas necessidades/ porque a minha receita eu posso colocar três sanduíches/ quem vai falar que eu não posso(!?)/ mas no átomo eu não posso chegar e pegar os três hidrogênios e querer que eles se liguem

a força/ então/ isso eu deixaria claro/ mas eu usaria/ porque quando a gente começou a montar o sanduíche eu vi tudo sobrando/ eu falei/ gente/ isso na cabeça dos meninos ia ser fantástico/ pra excesso né(!?) / reagente limitante e excesso; (Professor 4)

((01h22min01s)) né(!?) / o misto é pão presunto e queijo/ não é uma nova coisa/ então/ seria uma limitação/; (Professor 1)

((01h22min09s)) não tá (sic) havendo {transformação}/ é uma mistura/ então ele tem a limitação dele/ mas eu acho que ele é muito válido/ porque é.../ eu falo muito isso com os meninos/ a função de um modelo é.../ explicar algum fenômeno e ele atende a isso; (Professor 1)

((40min12s)) porque aí você poderia falar em mol/ mas quando passa pra massa/ o tanto de massa de  $N_2$ / para o quanto de massa de  $H_2$ / quanto que ficaria em excesso de  $H_2$ (?) / quanto em massa/ aí eu acho que seria mais complicado; (Professor 5)

((42min24s)) sim/ sim/ não/ mas o problema é você chegar e falar assim/ usando essa./ esse visual proposto do *software*/ como é que é, que eu consigo calcular o excesso de hidrogênio na produção de 30 kg de/ nessa proporção (Professor 6)

((42min47s)) a tá/ você tá falando/ o que você acha que é limitante porque aqui só vai até oito(?) / oito moléculas/ o menino teria que fazer uma proporção/ uma regra de três a mais; (Professor 7)

Destacamos que na primeira limitação citada, o fato de na plataforma ser possível criar a “minha receita” e isso não ser possível para uma reação química, conforme Professor 4 esclareceu acima, outro docente sugeriu que não seria necessariamente uma limitação:

((01h55min51s)) mesmo tendo a questão da "minha receita" ali/ eu acho que eu não vejo limitação/ porque mesmo você podendo criar a sua receita diferente/ mas ó (sic)/ agora você criou/ você tem que obedecer ela; (Professor 3)

Ressaltamos que não obstante os participantes tenham identificado limitações nos recursos apresentados, eles reconhecem que os modelos são válidos e que os utilizariam, pois conforme Professor 1 enfatizou, os modelos são usados para “explicar algum fenômeno e ele atende a isso”, ou seja, reconhecem que modelos são recursos didáticos utilizados para representar entidades de interesse científico (JUSTI & GILBERT, 2002). Destacamos essa sensibilidade dos docentes em perceber limitações e a disponibilidade em abordá-las em sala de aula, pois elas são fundamentais para a compreensão de qualquer modelo didático e científico (MOZZER & JUSTI, 2015).

Ademais, na limitação “a não representação de uma transformação química”, os próprios docentes sugeriram uma alternativa de se utilizar uma outra comparação, a analogia entre uma receita culinária de bolo e uma transformação química, conforme, também, estabelecida nos Livros B, D e F (seção 5.1.7):

((01h22min53s)) talvez nesse caso/ um bolo fosse um exemplo interessante/;  
(Professor 1)

((01h23min21s)) se você fizer com duas xícaras de açúcar vai dar bolo/ se fizer com uma xícara de açúcar/ vai dar bolo/ não./ mas aí vai ser outro bolo/ porque vai ter outro gosto/ então é outra reação/ é válido/ eu acho que nesse caso é válido/ porque/ por exemplo/ você pode pegar uma combustão e fazer com um pouquinho de oxigênio e vai dar CO ou fazer com um tanto de oxigênio e vai dar CO<sub>2</sub>/ então eu acho válido a ideia do bolo/ mesmo com a quantidade de açúcar diferente/ vai dar uma coisa diferente/ então/ se quer manter aquele padrão/ você tem que usar essa proporção/ [...]; (Professor 1)

((01h24min22s)) ah eu já usei bolo também nesse sentido/ mas também para favorecerem eles trabalharem com proporção/ porque/ por exemplo, eu falo assim/ gente eu tenho uma receita aqui/ mas essa receita é para um forma muito grande/ minha forma é desse tamanho {pequena}/ minha forma só dá para fazer com três ovos/ se não vai derramar meu bolo hein(!?)/ aí eu falei pra eles/ então vamos acertar essa receita aqui para ficar com três ovos/ aí eles tinham que fazer as proporções sabe(!?)/ regra de três mesmo/ e aí eles chegavam na nova receita e a gente ia pelo ovo/ porque o ovo não dá pra quebrar né(!?)/ tinha que ser aquilo ali/ e aí eles treinavam essa parte matemática também; (Professor 3)

Além disso, uma outra limitação citada foi em relação ao tempo de aula disponível para utilizarem o recurso, assim, alguns docentes prefeririam utilizar apenas o modelo convencional de bastão e bola para representar as moléculas e a transformação química ao invés do modelo analógico do sanduíche da plataforma PHET, conforme trecho:

((33min20s)) [...] o do sanduíche, vocês utilizariam(?); (mediador)

((33min26s)) sim, mas eu gosto mais desse {bolinhas}; (Professor 7)

((33min29s)) eu prefiro essa representação também {bolinhas}; (Professor 5)

((33min47s)) eu falaria rapidamente do sanduíche/ mas focaria mais na parte das bolinhas; (Professor 5)

((34min48s)) não/ mas porque bolinha é mais comum pra gente/ a representação de moléculas por bolinhas já é./ já faz parte dos nossos livros/ os alunos tão mais acostumados com isso/ [...] se eu tivesse tempo sobrando/ eu mostraria o sanduíche também.../ mas se fosse pra optar por um/ porque esse desenho já existe nos livros {bolinhas}/ essa representação já existe nos livros; (Professor 7)

((32min57s)) é porque eu faço esses desenhinhos assim debaixo da reação/ eu faço/ o hidrogênio de tal colorido./ tal cor/ e aí depois eu ponho de um lado e do outro/ por isso que/ eles sempre contam as bolinhas/ [...]; (Professor 7)

Observamos que a preferência do uso do modelo convencional não é só por uma questão de preferência pessoal, mas, também, por questões técnicas, quando, Professor 7 recorda que nos livros didáticos as moléculas têm essa representação segundo o modelo de Dalton, com “bolinhas” (esferas) diferentes representando átomos diferentes e, também, porque em sua prática docente, utiliza essa representação na lousa durante as suas explicações em sala de aula.

Para o modelo de cliques, a principal limitação citada pelos docentes se referiu a geometria incorreta que ele representa ao formar as moléculas, no entanto, reconhecem que ao mesmo tempo que temos essa desvantagem no recurso, ela também se configura como uma vantagem de utilização:

((01h56min59s)) no clipe/ talvez/ como que os átomos./ não vai tratar/ por exemplo/ geometria; (Professor 2)

((01h57min15s)) a mesma vantagem que você tem é a desvantagem; (Professor 4)

((01h58min20s)) eu acho que pra professor essa limitação é ótima/ porque é fácil de conectar e não solta fácil né(!?)/ porque quando eu estava aprendendo essas coisas eu usava muito/ pra fazer moléculas/ uma borracha e ia fincando os palitos de dente nela/ pra fazer as geometrias/ aí/ virava e mexia/ meu palito de dente soltava da borracha/ aí/ aqui ao menos fica uma conexão tão boa/ não solta fácil/ eu acho bom isso; (Professor 3)

Ressaltamos que essa limitação foi considerada no mapeamento estrutural do modelo na seção (5.1.1.3), porém a consideramos como uma diferença alinhável entre o representante (clipes) e o representado (átomos), uma vez que o arranjo de cliques não possui uma geometria específica que poderia representar a geometria espacial das moléculas.

Uma outra limitação encontrada pelos professores nesse modelo de cliques está relacionada a materialidade do recurso, uma vez que os cliques não são grandes o suficiente para uma exposição feita pelo professor na frente da sala de aula. Entretanto, os próprios participantes reconheceram que essa limitação pode ser facilmente resolvida com a utilização de pequenos kits de cliques por grupos de alunos em sala de aula:

((01h31min42s)) aí aquele aluno lá distante conseguir ver os cliques/ porque os cliques ele já não tem/ é./ não é maciço/ então é difícil as vezes de ver de longe; (Professor 3)

Ainda citaram o fato de somente ser possível abordar com substâncias menos complexas, entretanto como o Professor 7 mesmo diz, deveríamos começar do simples para, então, explicar substâncias mais complexas:

((54min14s)) só que aquela coisa né(!?)/ você só pode trabalhar com substâncias simples; (Professor 6)

((54min21s)) mas a gente começa do início; (Professor 7)

Buscando compreender as limitações presente no modelo “balança de equações”, selecionamos alguns fragmentos verbais dos grupos focais que evidenciaram essas limitações, principalmente, quanto ao conceito de transformação

da matéria, ou seja, da impossibilidade de o modelo mostrar que houve a formação de novas substâncias:

((58min59s)) *é/ sabe qual o problema que eu vejo aqui/ é.../ o aluno ficar achando que a reação não correu/; (Professor 7)*

((59min05s)) *o reagente tá lá ainda e o produto tá lá/ porque quando a gente faz o do cliques/ você destrói e constrói né(!?); (Professor 7)*

((01h37min19s)) *é.../ quando o reagente sofrer uma transformação para virar produto/ ele já não vai ser mais reagente/ aí tipo assim/ eu estou aqui com o reagente e ele estaria pesando só de um lado/ na hora que eu conecto de outra forma/ faço uma mudança para virar produto/ eu colocaria ele lá e ele estaria pesando só do outro lado e não tenho mais concomitantemente o reagente e o produto; (Professor 3)*

Isso confirmou nossa previsão na seção 5.2, quando discutimos as diferenças alinháveis que identificamos durante o mapeamento do modelo. Entretanto, enfatizamos que esse mesmo aspecto ocorreu em outras comparações explicitadas na seção 5.1. Destacamos que Professor 3 acrescentou em sua fala uma possibilidade de solucionar esse aspecto com a possibilidade de ter pesos padrões que fizesse o balanceamento das massas ao transformar o reagente em produto:

((01h39min48s)) *[[...]]/ mas olha só (sic)/ vou por aqui nos reagentes/ e suponha que eu tenho algum pesinho para equilibrar lá/ agora eu vou pegar meu reagente e transformar em molequinhas de produtos/ e ponho aqui/ e aí eu ponho o mesmo peso para balancear; (Professor 3)*

Ademais, os próprios participantes identificaram uma outra alternativa de contornar essa limitação, inclusive utilizando o modelo para ensinar tópicos que não são, necessariamente, da estequiometria:

((01h37min47s)) *[[...]]/ você coloca seus reagentes em dois sistemas diferentes/ e aí lá você coloca/ por exemplo/ em dois béqueres/ reagente A e reagente B/ aí você vai ter os dois frasquinhos de A e dois frasquinhos de B/ um frasquinho de A/ um frasquinho de A/ um frasquinho de B/ um frasquinho de B/ aí você vai colocar os dois frasquinhos de reagentes separados e aí aqui você mistura; (Professor 1)*

((01h38min12s)) *sim/ só que acontece que você vai ter a.../ coexistência de reagente e produto; (Professor 3)*

((01h38min14s)) *então você foi mais sensacional/ você não está falando de um problema/ você está falando de uma outra forma de explorar/ que eu achei mais interessante/ você pode falar do equilíbrio/ que você tem os dois ao mesmo tempo/ eu achei sensacional; (Professor 1)*

Isso evidencia, também, mais uma potencialidade do modelo “balança de equações”, uma vez que permitiu aos docentes a apropriação do modelo de um modo não previamente mapeado no estudo.

Outras limitações identificadas para esse modelo, foram em relação a materialidade do recurso, como por exemplo, a sensibilidade da balança, já que não

seria possível utilizar modelos para representar os átomos com materiais muito leves, como na nossa primeira tentativa de utilizar EVA e, ainda, que ela deve estar muito bem calibrada, pois uma pequena variação na massa pode indicar que a balança está equilibrada e a equação balanceada, mas na verdade, isso pode estar incorreto, conforme observado nos trechos:

((01h49min56s)) a sensibilidade./ a sensibilidade da balança é outro problema né(!?)/ [...]; (Professor 3)

((01h12min14s)) então quer dizer a equação não tá errada e numa questão rápida/ os alunos podem chegar e falar/ tá zerado e {não está}/; (Professor 6)

Além disso, Professor 3 citou uma outra limitação quanto a materialidade: o tamanho dos recipientes utilizados; ressaltando que se eles fossem maior, seria possível abordar melhor a questão das relações de proporcionalidade entre as substâncias em uma equação química:

((01h49min17s)) é/ eu acredito que se fosse maior essa caixinha seria mais benéfico/ porque você tinha a opção de/ se dobrar o produto eu tenho que dobrar o reagente/ para continuar balanceando/ mas talvez o tamanho da caixinha não permita você aumentar tanto a quantidade de bolinhas/ aí ele iria percebendo essas proporções; (Professor 3)

Destacamos que os professores reconhecem que em todos os recursos didáticos e em modelos em geral existem limitações, no entanto, ressaltam que o professor deve mediar a prática de ensino de modo a explicitar essas limitações e discuti-las em sala de aula:

((01h53min27s)) é/ você que tem que nortear a observação dele {estudante}; (Professor 3)

((01h53min32s)) é eu acho que é isso o papel do professor no conhecimento né(!?)/ porque se a gente não deixa isso claro pro aluno/ a gente desvaloriza e desmerece nossa profissão/ então eu acho que é esse nosso papel mesmo/ é criar os recursos e conduzir os alunos pra que eles utilizem esses recursos de forma a obter resultados/ porque é.../ você pode fazer mil coisas com o mesmo objeto né(!?)/ [...]; (Professor 1)

((01h54min48s)) [...]/ tem problemas sim/ em todos os modelos/ se a gente for pensar/ problemas eu falo assim/ [...]/ é/ limitações/ mas eu acho que nenhuma delas impede o uso/ [...]; (Professor 4)

((01h57min42s)) é/ sim/ você já tem que criar a limitação/ isso aqui vai ser pra gente ver isso/ não ver outras coisas; (Professor 3)

((01h58min15s)) é mas eu acho que qualquer modelo que a gente for utilizar/ ele vai ter suas limitações; (Professor 1)

((01h12min23s)) ah mas isso daí corrige na hora/ o aluno te chama/ você fala/ olha; (Professor 7)

((01h12min28s)) é até bom porque você fala/ olha vamos contar/ você errou isso aqui/ você errou; (Professor 7)

Diante do exposto, conforme nosso referencial teórico (OLIVA MARTÍNEZ & ARAGÓN-MÉNDEZ, 2009; JUSTI & GILBERT, 2006; MOZZER & JUSTI, 2018) e experiência docente, os modelos, tanto os convencionais, quanto os analógicos, possuem limitações e elas devem ser abordadas em sala de aula a fim de esclarecer possíveis interpretações equivocadas por parte dos estudantes em relação aos conceitos científicos, pois, como já discutido nessa pesquisa, os modelos são recursos criados com a finalidade de representar parcialmente uma entidade de interesse científico. Além disso, evidenciamos com a fala dos docentes, que os modelos, de fato, podem se constituir como recursos mediacionais fundamentais para o ensino de conceitos científicos, incluindo os modelos fundamentados em analogias, isto é, os modelos analógicos.

### 5.3.2.2 Aspectos relacionados as características dos recursos apresentados

Em um segundo momento dessa parte do grupo focal, procuramos entender como os professores classificariam os recursos apresentados quanto ao tipo de modelagem empregada: convencional ou analógica.

Todos os participantes reconheceram que os quatro recursos apresentados representam algum conceito ou entidade de interesse da Química, inclusive souberam diferenciar se os recursos apresentados eram modelos:

((01h02min33s)) eu acredito o seguinte/ uma balança desconectada da vida/ é um recurso; (Professor 3)

((01h02min40s)) agora na medida que você usa a balança para explicar uma ideia/ aí é um modelo; (Professor 3)

((01h59min46s)) eu acho que sim, porque a proposta de um modelo é representar alguma coisa/ então/ isso {clipes} tá representando de um jeito /e isso {balança}/ tá representando de outro; (Professor 1)

Ao serem questionados qual conceito, elemento ou procedimento da Química que o modelo de clipes estaria representando, os participantes disseram que além das relações estequiométricas, o modelo, também, poderia representar uma transformação química e os átomos propriamente dito:

((01h13min04s)) seria um modelo de reação/ de formação/ de transformação química {clipes}; (Professor 7)

((01h13min11s)) transformação química/ de reação {clipes}; (Professor 6)

((01h59min58s)) os clipes representam átomos que se conectam; (Professor 1)

Em contrapartida, para o modelo da “balança de equações”, eles disseram que ele poderia representar a conservação de massa (lei de Lavoisier):

((01h12min29s)) conservação de massa {balança}/ pra mim; (Professor 7)

((01h13min00s)) o da balança é o conceito que tem que passar é isso {conservação de massa}; (Professor 6)

Ao questionarmos se a “balança de equações” estaria representando uma equação química, a maioria dos participantes concordaram com essa colocação:

((01h23min46s)) tanto que eu acho interessante a associação/ balança com balanceamento/ então/ isso daí/ do jeito que você perguntou/ sim/ eu concordo totalmente/ ela representa uma equação química; (Professor 6)

Inclusive, alguns professores, reconheceram que o modelo foi criado com o objetivo específico de representar uma equação química, identificando elementos do domínio base da analogia com a balança de dois pratos (representante) e elementos do domínio alvo – equação química (representado):

((01h26min11s)) tanto que por causa disso/ agora/ pensando nesse ponto de vista/ aí o nome balança de equações é muito mais coerente do que balança de reações; (Professor 6)

((01h26min36s)) sim/ é inicialmente/ eu pensei que tinha que ser reações/ mas observando/; (Professor 6)

((01h26min44s)) a maneira da escrita da equação né(!?)/ realmente você tem o reagente e o produto ali/ tá na equação; (Professor 5)

((01h41min05s)) a gente/ eu tô (Sic) percebendo que tem até a seta de reação/ olha ali/ vocês perceberam isso?); (Professor 3)

((01h41min30s)) sim/ porque/ aí quando aquele pininho (sic) encaixa no zero é porque tá bem balanceado/ bem nivelado; (Professor 3)

((01h02min49s)) pois é/ ainda mais essa/ que é toda./ R/ P/ foi feita para./ foi construída/ mesmo que não tivesse toda linda desse jeito/ se fosse uma balança de pratos comum/ se ela tá só sendo usada pra pesagem/ ela é um recurso/ agora/ vou pegar ela e vou tentar entender uma ideia a partir disso daí/ aí ela se tornou um modelo/ ao menos ao meu ver; (Professor 3)

((02h14min31s)) aquela lá não/ aquela lá ok/ mas essa daí/ ela tá fazendo menção toda hora/ ela tá te direcionando/ ó/ é uma equação/ daqui pra cá/ coloca R/ coloca P/ lá não tem nada disso/ R e P; (Professor 3)

Conforme relatado na seção 5.2, utilizamos esses elementos na “balança de equações” construída com a intenção de representar uma equação química.

Perguntamos, também, em cada caso se eles classificariam o modelo como convencional (não fundamentado em uma analogia) ou analógico (fundamentado em uma analogia). Obtivemos os seguintes resultados resumidos na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados quanto a classificação do tipo de modelagem: convencional ou analógica.

Classificação	Modelo			
	PHET Sanduíche	PHET Moléculas	Clipes	Balança de equações
<b>Modelo Convencional</b>	0	7	3	4
<b>Modelo Analógico</b>	7	0	4	3

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Assim, concluímos que nos modelos virtuais da plataforma PHET apresentados, não houve dúvidas ou discordâncias em relação a qual modelo seria o convencional e qual seria o analógico. Os participantes concordaram com nossa análise em dizer que o modelo de sanduíches se constitui como um modelo analógico por estar fundamentado na analogia da produção de sanduíches com uma transformação química e que o modelo de moléculas era convencional por representar os átomos e moléculas da forma tradicionalmente estabelecida na comunidade acadêmica que é por bastão e bola:

((48min11s)) o analógico é o sanduíche/ e as moléculas convencional;  
(Professor 7)

((01h26min57s)) eu acho que./ para mim é bem claro/ que o sanduíche é um modelo analógico/ uma analogia né(!?); (Professor 3)

((01h27min18s)) eu falaria o do sanduíche {é analógico}/ porque molécula é molécula/ sanduíche é sanduíche/ [...]; (Professor 1)

((01h28min28s)) na verdade você está usando um modelo de bastão e bola/ para poder representar molécula/ que é um modelo convencional; (Professor 2)

Por outro lado, nos modelos concretos dos clipes e da “balança de equações”, não tivemos uma unanimidade quanto a classificação da sua modelagem: convencional ou analógica. Analisemos primeiro o modelo dos clipes, em que três professores concordaram que ele é um modelo convencional e quatro que é um modelo analógico. A maioria dos professores acreditaram que o modelo de clipes seria fundamentado em uma analogia (analógico), pois os clipes foram utilizados de modo a representar átomos e sua junção representaria uma molécula:

((02h03min47s)) para mim a representação do átomo como um clipes é uma analogia; (Professor 2)

((02h04min15s)) porque esse daqui {clipes}/ você pega uma coisa que não é um átomo/ que não representa um átomo/ e faz de conta/ que na sua representação equivale a um/ então é uma analogia/ [...]; (Professor 1)

No entanto, esses docentes focaram suas reflexões apenas no domínio alvo, sem considerar que no domínio base, não há essa junção (arranjo) de clipes com

algum objetivo funcional, conforme descrevemos na seção 5.1.1.3 e, também, foi observado por Professor 6:

((01h21min16s)) é porque é.../ você disse que os cliques representam átomos e quantas vezes você já viu um cliques um junto do outro(!?)/ é só por conta disso/ porque eu não consigo dizer que é natural você pegar e juntar o cliques/ é só por conta disso/ já o sanduíche eu acho que é uma analogia melhor/ porque pra você fazer um sanduíche você vai ter que fazer uma mistura entre os ingredientes do sanduíche; (Professor 6)

((01h22min35s)) mas é porque um sanduíche você faz/ você juntar os cliques um no outro/ você não faz; (Professor 6)

Em relação ao modelo da “balança de equações”, a concordância entre os professores também não foi unânime, menos da metade (3 professores) consideraram o modelo como analógico. Por exemplo, Professor 6 reconheceu haver uma analogia entre a balança e uma equação química, mas não considerou o modelo como analógico, pois acredita que o convencional é aquilo que é comum para o estudante:

((01h14min55s)) eu acho que é mais o recurso da balança/ porque a balança dá noção que a massa de um lado vai ter que ser igual a massa do outro/ independente do que tiver acontecendo/ se tem uma reação química/ pra ter o balanceamento da./ acertar a estequiometria da reação/ [...] mas é interessante pra lei de conservação porque a massa que entrou aqui é a que tem que tá do outro lado/ e aí/ ela atingiu o equilíbrio da equação/ que é o objetivo/ equilibrar a equação/ na parte estequiométrica; (Professor 6)

((01h16min14s)) mas é isso./ analogia/ o equilíbrio da balança/ do peso/ mas também vai me dar o equilíbrio da reação; (Professor 6)

((01h28min21s)) para hoje em dia/ eu não acho que é analógico/ porque eles já não têm mais essa noção da balança de dois pratos; (Professor 6)

((01h28min34s)) não/ não é mais familiar a eles/ então/ você apresentar a balança/ eles até entendem o conceito da balança/ que na hora que ela vai equilibrar/ porque os pesos são iguais/ mas dizer que eles veem isso no dia a dia na vida deles/ eles não veem/ é uma coisa que deixou de ser convencional/ porque antigamente era convencional/ você ia comprar qualquer coisa/; (Professor 6)

Outros professores também consideraram que uma analogia seria uma comparação fundamentada em algo mais próximo a vivência dos alunos:

((01h14min40s)) é uma coisa que tá mais próximo da vivência dele/ o cliques ele pode pegar qualquer hora e montar né(!?)/ agora uma balança/ ele teria que/; (Professor 5)

((01h28min09s)) e uma balança de dois pratos é difícil deles terem acesso/ enxergarem; (Professor 5)

((01h28min24s)) não/ mas é porque.../ por conta disso./ é porque/ para nós que tivemos a experiência de presenciar isso numa loja de comércio/ pra nós era comum ver uma balança de dois pratos e entender como ela funcionava; (Professor 6)

Tais considerações apresentadas pelos professores participantes nos grupos focais sobre o tipo de modelagem empregada em cada caso é divergente da

concepção de analogia de nosso referencial teórico, que considera que uma analogia é um tipo de comparação entre um domínio base, familiar a quem o estabelece, e um domínio alvo, conceito a ser ensinado, com foco em suas relações de similaridade (GENTNER, 1983).

Alguns professores também consideraram que o modelo da “balança de equações” era convencional devido ao fato dos átomos e das moléculas terem sido representados pelo modelo bastão e bola, mesmo quando questionados para avaliar todo o conjunto completo e não apenas as moléculas, ou, ainda, por não reconhecerem a analogia que fundamentou o modelo:

((01h28min04s)) aí não acho/ acho que é convencional porque tem molequinhas (sic) {moléculas}; (Professor 7)

((01h31min02s)) eu acho que.../ o tempo todo a gente fala desse balanço/ não é(!?)/ então por isso que é./ o desenho da balança não é comum pra sala de aula/ mas essa linguagem de quantidade de massa dos reagentes e quantidades de massa do produto/ é uma coisa muito comum/ por isso que eu tô (sic) chamando de convencional; (Professor 7)

((02h06min50s)) eu acho que é um modelo/ porque é uma representação/ um modelo é uma coisa que você vai utilizar para representar alguma coisa/ então isso não é uma reação/ isso não é uma equação/ então é um modelo/ mas é um modelo convencional/ não tem analogia; (Professor 1)

((01h29min24s)) do jeito que tá aqui/ realmente/ faz a diferença/ porque se eu fizer com cliques e regular a balança vai ficar interessante/ mas/ ainda assim/ vai faltar alguma coisa aí; (Professor 6)

Além disso, alguns professores interpretaram a terminologia “convencional” como sendo algo comum, ou até mesmo familiar. Contudo, no contexto de nossa pesquisa, não temos empregado o termo convencional como algo meramente comum. Para nós, um modelo convencional é uma representação criada a partir das convenções de uma comunidade fundamentadas no conhecimento científico sobre a entidade representada.

Destacamos a fala do Professor 6 ao sugerir que se tivesse trocado o modelo de bastão e bola e utilizado os cliques para representar os átomos, aí haveria uma possível analogia, indicando que o modelo não seria mais convencional, no entanto, o próprio participante diz que “vai faltar alguma coisa”, reconhecendo que para ele, ainda não é possível reconhecer como um modelo analógico.

Ressaltamos que antes dessa conclusão dos participantes, houve uma discussão a respeito de como a balança estava sendo utilizada, as suas inscrições e se existiria ali uma analogia com uma equação química:

((02h06min19s)) mas você pensa que a equação por si só já é uma representação; (Professor 1)

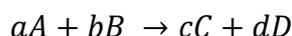
((02h07min18s)) olha só/ eu acho que na verdade/ isso não é uma equação/ mas representa uma equação; (Professor 3)

((02h07min28s)) engraçado que a equação/ o interessante que a equação é um modelo da reação; (Professor 3)

((02h08min08s)) não/ porque no modelo convencional de equação é bem isso aqui ó {direciona para a balança}/  $aA + bB$ / isso sim é um modelo convencional de equação; (Professor 3)

((02h08min24s)) quando você falou pra olhar tudo que tem na balança/ aí me incomodou essa parte da equação/ eu falei assim/ não/ se ele for usado né(!?)/ nesse intuito não é convencional; (Professor 4)

Destacamos que alguns professores reconheceram que a própria equação química é uma representação, ou seja, é um modelo de uma reação química, no entanto, Professor 3 esclarece que a representação convencional de uma reação química é a equação inscrita na base da balança:



E, portanto, utilizar uma balança para representar uma equação química não é um modelo convencional:

((02h04min54s)) não sei/ porque balança de equações/ eu tô (sic) achando isso analógico também; (Professor 4)

((02h14min44s)) eu concordo com você/ ela é uma forma não convencional de se representar uma reação/ porque ela foi construída para/ ela não é qualquer balança/ ela é uma balança que representa uma equação e é uma forma não convencional/ porque o que a gente tem de convencional para representar uma equação é isso {aponta para a base da balança}; (Professor 3)

Essa mesma interpretação foi realizada durante a metodologia no esquema relacional entre o modelo convencional e o modelo analógico (Figura 6) e na análise estrutural do modelo na seção 5.2, quando explicitamos os elementos do domínio representante (balança) com os elementos do domínio representado (equação química).

Portanto, apesar da inicial dificuldade dos participantes em relação a terminologia empregada no grupo focal – “modelo convencional” e “modelo analógico”, todos inferiram sobre as suas percepções em relação a classificação do tipo de modelagem que para eles estava sendo representada em cada modelo. Além disso, a análise sugere que os professores consideram a terminologia de “equação química” e “reação química” similar, de modo a não identificar os domínios representante e representado. Evidenciamos a necessidade e a importância de professores participarem de pesquisas envolvendo a área de modelagem para o ensino de Ciências, especialmente, para o ensino de Química, pois isso pode conferir uma

reflexão sobre as potencialidades e limitações que o uso desses recursos didáticos podem trazer para o ensino e a aprendizagem.

### 5.3.3 Terceira sequência do grupo focal

Na última sequência dos grupos focais, tivemos a intenção de verificar a abordagem de modelos como recurso didático para uma Educação Tecnológica, ou seja, identificar possíveis vantagens e desvantagens do uso desses recursos na EPTNM.

A maioria dos professores apresentaram dúvidas em relação aos termos: educação tecnológica e ensino tecnológico; alguns deixaram claro que não sabiam responder as perguntas dessa última sequência, pois desconheciam a definição de uma educação tecnológica. Identificamos alguns conceitos do que os participantes entendem por ser ensino tecnológico ou educação tecnológica:

((02h22min21s)) [...] / o que que seria o tecnológico(!?) / seria pensar em / não o conhecimento pelo conhecimento / mas o conhecimento por uma aplicabilidade desse conhecimento / seria isso(!?) / porque eu não vejo o tecnológico como uma necessidade de ter um recurso digital / eu não vejo isso / então / aí eu acho muito difícil responder sua pergunta / [...]; (Professor 1)

((02h25min59s)) então / o que eu vejo como tecnológico / é tá alerta pro que tá acontecendo / para o que tá sendo desenvolvido / [...]; (Professor 4)

((02h31min06s)) o aluno que sai preparado para o trabalho / sabendo das novas tecnologias / preparado para usar as novas tecnologias /; (Professor 2)

((02h31min15s)) e parar criar novas tecnologias; (Professor 2)

Observamos que, no geral, os professores concordam que o tecnológico não precisa, necessariamente, ter uma associação direta com algo digital e alguns inferiram que o tecnológico tem alguma relação com a aplicabilidade dos conceitos e estar atualizado com o desenvolvimento da ciência. Professor 2 estende um pouco esse entendimento para que os estudantes devem estar preparados para o mundo do trabalho, conhecendo, sabendo utilizar e/ou criar tecnologias. Essas definições, mesmo que não em sua totalidade, concordam com nosso referencial teórico no que tange a concepção de que a Educação Tecnológica integra os conceitos de educação com o mundo da tecnologia, ou seja, ela é a mediação para debater os pontos fundamentais da educação para os estudantes saberem usar, desenvolver e refletir sobre o uso das tecnologias no seu cotidiano e no mundo do trabalho. (GRINSPUN, 2001).

Alguns docentes reconheceram que os modelos apresentados são vantajosos para o ensino de estequiometria, mas não sabiam dizer se eles tinham alguma relação com a educação tecnológica, conforme exemplificado abaixo:

((02h19min49s[...]) eu não tenho a menor dúvida que os recursos aqui são muito válidos e que eles auxiliam a aprendizagem/ eu não tenho dúvida disso/; (Professor 1)

((02h20min01s)) mas você diria que há uma potencialidade pro ensino de química/ associar esses recursos(?); (Mediador)

((02h20min05s)) sim/ com certeza/ sem sombra de dúvida/ mas aí responder a sua pergunta sobre qual que é a relação disso com a educação tecnológica/ não consigo responder/ porque não é claro pra mim a definição do que que é uma educação tecnológica; (Professor 1)

((01h33min02s)) você ensinar/ usar essas ferramentas para ensinar o pessoal da ambiental/ vai auxiliar isso daí/ eles a entender a aplicação disso no dia a dia deles? (Professor 6)

((01h33min15s)) a entender sim/ a entender sim/ [...] eu não consigo responder o que/ o que tem de tecnológico/ [...]; (Professor 7)

Os professores afirmaram que há uma potencialidade no uso dos modelos apresentados, porém não sabem relacionar o que eles têm de tecnológico ou quais as vantagens do seu uso para uma educação tecnológica. Grinspun (2001) confirma que não há um consenso quanto ao conceito de Educação Tecnológica, mas tangendo mais para uma perspectiva pedagógica, ela infere que essa educação deve desenvolver, usufruir e pensar na tecnologia em sua formação e nas relações com toda a sociedade. À luz dessa concepção, identificamos na fala de outros docentes que os modelos podem favorecer um ensino tecnológico e/ou sua aplicação tecnológica:

((02h19min31s)) eu acredito que esses recursos que você trouxe favorecem muito aí nesse sentido do tecnológico/ porque as vezes a gente lida com recursos muito comuns/ que não tem nada de tecnológicos/ [...]; (Professor 1)

((01h33min53s)) [...] isso tudo representa a estequiometria muito bem/ agora como isso daí vai fazer./ mas aí é só pensar/ por exemplo/ o *Subway*/ como é que o *Subway* funciona(!?)/ é um processo industrial/ ele é um processo industrial/ e a gente usou a analogia do sanduíche/ e é exatamente isso/ então pra aplicação tecnológica/ ele funciona sim/ só que pro que a gente tá vendo agora aqui/ com esses modelos aqui que a gente tem/ mas é.../ talvez seja a ideia do que que é tecnológico/ o que que é industrial; (Professor 6)

Na tentativa de compreender as vantagens e desvantagens de se empregar, especificamente, os modelos analógicos como recurso didático em uma educação tecnológica, observamos que os participantes, do mesmo modo, não souberam responder, em sua maioria, porém, destacamos a reflexão:

((02h24min24s)) sabe o que que eu acho(!?)/ eu penso assim/ olha/ vocês usaram de muita criatividade na criação desse modelo/ isso traz esse viés do criar/ sabe(!?)/ então/ mostra pra eles/ olha/ a gente pode ter criatividade também dentro da química/ do criar algo novo e../ isso que vocês fizeram é/ ensina com o próprio exemplo sabe(!?)/ olha o que eu fiz/ eu criei uma coisa nova/ com uma ideia da química/ então/ eu acho que ensina pra eles nesse sentido sabe(!?);(Professor 3)

Mesmo que em sua fala, o Professor 3 não tenha explicitado o ensino tecnológico ou a Educação Tecnológica, entendemos que ao dizer “isso traz o viés do criar”, podemos relacionar ao entendimento de Grinspun (2001) quanto a uma educação para o criar novas tecnologias. Além disso, ao dizer que utilizamos de muita criatividade usando uma ideia da Química, pressupõe que os modelos, a partir da função criativa, desde que ponderadas sua revisão, podem auxiliar alunos no ensino de ciências (MOZZER & JUSTI, 2008).

Assim, embora não tenha sido possível desenvolver uma discussão mais profunda sobre as consequências do uso de modelos para o ensino na Educação Tecnológica, inferimos que eles se constituem como ferramentas de ensino potencializadoras, que podem contribuir para um ensino de ciências mais crítico e reflexivo sobre sua aplicabilidade no cotidiano e na vida profissional do indivíduo. Portanto, consideramos que os modelos, em destaque os modelos analógicos, podem se constituir como um recurso didático no ensino de Química, incluindo o contexto da Educação Tecnológica.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A sequência metodológica e a análise de resultados nos permitiu compreender, na percepção de professores de Química da EPTNM, quais as potencialidade e limitações pedagógicas envolvidas no uso de modelos analógicos e modelos convencionais para o ensino de Química. Assim, pudemos analisar o problema que orientou nossa pesquisa: quais as potencialidades e limitações pedagógicas de modelos analógicos concebidos para o ensino de Química, no contexto da estequiometria, a partir das percepções de professores da Educação Profissional Técnica de Nível Médio?

Buscando responder a esse problema, nosso percurso metodológico foi dividido em três etapas: (i) Análise do potencial analógico de comparações, no contexto da estequiometria, presentes nos livros didáticos de Química aprovados no PNLD/2018, por meio de mapeamentos estruturais; (ii) Elaboração de modelo analógico, a partir das comparações estruturalmente consistentes e sistemáticas, que pudessem ser utilizados no ensino dos respectivos subtópicos de conteúdo para os quais as analogias haviam sido propostas; (iii) Apresentação dos modelos analógicos para professores de Química da formação geral e técnica da EPTNM, do CEFET-MG, por meio de grupos focais, a fim de analisar suas percepções a respeito das potencialidades e limitações dos recursos mediacionais apresentados em eventuais situações de uso.

Na primeira etapa de análise do potencial analógico das comparações (seção 5.1) realizamos o mapeamento estrutural das comparações evidenciadas nos capítulos que envolviam o contexto da estequiometria com a finalidade de identificar potenciais analogias para a elaboração de modelos analógicos. Evidenciamos 19 possíveis comparações distintas que foram classificadas da seguinte forma: 11 analogias, 4 abstrações, 1 metáfora relacional, 1 modelo convencional, 1 modelo analógico e 1 comparação por contraste (categoria emergente). Entre os resultados, consideramos que a maior porcentagem de comparações com foco nas relações evidencia o caráter mais relacional e menos descritivo dos subtópicos da estequiometria tomados como alvos das comparações. Esse aspecto é corroborado pelo fato de não terem sido encontradas comparações de mera aparência. Constatamos, também, que houve mais relações de equivalência e proporcionalidade devido a própria natureza do conteúdo da estequiometria química. Assim, nessa

primeira etapa, confirmamos a importância do mapeamento estrutural para a análise estrutural, semântica e pragmática de comparações, assim como, da sua necessidade para classificar o tipo de comparação evidenciando o seu potencial analógico. Identificamos duas analogias que se destacaram durante essa análise e, também, por apresentarem um número maior de relações mapeadas: 1<sup>a</sup>) Analogia entre “acerto de coeficientes estequiométricos e uma balança de dois pratos” (seção 5.1.1.1) e 2<sup>a</sup>) Analogia entre “Lei de Proust e relações estequiométricas e receita culinária” (seção 5.1.7).

Concluída a primeira etapa, ela forneceu dados para a elaboração de um modelo analógico. Assim, inspirados pelas passagens textuais e ilustrações dos livros didáticos e, ainda, por apresentar correspondências de relações de ordem superior em seu mapeamento estrutural, escolhemos a analogia entre “acerto de coeficientes estequiométricos e uma balança de dois pratos” para elaborar o modelo analógico. Desenvolvemos, então, o modelo concreto tridimensional que chamamos de “balança de equações” (seção 5.2). Ele foi idealizado tendo como domínio representante a ideia de uma balança de dois pratos, e como domínio representado uma equação química, ou seja, utilizamos o recurso de uma balança para representar uma equação química (*Reagentes* → *Produtos*). Apesar do modelo promover a possibilidade de identificação de que as substâncias produtos são diferentes das substâncias reagentes, ressaltamos que nosso objetivo não foi representar uma reação química e sim uma equação química. Em seguida, fizemos o mapeamento estrutural do modelo que permitiu identificar a sua abrangência e possíveis limitações conceituais. Esse mapeamento possibilitou uma quantidade ligeiramente maior de relações, o que aumentou sua sistematicidade, além de superar a maioria das limitações apresentadas no mapeamento da analogia que o inspirou. Isso indica que o uso de modelos analógicos pode favorecer a quantidade de relações e, conseqüentemente, inferências que os estudantes podem formular em relação ao domínio alvo. Assim, diante desse mapeamento estrutural e da nossa experiência docente, consideramos como abrangência do modelo os subtópicos: 1<sup>o</sup>) balanceamento dos coeficientes de uma equação química, 2<sup>o</sup>) lei da conservação de massa (Lei de Lavoisier), 3<sup>o</sup>) reagente em excesso e limitante e 4<sup>o</sup>) proporções estequiométricas. E como limitação, a inscrição que sinaliza o equilíbrio nas alturas dos pratos no DB, uma vez que não há um elemento correspondente no DA. No entanto, o modelo sugere que essa limitação pode ser considerada como um fator favorável para o ensino de

estequiometria, pois essa inscrição auxilia na visualização do equilíbrio de massas nos dois pratos, que assim como em uma equação química, há a igualdade de massas entre as substâncias reagentes e produtos: lado esquerdo e direito da equação, respectivamente.

Na terceira etapa da pesquisa apresentamos o modelo “balança de equações” juntamente com outros três modelos para professores de Química. Os modelos foram dois convencionais (sendo um digital e um concreto) e dois analógicos (sendo um digital e um concreto). Para a apresentação de cada modelo elaboramos um roteiro de sugestão de uso. Os modelos digitais foram duas simulações da plataforma PHET- Simulações Interativas, da Universidade de Colorado Boulder (Apêndice D), já um dos modelos concretos foi uma atividade do livro F (Apêndice E) e o outro modelo tridimensional foi o desenvolvido na etapa anterior dessa pesquisa (Apêndice F). Os participantes identificaram a abrangência, potencialidades e limitações no uso desses modelos convencionais e analógicos para o ensino de estequiometria conforme exposto na seção 5.3.

Perante a sequência apresentada, conseguimos responder nossa questão de pesquisa de quais as possíveis potencialidades e limitações de modelos analógicos concebidos para o ensino de estequiometria de acordo com os grupos focais com professores de Química do CEFET-MG. Identificamos que os docentes utilizam analogias e modelos em suas práticas de ensino e reconheceram que esses recursos são ferramentas potenciais no ensino e na aprendizagem de conceitos e procedimentos da Educação em Ciências. Alguns participantes reconheceram que modelos são recursos didáticos utilizados para representar entidades de interesse científico com objetivos específicos, o que corrobora com nosso construto teórico de que os modelos tem a função da representatividade, bem como, da dependência com o domínio alvo. Ademais, os docentes se apropriaram de alguns modelos de forma a identificar outras finalidades conceituais de utilização dos recursos didáticos. Isso foi de grande contribuição para nossa pesquisa, pois permitiu que os docentes reconhecessem o potencial dos recursos apresentados e, ainda, ampliassem as possibilidades de uso, o que sugere que o ensino e a aprendizagem com modelos incentiva a ampliação de inferências em relação aos conceitos científicos.

Em relação as limitações, os docentes reconheceram que todo modelo, não apenas os apresentados, possuem restrições quanto a seu uso. No entanto, enfatizaram que as limitações contribuem para refletir e aprofundar sobre os conceitos

a serem ensinados. Os participantes identificaram que todos os modelos apresentaram limitações quanto a sua abrangência, uma vez que não é possível abordar todos os subtópicos da estequiometria com eles, entretanto alguns poderiam se complementar. Por exemplo, o modelo de “balança de equações”, segundo alguns professores, poderia ser utilizado como um recurso didático introdutório dos conceitos da estequiometria e o modelo de cliques para aprofundar na questão do balanceamento de equações químicas e na transformação da matéria. Isso nos permite afirmar, que os modelos, mesmo os analógicos, não podem abranger todos os conceitos de um determinado tópico de conteúdo, mas que se desenvolvido de modo criterioso, ele atende as finalidades planejadas e suas limitações não impedem o seu uso.

Ainda dentro da nossa questão de pesquisa, buscando compreender as implicações do uso de modelos analógicos para o ensino de Química, identificamos que os professores apesar de reconhecer o que é um modelo, tiveram dificuldades para relacionar, em dois dos quatro recursos apresentados, qual seria o modelo convencional e qual seria o modelo analógico. Isso sugere uma complexidade ou, mais provável, um desconhecimento em relação a essas terminologias. Ademais, a concepção errônea de que o mero uso de um objeto familiar em um recurso o caracteriza como uma analogia pode ter contribuído para essa dificuldade que os participantes tiveram na diferenciação de modelos analógicos e modelos convencionais. Além disso, pudemos reconhecer a partir das falas apresentadas na seção 5.3 que os modelos analógicos parecem possuir um maior poder inferencial em relação aos modelos convencionais, uma vez que há uma analogia que o fundamentou, promovendo um maior número de correspondências entre os dois domínios comparados. Essa etapa nos mostrou a necessidade e a importância de docentes serem participantes de pesquisas envolvendo a área de modelagem para o ensino de Ciências, pois isso pode ampliar o conhecimento a respeito das potencialidades e limitações que o uso desses recursos didáticos podem trazer para o ensino e a aprendizagem de conceitos e procedimentos das ciências.

Além disso, ainda dentro do nosso problema de pesquisa em como os modelos podem contribuir para uma Educação Tecnológica, buscamos refletir sobre as seguintes questões: 1) O que seria uma Educação Tecnológica?; 2) Como promover uma Educação Tecnológica por meio da Educação em Ciências?; 3) Como promover uma Educação Tecnológica por meio de práticas educativas em Ciências e Tecnologia com modelagem?

Na tentativa de responder a essas questões, criamos a terceira sequência do grupo focal em que os resultados foram ilustrados na seção 5.3.3. O conceito de Educação Tecnológica não é claro para os docentes, porém, alguns se aproximaram da perspectiva que fundamentou nossa busca, que é uma educação não apenas voltada para a profissionalização e o mundo trabalho, mas que integra os conceitos de tecnologia e de educação, em que o aprendiz seja capaz de usar, refletir e/ou criar tecnologias para o uso profissional, assim como, para seu cotidiano. Os docentes também não souberam responder como o uso da modelagem, em especial os modelos analógicos, poderia promover e contribuir para uma Educação Tecnológica. Entretanto, os participantes reconheceram que os modelos apresentados são recursos didáticos vantajosos que podem promover a criatividade e despertar nos estudantes a motivação e curiosidade de criar novos artefatos relacionados a Ciência e Tecnologia.

Concluimos, assim, que a pesquisa trouxe reflexões importantes para o ensino e aprendizagem de Ciências por meio de práticas educativas fundamentadas em modelagem, mostrando que elas podem se constituir como possibilidades potencializadoras para a Educação em Ciências em articulação com a Educação Tecnológica, uma vez que pode promover através do uso de modelos um ensino mais crítico com aplicabilidade no cotidiano e na vida profissional dos estudantes. Destacamos como contribuições de desdobramentos dessa pesquisa a possibilidade de avaliar essa perspectiva metodológica, com a análise do potencial analógico de comparações no desenvolvimento de modelos e percepções de docentes sobre o seu uso, para outros conteúdos específicos do ensino de Química ou, ainda, para diversos temas das Ciências e Tecnologias. Ademais, a etapa empírica de análise pode ser desenvolvida com a reconstrução de modelos por estudantes ou até mesmo sua total elaboração por eles, o que pode favorecer significativamente para a área de pesquisas de práticas educativas fundamentadas em modelagem, uma vez que a percepção do estudante pode auxiliar na construção conjunta dos conceitos e procedimentos que envolvem as Ciências.

## REFERÊNCIAS

ADÚRIZ-BRAVO, A. **Elementos de teoría y de campo para la construcción de un análisis epistemológico de la didáctica de las ciencias**. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona. 1999.

AGUAYO, F.; LAMA, J. R. **Didáctica de la Tecnología: Diseño y desarrollo del currículo tecnológico**. Sevilla, España: Tebar, 1998.

ALMEIDA, D. J. E. D.; ALMEIDA, R. B. S. D.; FERRY, A. D. S. MAES-3DMF: mapeamento estrutural de um Modelo Analógico do Espaço Sideral 3D em Meio Fluido para o ensino de Ciências. **Latin American Journal of Science Education**, v. 5, n. 22004, 2018.

BARBOSA, W. V. **Análise da sistematicidade de analogias em contextos de ensino e de pesquisa na educação em ciências**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 221. 2019.

BARBOSA, W. V.; FERRY, A. S. Concepção de um software para mapeamento estrutural de analogias empregadas no ensino de ciências. **Educitec**, Manaus, v. 4, n. 8, p. 224 - 243, 2018.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2016.

BERNARDINO, M. A. D.; RODRIGUES, M. A.; BELLINI, L. M. Análise Crítica das Analogias do Livro Didático Público de Química do Estado do Paraná. **Ciência & Educação**, v. 10, n. 1, p. 135-150, 2013.

CÂMARA, R. H. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 6, n. 2, p. 179-191, 2013.

CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE. Resolução nº 466, de 12 de dezembro de 2012. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. **Diário Oficial da União [da] República Federativa do Brasil**, v. 150, n. 112, p. 201.

COSTA, A. A. F. D.; SOUZA, J. R. D. T. Obstáculos no processo de ensino e de aprendizagem de cálculo estequiométrico. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 10, n. 19, p. 106-116, 2013.

DUARTE, M. D. C. Analogias na educação em ciências contributos e desafios. **Investigações em ensino de ciências**, v. 10, n. 1, p. 7-29, 2005.

DUIT, R. On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. **Science education**, v. 75, n. 6, p. 649-672, 1991.

DURÃES, M. N. Educação técnica e educação tecnológica múltiplos significados no contexto da educação profissional. **Educação & Realidade**, v. 34, n. 3, p. 159-175, 2009.

FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A. O uso espontâneo de analogias por professores de biologia: observações da prática pedagógica. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 2, p. 107-118, 2002.

FERRY (ORG.), A. D. S. **Pesquisas sobre Analogias no contexto da Educação em Ciências à luz da Teoria do Mapeamento Estrutural (Structure-mapping theory)**. São Paulo: Livraria da Física, 2018.

FERRY, A. D. S. **Análise estrutural e multimodal de analogias em uma sala de aula de química**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 170. 2016.

FRANCISCO JUNIOR, W. E. Analogias em livros didáticos de química: um estudo das obras aprovadas pelo Plano Nacional do Livro Didático Para o Ensino Médio 2007. **Ciências & Cognição**, v. 14, n. 1, p. 121-143, 2009.

GALAGOVSKY, L. R.; GIACOMO, M. A. D.; ALÍ, S. Estequiometría y ley de conservación de la masa: lo que puede ocultar la simplificación del discurso experto. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 2, p. 351-360, 2015.

GALAGOVSKY, L.; ADÚRIZ-BRAVO, A. Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 2, p. 231-242, 2001.

GALAGOVSKY, L.; GIUDICE, J. Estequiometría y ley de conservación de la masa: una relación a analizar desde la perspectiva de los lenguajes químicos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 21, n. 1, p. 85-99, 2015.

GENTNER, D. Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. **Cognitive science**, v. 7, n. 2, p. 155-170, 1983.

GENTNER, D.; MARKMAN, A. B. Structure Mapping in Analogy and Similarity. **American psychologist**, v. 52, n. 1, p. 45, 1997.

GIERE, R. N. How models are used to represent reality. **Philosophy of science**, v. 75, n. 5, p. 742-752, 2004.

GILBERT, J. K. et al. Positioning models in science education and in design and technology education. In: \_\_\_\_\_ **Developing models in science education**. Dordrecht: Springer, 2000. p. 3-17.

GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. **Stretching models too far**. Annual conference of the american educational research association. San Francisco: [s.n.]. 1995. p. 18-22.

GILBERT, J. K.; JUSTI, R. **Modelling-based teaching in science education**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, v. 9, 2016.

GLYNN, S. Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. **The psychology of learning science**, p. 219-240, 1991.

GODOY, K. A. M. Aplicación de un juego didáctico como estrategia pedagógica para la enseñanza de la estequiometría. **Revista de investigación**, v. 39, n. 84, p. 181-204, 2015.

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

GRINSPUN, M. P. S. Z. Educação tecnológica. In: (ORG.), M. P. S. Z. G. **Educação tecnológica: desafios e perspectivas**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2001. Cap. 1, p. 25-73.

HAAPARANTA, L. The Analogy Theory of Thinking. **Dialectica**, v. 46, n. 2, p. 169-183, 1992.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. Analogical mapping by constraint satisfaction. **Cognitive science**, v. 13, n. 3, p. 295-355, 1989.

JUSTI, R. Relações entre argumentação e modelagem no contexto da ciência e do ensino de ciências. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. Especial, p. 31-48, 2015.

JUSTI, R. S.; GILBERT, J. K. Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, v. 24, n. 4, p. 369-387, 2002.

JUSTI, R.; GILBERT, J. The Role of Analog Models in the Understanding of the Nature of Models in Chemistry. In: \_\_\_\_\_ **Metaphor and analogy in science education**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 119-130.

KASHMAR, R. J. The use of cut-out molecular models on the overhead projector to illustrate stoichiometry and limiting reactants. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 7, p. 791, 1997.

KIMBERLIN, S.; YEZIERSKI, E. Effectiveness of inquiry-based lessons using particulate level models to develop high school students' understanding of conceptual stoichiometry. **Journal of Chemical Education**, v. 93, n. 6, p. 1002-1009, 2016.

MAKHECHANE, M.; QHOBELA, M. Understanding how chemistry teachers transform stoichiometry concepts at secondary level in Lesotho. **South African Journal of Chemistry**, v. 72, p. 59-66, 2019.

MARAIS, F.; COMBRINCK, S. An approach to dealing with the difficulties undergraduate chemistry students experience with stoichiometry. **South African Journal of Chemistry**, v. 62, n. 1, p. 88-96, 2009.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 67-91, 2000.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da Administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. “Nem tudo que reluz é ouro”: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 1, p. 123-147, 2015.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. Modelagem analógica no ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 23, n. 1, p. 155-182, 2018.

NERSESSIAN, N. J. Model-based reasoning in conceptual change. In: \_\_\_\_\_ **Model-based reasoning in scientific discovery**. Boston: Springer, 1999. p. 5-22.

OLIVA MARTÍNEZ, J. M.; ARAGÓN-MÉNDEZ, M. D. M. Contribución del aprendizaje con analogías al pensamiento modelizador de los alumnos en ciencias: marco teórico. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. 27, n. 2, p. 195-208, 2009.

OLIVEIRA, M. R. N. S. Mudanças no Mundo do Trabalho: acertos e desacertos na proposta curricular para o ensino médio (Resolução CNE 03/98): diferenças entre formação técnica e formação tecnológica. **Educação & Sociedade**, v. 21, n. 70, p. 40-62, 2000.

RAVIOLO, A.; LERZO, G. Analogías en la enseñanza de la estequiometría: revisión de páginas web. **Revista electrónica de investigación en educación en ciencias**, v. 9, n. 2, p. 28-41, 2014.

RAVIOLO, A.; LERZO, G. Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. **Educación química**, v. 27, n. 3, p. 195-204, 2016.

SANTOS, L. C.; SILVA, M. G. L. D. O estado da arte sobre estequiometria: dificuldades de aprendizagem e estratégias de ensino. **Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**, v. Extra, p. 3205-3210, 2013.

SILVA, L. D. S.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A. Repositórios de objetos de aprendizagem no ensino de estequiometria. **ACTIO**, v. 3, n. 3, p. 43-64, 2018. ISSN 3.

SILVA, L. P. D.; LIMA, A. D. A.; SILVA, S. A. D. **As Analogias no Ensino de Química: Uma Investigação de sua Abordagem nos Livros Didáticos de Química do Ensino Médio**. XV Encontro nacional de Ensino de Química. Brasília: Universidade de Brasília: [s.n.]. 2010.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. An interpretive examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. **ournal of Research in Science Teaching**, v. 31, n. 3, p. 227-242, 1994.

TRISTÃO, J. C.; DEFREITAS-SILVA, G.; JUSTI, R. D. S. **Estequiometria: Investigações em uma Sala de Aula Prática**. XIV Encontro Nacional de Ensino de Química (XIV ENEQ). Curitiba: [s.n.]. 21-24 julho 2008.

ZOOK, K. B. Effects of analogical processes on learning and misrepresentation. **Educational Psychology Review**, v. 3, n. 1, p. 41-72, 1991.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A<sup>6</sup> - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Projeto CAAE: 13885719.6.0000.8507, aprovado pelo Sistema CEP/CONEP, em 27 de junho de 2019.

Prezado (a) \_\_\_\_\_, você está sendo convidado (a) a participar da pesquisa intitulada: Potencialidades e limitações pedagógicas no uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria na educação tecnológica. Este convite se deve ao fato de você ser professor (a) de Química da Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM), o que contribuirá para o andamento dessa pesquisa.

A pesquisadora responsável pela investigação é Luciana Paula de Assis, RG: MG-14.623.714, aluna do Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). A pesquisa refere-se ao estudo do possível uso de modelos analógicos no ensino de Ciências, especificamente no ensino de Química. Por meio desta pesquisa, pretendemos contribuir para o campo de estudos constituído na interface da Educação em Ciências e da Educação Tecnológica, investigando potencialidades e limitações pedagógicas de práticas educativas em Ciência & Tecnologia (C&T) fundamentadas em modelagem analógica. A pesquisa conta com as seguintes fases: (1<sup>a</sup>) Análise do potencial analógico de comparações, no contexto da estequiometria, presentes nos livros didáticos de Química aprovados no Programa Nacional do Livro Didático 2018 (PNLD/2018), por meio de mapeamentos estruturais (Ferry, 2018); (2<sup>a</sup>) Elaboração de modelos analógicos, a partir das comparações estruturalmente consistentes e sistemáticas, que possam ser utilizados no ensino dos respectivos subtópicos de conteúdo para os quais as analogias haviam sido propostas; (3<sup>a</sup>) Apresentação dos modelos analógicos para professores de Química da formação geral da EPTNM, do CEFET-MG, por meio de grupos focais, a fim de analisar suas percepções a respeito das potencialidades e limitações dos recursos didáticos apresentados em eventuais situações de uso.

A sua participação, após o seu consentimento livre e esclarecido, ocorrerá na 3<sup>a</sup> fase dessa pesquisa, por meio da realização de um grupo focal que abordará questões relativas as suas percepções, ideias e opiniões quanto ao emprego de modelos analógicos no ensino de estequiometria para alunos de nível médio, com vistas às potencialidades e limitações desses recursos didáticos. O local e o horário do grupo focal serão combinados com você e os demais participantes, respeitando as suas disponibilidades e preferências. O ambiente no qual o grupo focal será realizado será uma sala de aula comum do campus I do CEFET-MG, que ofereça condições de conforto (pouco ruído ou barulho, isento de odores, com iluminação e mobiliário adequados), e condições de privacidade ao grupo. Consideramos importante dizer que você não terá nenhum custo com a pesquisa. Os critérios de inclusão são: (1<sup>o</sup>) ser professor de química atuante na Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM); (2<sup>o</sup>) declarar ter experiência no ensino de aspectos da estequiometria química. E os critérios de exclusão são: (1<sup>o</sup>) não ser professor de Química na

---

<sup>6</sup> A versão do TCLE preparada para os participantes apresentou o mesmo conteúdo em somente duas páginas.

Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM); ou (2°) declarar não ter experiência no ensino de aspectos da estequiometria química.

Esclarecemos que a coleta de informações será via gravação de áudio e transcrito para análise posterior, sendo destinada única e exclusivamente para a realização desta pesquisa. Ressaltamos que a sua identificação, ou a de qualquer outra pessoa mencionada durante a reunião do grupo focal, será omitida por meio de códigos alfanuméricos. Os arquivos dos registros dos áudios ficarão guardados em um computador portátil de acesso exclusivo dos pesquisadores. Cada arquivo será identificado com um código alfanumérico: GF1 (Grupo Focal 1) e GF2 (Grupo Focal 2). Os arquivos dos registros dos áudios serão guardados por um período máximo de 5 anos. Esse computador possui senha de conhecimento exclusivo da investigadora, proprietária do mesmo. As atividades serão mediadas por um dos pesquisadores com o auxílio de outro que operará os gravadores de áudio e fará anotações que considerar relevantes durante a realização do grupo focal. No caderno de anotações, os dados não serão registrados de forma identificada. Os participantes da pesquisa serão meramente designados nas anotações como PROF1 (professor 1), PROF2 (professor 2) e PROF3 (professor 3), sem distinção de gênero. Você poderá se ausentar a qualquer momento, não havendo nenhum prejuízo pessoal, caso sua decisão seja de não participar da pesquisa. Não será obrigatório responder a qualquer pergunta para a qual não se sinta confortável. Após a transcrição das falas, serão selecionados trechos de interesse para o estudo em questão sem identificação de qualquer participante.

Entendemos que os riscos decorrentes da sua participação nessa pesquisa são mínimos a você, restringindo-se a: possível cansaço ao longo da atividade em grupo, inibição, angústia ou constrangimento ao participar da atividade, decorrente do uso de equipamentos de registro e da presença de um segundo pesquisador, ou do desconforto em responder alguma pergunta. Como já foi mencionado, você poderá interromper sua participação e deixar o local da atividade sem prestar esclarecimentos.

Por outro lado, entendemos que você poderá ser diretamente beneficiado por meio da possibilidade de refletir sobre suas práticas educativas, uma vez que o emprego de modelos analógicos poderá se constituir como uma abordagem ou estratégia pertinente ao ensino de Química. Além disso, você terá a oportunidade de conhecer, caso ainda não conheça, algumas simulações de uma plataforma produzida pela Universidade do Colorado, conhecida como PhET, que poderá ser usada por você em sala de aula. Semelhantemente, de forma direta à sociedade e indireta aos participantes, a pesquisa possibilitará a reflexão sobre as percepções, ideias e opiniões de professores de Química frente ao uso de modelos analógicos no ensino de estequiometria.

De acordo com a legislação brasileira, como participante de uma pesquisa, você é portador de diversos direitos, além do anonimato, da confidencialidade, do sigilo e da privacidade, mesmo após o término ou interrupção da pesquisa. Assim, lhe é garantido:

- a observância das práticas determinadas pela legislação aplicável, incluindo as Resoluções 466 (e, em especial, seu item IV.3) e 510 do Conselho Nacional de Saúde, que disciplinam a ética em pesquisa e este Termo;
- a plena liberdade para decidir sobre sua participação e para retirar seu consentimento sem prejuízo ou represália alguma, de qualquer natureza. Neste

último caso, os dados colhidos de sua participação até o momento da retirada do consentimento serão descartados a menos que você autorize, explicitamente, o contrário;

- o acompanhamento e a assistência, mesmo que posteriores ao encerramento ou interrupção da pesquisa, de forma gratuita, integral e imediata, pelo tempo necessário, sempre que requerido e relacionado a sua participação na pesquisa, mediante solicitação ao pesquisador responsável;
- o acesso aos resultados da pesquisa;
- o ressarcimento de qualquer despesa relativa à participação na pesquisa (por exemplo, custo de locomoção até o local combinado para o grupo focal), inclusive de eventual acompanhante, mediante solicitação ao pesquisador responsável;
- a indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa;
- o acesso a este Termo. Este documento é rubricado e assinado por você e por um pesquisador da equipe de pesquisa, em duas vias, sendo que uma via ficará em sua propriedade. Se perder a sua via, poderá ainda solicitar uma cópia do documento ao pesquisador responsável.

Qualquer dúvida ou necessidade – nesse momento, no decorrer da sua participação ou após o encerramento ou eventual interrupção da pesquisa – pode ser dirigida aos pesquisadores:

- Mestranda: Luciana Paula de Assis, por e-mail: [lucianapauladeassis@gmail.com](mailto:lucianapauladeassis@gmail.com), telefone (31) 98832-5960, pessoalmente ou via postal para Rua Cora Coralina, 68, apt. 202, Santa Helena, Belo Horizonte, MG, CEP: 30642-500.
- Orientador: Alexandre da Silva Ferry, por e-mail: [alexandreferry001@gmail.com](mailto:alexandreferry001@gmail.com), telefone (31) 99196-9371.

Se preferir, ou em caso de reclamação ou denúncia de descumprimento de qualquer aspecto ético relacionado à pesquisa, você poderá recorrer ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), vinculado à CONEP (Comissão Nacional de Ética em Pesquisa), comissões colegiadas, que têm a atribuição legal de defender os direitos e interesses dos participantes de pesquisa em sua integridade e dignidade, e para contribuir com o desenvolvimento das pesquisas dentro dos padrões éticos. Você poderá acessar a página do CEP, disponível em: <<http://www.cep.cefetmg.br>> ou contatá-lo pelo endereço: Av. Amazonas, n. 5855 - Campus VI; E-mail: [cep@cefetmg.br](mailto:cep@cefetmg.br); Telefone: +55 (31) 3379-3004 ou presencialmente, no horário de atendimento ao público: às terças-feiras: 12:00 às 16:00 horas e quintas-feiras: 07:30 às 12:30 horas.

Se optar por participar da pesquisa, peço-lhe que rubrique todas as páginas deste Termo, identifique-se e assine a declaração a seguir, que também deve ser rubricada e assinada pelo pesquisador.

---

### DECLARAÇÃO

Eu, \_\_\_\_\_, abaixo assinado, de forma livre e esclarecida, declaro que aceito participar da pesquisa como estabelecido neste TERMO.

Assinatura do participante da pesquisa:

Assinatura do pesquisador:

Belo Horizonte, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2019

---

Se quiser receber os resultados da pesquisa, indique seu e-mail ou, se preferir, endereço postal, no espaço a seguir: \_\_\_\_\_

## APÊNDICE B – ROTEIRO GRUPO FOCAL

### Projeto de Pesquisa:

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES PEDAGÓGICAS NO USO DE MODELOS ANALÓGICOS PARA O ENSINO DE ESTEQUIOMETRIA NA EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA

Pesquisadores responsáveis:

Luciana Paula de Assis – Mestranda em Educação Tecnológica

Alexandre da Silva Ferry – Orientador

### **PLANEJAMENTO DO GRUPO FOCAL**

<b>Composição:</b>	
Participantes:	6 professores de Química da Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM) divididos em 2 grupos de 3 participantes. Critérios de Inclusão: (1°) Ser professor de química atuante na EPTNM; (2°) Declarar ter experiência no ensino de aspectos da estequiometria química. Critérios de Exclusão: (1°) Não ser professor de Química na EPTNM; ou (2°) declarar não ter experiência no ensino de aspectos da estequiometria química. Os participantes serão organizados em dois grupos. Os dois grupos se reunirão, separadamente, em dias diferentes. A separação dos participantes entre os dois grupos (as duas reuniões) será feita em função das disponibilidades para as datas propostas.
Equipe de Coordenação:	2 pesquisadores: Alexandre da Silva Ferry (Mediador); Luciana Paula de Assis (Auxiliar / Operador de áudio)
Encontros de Grupo:	1 sessão por grupo (duração prevista de 120 min) Grupo de 3 professores. Local: Alguma sala de aula disponível na própria instituição de trabalho dos participantes, reservada previamente com a direção da escola. Datas previstas: 10/06/2018 (Grupo 01) e 14/06/2018 (Grupo 02) – Essas datas poderão ser alteradas em função do parecer do Comitê de Ética e em função das disponibilidades dos professores convidados.
<b>Ferramentas:</b>	
Ambientação:	Os professores serão organizados em dois grupos de 3 participantes separados pelas disponibilidades indicadas no momento do convite feito pelos pesquisadores. Os encontros acontecerão em alguma sala de aula comum previamente reservada junto à direção de unidade do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Os dois encontros ocorrerão em dias distintos. Os professores se posicionarão em círculo juntamente com o mediador, que apresentará os temas/questões a serem discutidas sobre o uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria. O pesquisador auxiliar observará, de fora do círculo, fazendo anotações pertinentes à pesquisa sobre o modo como os participantes percebem e compreendem os modelos analógicos apresentados durante a realização do grupo focal, além das ideias e opiniões relativas ao tema discutido: potencialidades e limitações sobre o uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria.
Guia de Temas:	O grupo focal tem o objetivo de levantar informações a fim de responder as seguintes questões: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Como os modelos analógicos apresentados poderiam ser empregados no ensino de estequiometria?</i></li> <li>• <i>Quais seriam as vantagens e as desvantagens, na percepção dos participantes, de se usar esses modelos como recursos de mediação didática em sala de aula?</i></li> <li>• <i>Como os professores participantes percebem e compreendem os modelos analógicos apresentados?</i></li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Como os professores participantes percebem as analogias que fundamentaram a elaboração desses modelos?</i></li> <li>• <i>Como os domínios da analogia e da modelagem são percebidos pelos participantes?</i></li> <li>• <i>Entre os modelos analógicos concretos tridimensionais e as simulações de caráter analógico disponíveis na plataforma PHET, na percepção dos participantes, quais seriam as condições e restrições sobre o uso em sala de aula?</i></li> <li>• <i>Na percepção dos participantes, de que forma os modelos apresentados poderiam ser empregados: de modo complementar, de modo simultâneo ou de forma independente?</i></li> <li>• <i>Quais seriam as limitações, na percepção dos participantes, dos modelos analógicos para o ensino de subtópicos da estequiometria?</i></li> </ul> <p>Para tanto, a mediação do grupo focal será conduzida por conjuntos de perguntas planejadas para três sequências: (1ª) perguntas sobre as experiências dos docentes com o uso de analogias e modelos para o ensino de estequiometria em sala de aula; (2ª) Apresentação e comparação de simulações da plataforma PHET e de modelos concretos tridimensionais, seguida de perguntas sobre as percepções dos participantes a respeito dos aspectos estruturais e das possibilidades de uso desses recursos de mediação em sala de aula; (3ª) breve discussão sobre o emprego de modelos analógicos para o ensino de Química e suas tecnologias na perspectiva de uma educação tecnológica.</p>
<p>Guia de Avaliação:</p>	<p>Ao final, será aplicado um questionário para avaliação da atividade com o intuito de identificar algumas deficiências do processo que podem influenciar na análise dos dados levantados.</p> <p>O tempo de duração foi favorável para discutir todos os aspectos pertinentes ao tema?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim   <input type="checkbox"/> Não   <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>O ambiente contribuiu para que você ficasse à vontade para falar sobre o tema proposto?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim   <input type="checkbox"/> Não   <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>A abordagem realizada pelo mediador contribuiu para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim   <input type="checkbox"/> Não   <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>A presença do pesquisador auxiliar influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim, influenciou muito   <input type="checkbox"/> Sim, influenciou pouco   <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>O aparelho gravador de áudio influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim, influenciou muito   <input type="checkbox"/> Sim, influenciou pouco   <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>Os modelos analógicos concretos contribuíram para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim   <input type="checkbox"/> Não   <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>A visualização das simulações na plataforma PHET contribuíram para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?</p> <p><input type="checkbox"/> Sim   <input type="checkbox"/> Não   <input type="checkbox"/> Não sei responder</p> <p>Caso queira e/ou considere necessário, descreva pontos positivos e/ou negativos sobre sua experiência em participar desta atividade de grupo focal.</p>
<p><b>Operacionalização:</b></p>	
<p>Abaixo é apresentada a operacionalização de apenas uma sessão que será utilizada nos dois grupos focais.</p>	

Abertura (10 minutos)	Será feita uma sessão de introdução com agradecimentos pela contribuição com a pesquisa. Em seguida o mediador apresentará os objetivos da pesquisa e os motivos de convidar os participantes presentes. Será apresentado o TCLE aos participantes, a fim de esclarecer dúvidas e garantir os seus direitos. Então, será solicitado a assinatura do TCLE para os participantes que desejarem participar da pesquisa.
Apresentação dos Participantes (15 minutos)	Os participantes farão uma apresentação entre si onde falarão sobre sua formação e experiência com o ensino de Química, especificamente no ensino de estequiometria.
Esclarecimento acerca da dinâmica de discussão participativa (5 minutos)	Serão apresentadas informações acerca do desenvolvimento do grupo focal, suas etapas e tempo de duração, além de esclarecer sobre a possibilidade de desistência da participação da atividade, sem a necessidade de apresentação de justificativas, e sem a possibilidade de qualquer prejuízo ao desistente ou de punição por parte dos mediadores.
Estabelecimento dos critérios de ambientação (10 minutos)	Apesar da previsão de 120 minutos para realização completa da atividade, serão acordados com os participantes aspectos relativos ao tempo de duração (início e término do grupo focal), conversas paralelas e/ou desvios do tema, forma de uso de equipamentos eletrônicos: equipamentos para o grupo (gravadores de áudio) e equipamentos pertencentes aos participantes (celulares etc.). A fim de assegurar e preservar os direitos e os dados de todos os participantes, o uso de aparelhos celulares será restringido quanto à possibilidade de se fazer registros/gravações audiovisuais durante as discussões promovidas no grupo focal.
Debate (70 minutos)	<p>A mediação do grupo focal será conduzida pelas seguintes perguntas, propostas em 3 sequências.</p> <p><b>1ª sequência</b> - Experiências dos participantes quanto ao uso de analogias e modelos para o ensino de estequiometria em sala de aula</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Em sua experiência em sala de aula, como tem sido o ensino de conceitos e procedimentos no contexto da estequiometria?</li> <li>- Para vocês, os alunos têm apresentado mais ou menos dificuldades de aprendizagem ao lidar com a estequiometria?</li> <li>- Vocês consideram que o tema estequiometria é difícil para ser ensinado? Por quê?</li> <li>- Para vocês, quais seriam os principais pontos de maior dificuldade para os alunos ao lidarem com a estequiometria?</li> <li>- Em suas experiências profissionais, vocês já recorreram a alguma analogia para ensinar estequiometria? Por quê? Qual(is)?</li> <li>- Você conhece ou já ouviu falar sobre algum modelo ou tipo de modelo para o ensino de estequiometria? Você já utilizou algum modelo para ensinar estequiometria em sala de aula? Se sim, qual? Se sim, de que forma você utilizou esse modelo?</li> <li>- O uso dessa(s) analogia(s) e/ou modelo(s) foi planejado, ou seja, antes da aula você já tinha a intenção de fazê-la, ou foi espontâneo, isto é, surgiu numa tentativa de esclarecer algum tópico ou de tirar alguma dúvida ou dificuldade aparente dos alunos?</li> <li>- Independentemente de já ter usado ou não alguma analogia e/ou modelo para o ensino de estequiometria, vocês conhecem alguma? De onde vocês conhecem essas analogias ou os modelos?</li> <li>- Você conhece ou já ouviu falar sobre algum modelo fundamentado ou baseado em uma analogia? Se sim, qual exemplo você se lembra?</li> </ul> <p><b>2ª sequência</b> – Apresentação e comparação de simulações da plataforma PHET e de modelos concretos tridimensionais.</p> <p>Apresentação da simulação na plataforma PHET: Reagentes, excesso e produtos. Solicitar que os participantes/professores falem sobre as possibilidades de uso dessa simulação em sala de aula para o ensino de estequiometria. A fim de estimular e de provocar discussões sobre o uso dos</p>

	<p>recursos apresentados entre os participantes, possivelmente serão feitas as seguintes perguntas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vocês já conheciam essas simulações? Se sim, qual?</li> <li>- Alguma vez vocês já utilizaram alguma delas em sala de aula? Se sim, qual?</li> <li>- Já conheciam alguma simulação similar? Se sim, qual?</li> <li>- Vocês utilizariam em sala de aula para ensinar estequiometria? Por quê?</li> <li>- Vocês saberiam identificar para quais subtópicos da estequiometria esses recursos foram criados? Quais subtópicos da estequiometria poderiam, na percepção de vocês, ser explorados por meio desses dois recursos? (Expectativa de resposta: balanceamento de equações químicas, reagente em excesso e limitante)</li> <li>- Para esses subtópicos, como vocês avaliam a abrangência desses recursos? Vocês consideram que os recursos são bastante abrangentes ou não? Haveria alguma limitação do recurso sobre os subtópicos mencionados?</li> <li>- Em síntese, para vocês, quais seriam as “potencialidades” dessas simulações? Quais seriam as “limitações” dessas simulações?</li> <li>- Entre essas simulações que vocês utilizariam em sala de aula, vocês fariam alguma ressalva ou ajuste com seus alunos? Quais seriam? Por quê?</li> <li>- Para vocês, haveria, de fato, alguma analogia por trás desses recursos? Entre esses dois recursos didáticos, em qual deles fica mais evidente a proposição de uma analogia? Por quê?</li> <li>- Entre as duas simulações analisadas, como vocês classificariam a estratégia de modelagem: como sendo convencional, comum, ou como sendo analógica? Por quê?</li> </ul> <p>Após a apresentação dos recursos didáticos concretos, solicitar que os participantes/professores falem sobre as possibilidades de uso em sala de aula para o ensino de estequiometria. A fim de estimular e de provocar discussões sobre o uso dos recursos apresentados entre os participantes, possivelmente serão feitas as seguintes perguntas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vocês utilizariam algum desses recursos (modelos concretos) em sala de aula para ensinar algum conceito ou procedimento da estequiometria? Quais recursos? Para quais conceitos? Por quê?</li> <li>- Vocês saberiam identificar para quais subtópicos da estequiometria esses recursos foram criados? Quais subtópicos da estequiometria poderiam, na percepção de vocês, ser explorados por meio desses dois recursos? (Expectativa de resposta: balanceamento de equações químicas, reagente em excesso e limitante)</li> <li>- Para esses subtópicos, como vocês avaliam a abrangência desses recursos? Vocês consideram que os recursos são bastante abrangentes ou não? Haveria alguma limitação do recurso sobre os subtópicos mencionados?</li> <li>- Para vocês, esses recursos poderiam ser chamados de modelos? Por quê?</li> <li>- Assumindo que esses recursos possam ser concebidos como modelos, isto é, como representações parciais de alguma entidade de interesse científico, vocês saberiam dizer quais são essas entidades representadas? Para vocês, qual seria a entidade representada por cada um?</li> <li>- Alguma vez vocês já utilizaram algum desses modelos em sala de aula? Se sim, qual?</li> <li>- Já conheciam algum modelo (analógico) similar? Se sim, qual?</li> </ul>
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre os modelos concretos que vocês utilizariam em sala de aula, vocês fariam alguma ressalva ou ajuste com seus alunos? Quais seriam? Por quê?</li> <li>- Para vocês, haveria, de fato, alguma analogia por trás desses recursos? Entre esses dois recursos didáticos, em qual deles fica mais evidente a proposição de uma analogia? Por quê?</li> <li>- Vocês já conheciam essas analogias que fundamentaram a criação desses modelos?</li> <li>- No recurso dos clipes, como vocês classificariam a estratégia de modelagem: como sendo convencional, comum, ou como sendo analógica? Por quê?</li> <li>- No recurso da balança, como vocês classificariam a estratégia de modelagem: como sendo convencional, comum, ou como sendo analógica? Por quê?</li> <li>- Comparando esses modelos concretos com as simulações vistas anteriormente, na opinião de vocês, qual tipo de recurso seria mais interessante para o uso em sala de aula (ou em qualquer outro espaço escolar)?</li> <li>- Havendo a possibilidade de se utilizar ambos os tipos de recursos, qual ou como vocês utilizariam para ensinar estequiometria?</li> <li>- Na percepção de vocês, seria possível empregar esses recursos, tanto os modelos concretos quanto as simulações, no ensino de Ciências/Química em articulação com aspectos tecnológicos? Ou seja, seria possível empregar esses recursos para tratar das tecnologias em Química? Você seria capaz de exemplificar? Quais exemplos?</li> </ul> <p><b>3ª sequência</b> – Breve discussão sobre o emprego de modelos analógicos para o ensino de Química e suas tecnologias na perspectiva de uma educação tecnológica</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pensando numa possível articulação entre Ciência e Tecnologia, como vocês percebem o processo de ensino e de aprendizagem mediado ou fundamentado em modelagem?</li> <li>- Para vocês, sob a perspectiva de uma educação tecnológica por meio da Química (ou em Química), quais seriam as vantagens e/ou desvantagens de se empregar modelos fundamentados em analogias como recurso de mediação didática na educação em Ciência e Tecnologia?</li> </ul>
Encerramento (10 minutos)	<p>Aplicação do questionário de avaliação da atividade.</p> <p>Esclarecimento de quaisquer dúvidas a respeito da discussão realizada ou do modo como os registros serão tratados posteriormente.</p> <p>Agradecimento pela participação e contribuição com a pesquisa.</p>

**Referências para a elaboração desse planejamento:**

KINALSKI, D.; PAULA, C.; PADOIN, S.; KLEINUBING, R.; CORTES, L. **Grupo Focal na Pesquisa Qualitativa: relato de experiência**. REBEn – Ver Bras Enferm [internet]. Mar-Abr, 70 (2): 443-8, 2017.

PHET Interactive simulations. Reagentes, excesso e produtos. Disponível em: [https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/simulation/reactants-products-and-leftovers](https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/reactants-products-and-leftovers). Acesso em 15 de abril de 2019.

## APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO GRUPO FOCAL

**Questionário – Avaliação**

- 1) O tempo de duração foi favorável para discutir todos os aspectos pertinentes ao tema?
- Sim    Não    Não sei responder
- 2) O ambiente contribuiu para que você ficasse à vontade para falar sobre o tema proposto?
- Sim    Não    Não sei responder
- 3) A abordagem realizada pelo mediador contribuiu para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?
- Sim    Não    Não sei responder
- 4) A presença do pesquisador auxiliar influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões?
- Sim, influenciou muito    Sim, influenciou pouco    Não
- Não sei responder
- 5) O aparelho gravador de áudio influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões?
- Sim, influenciou muito    Sim, influenciou pouco    Não
- Não sei responder
- 6) Os modelos analógicos concretos contribuíram para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?
- Sim    Não    Não sei responder
- 7) A visualização das simulações na plataforma PHET contribuíram para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?
- Sim    Não    Não sei responder
- 8) Caso queira e/ou considere necessário, descreva pontos positivos e/ou negativos sobre sua experiência em participar desta atividade de grupo focal.

## APÊNDICE D – ROTEIRO A: PHET - Reagentes, Produtos e Excesso

### Tela de sanduíches e moléculas

A simulação foi projetada para fornecer aos alunos uma compreensão conceitual dos reagentes limitantes, em vez de praticar a solução de problemas algorítmicos que exigem conversões massa / mol.

Escolha sua receita de sanduíche

$2 \text{ 🍞} + 1 \text{ 🍳} + 1 \text{ 🧀} \rightarrow \text{ 🍷}$

Queijo  
 Carne e Queijo  
 Minha Receita

Itens são empilhados para fácil comparação

Mude o número de "reagentes"

Crie receitas personalizadas de sanduíches para ver como os coeficientes afetam e qual reagente é limitante.  
 $3 \text{ 🍞} + 2 \text{ 🍳} + 0 \text{ 🧀}$   
 Receitas devem usar pelo menos 2 itens.

Veja o número de sanduíches no produto e os excessos.

Antes da "Reação"

6  
🍞

4  
🍳

4  
🧀

Reagentes

➔

Após "Reação"

3  
🍷

0  
🍞

1  
🍳

1  
🧀

Produtos

Excessos

Mudar o número de moléculas reagentes

$2 \text{ H}_2 + 1 \text{ O}_2 \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}$

Faça Água  
 Faça Amônia  
 Queime Metano

Escolha entre três reações

Ocultar moléculas

Antes de Reagir

5  
H<sub>2</sub>

4  
O<sub>2</sub>

Reagentes

➔

Após Reagir

4  
H<sub>2</sub>O

1  
H<sub>2</sub>

2  
O<sub>2</sub>

Produtos

Excessos

Como mostramos moléculas (não moles), pode-se deixar moléculas no reagente limitante

### Tela do jogo

Os alunos são desafiados a descobrir o número de moléculas que faltam em cinco questões aleatórias por nível. Cada nível tem uma questão em que as proporções de reagentes não produzirão nenhum produto. Os alunos têm duas tentativas por pergunta; depois de 2 tentativas incorretas, o simulador mostra a resposta correta.

**Escolha Seu Nível**

Nível 1: Encontre o número de moléculas reagentes

Nível 2 e 3: Encontre o número de moléculas dos produtos e os excessos. *Reações do nível 2 tem um produto; Reações do nível três tem dois.*

As estrelas acompanham a maior pontuação anterior.

Controlar sons do jogo ou ativar um temporizador antes de iniciar um nível.

Exibir Tudo  
Ocultar Moléculas  
Ocultar Números

Ocultar moléculas ou números para um maior desafio.

### Simplificações do modelo

- A fim de representar todas as partículas como modelos de preenchimento de espaço, não incluímos compostos iônicos no simulador.
- Na tela de sanduíches, os alunos podem investigar “reações” que têm 3 ingredientes como uma extensão, mas nenhuma das reações químicas nesse simulador tem mais de 2 reagentes.

### Informações sobre o uso do aluno

#### Tela de sanduíches e moléculas

- Durante a exploração inicial dessas telas pelos alunos, eles seguiram a equação química como uma receita, inserindo apenas o número exato de reagentes que resultaram em zero excesso. Os alunos tendiam a explorar cenários mais diversos nessas telas somente depois de começar a jogar o jogo, ou depois de receber um ou dois casos desafiadores para comparar.

#### Tela do jogo

- Muitas das questões do Nível 1 (Encontrando o número de moléculas reagentes) podem ser resolvidas pelos alunos contando os átomos totais de cada elemento após a reação e usando apenas esses totais para descobrir o número de moléculas reagentes - sem nunca fazer referência à equação química. Os níveis 2 e 3 (encontrando o número de produtos e excesso) não podem ser resolvidos dessa forma e exigem que os alunos utilizem a equação química.
- Os alunos podem precisar de solicitar que eles possam (e devam) retornar às telas anteriores para ajudá-los a descobrir estratégias ao abordar questões desafiadoras do Jogo. Alunos em entrevistas que retornaram e fizeram o uso de telas anteriores durante o jogo fez um progresso conceitual mais rápido e foi mais positivo sobre sua experiência no jogo.

### Sugestões para o uso

**Compare os coeficientes:** peça aos estudantes que escolham vários ingredientes de sanduíches para começar.

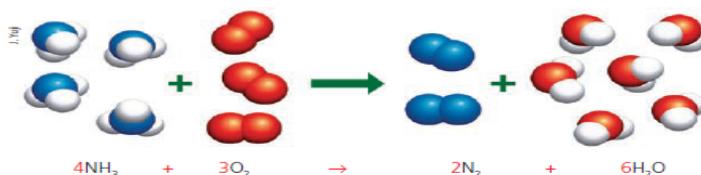
**Induzindo o desafio:** “Usando apenas esses ingredientes, você pode encontrar uma receita personalizada de sanduíche que faz o pão acabar primeiro? O que acontece com o queijo ou a carne? Como essas receitas são diferentes?”

**Compare moléculas e mols:** Escolha qualquer exemplo que resulte em moléculas em excesso em ambos reagentes. Peça aos alunos que discutam o resultado esperado se os números que receberam fossem mols em vez de moléculas.

**Compare estratégias:** Peça aos grupos de alunos para comparar como eles descobriram o número de moléculas em excesso no nível 2 ou 3 do jogo. Quais informações eles precisaram?

## APÊNDICE E – ROTEIRO B: Atividade Construção do seu conhecimento, livro F

## 2 Balanceamento de equação química



◀ **Balancear uma equação** é determinar os coeficientes (números em vermelho) que indicam a quantidade proporcional de moléculas presentes na reação, de forma que o total de átomos dos reagentes seja igual ao total de átomos dos produtos.

**P**ara os químicos, o cálculo das quantidades necessárias de cada reagente, para formar determinado produto, tem importância vital. Esse cálculo, é chamado **estequiométrico** (do grego, *stoikheion*, "elemento", e *métron*, "medida").

O cálculo estequiométrico foi desenvolvido graças à teoria atômica de Dalton, a qual descreve as substâncias por uma combinação de átomos que ocorre em proporções definidas e se conserva durante a reação química,

### PARE E PENSE

O que você entende por fazer balanceamento de pneu? O que significa dizer que algo está balanceado?



▲ O princípio de medição da massa de um material, em uma **balança**, baseia-se no **equilíbrio entre a massa que se deseja medir e a massa padrão conhecida**. As forças atuantes no sistema da balança se equilibram quando as massas se igualam e os pratos da balança ficam no mesmo nível.

significando que, na equação química representante da reação, a quantidade de átomos presentes nos reagentes deve ser igual à quantidade de átomos nos produtos. A proporção entre as substâncias na equação é estabelecida por relações numéricas. O número que indica a proporção de cada substância é denominado **coeficiente**.

Assim, para que possamos fazer, de modo correto, os cálculos estequiométricos de uma reação química é necessário, em primeiro lugar, que a equação que a represente esteja com os coeficientes devidamente acertados. A determinação dos coeficientes de uma equação química damos o nome **balanceamento de equação**. As balanças antigas eram constituídas por dois pratos. Para saber o peso de um material, colocavam-se, no prato oposto ao do material, pesos padrões até a altura dos pratos se equilibrarem. Como analogia a esse processo, passou-se a usar o termo balanceamento, no sentido de indicar que algo está equilibrado. Assim, balancear uma equação significa equilibrar o número de átomos dos reagentes com o número de átomos dos produtos.

Veja que a determinação da proporção entre os reagentes, em uma reação que era determinada experimentalmente, pode ser prevista pelo modelo atômico de Dalton. Esta é a importância de um modelo propiciar a previsão de fenômenos. No caso, podemos indicar as proporções das substâncias nas reações químicas, sem precisarmos realizá-las experimentalmente.

Embora existam modelos mais avançados para explicar a constituição da matéria, o modelo atômico de Dalton é suficiente para expor e prever a estequiometria das reações químicas. Relembrando, o princípio desse modelo é que nas reações ocorrem rearranjos dos átomos formando as substâncias; logo, os átomos dos reagentes são os mesmos dos produtos, ou seja, a quantidade de átomos de cada elemento químico presente nos reagentes será igual à quantidade de átomos desse elemento nos produtos.



▶ Ao se efetuar uma **reação química**, os átomos dos reagentes constituirão os produtos. Por isso, no balanceamento de equações, o número de átomos dos reagentes deve ser igual ao número de átomos dos produtos.

Vejam: se considerarmos a reação química genérica entre as substâncias A e B, formando as substâncias C e D, podemos representá-la pela seguinte equação:



Nessa equação, as letras minúsculas representam os coeficientes de proporcionalidade de cada substância na referida reação química.

Vale lembrar que em uma equação química, os sinais e a seta têm significados diferentes dos sinais representados pela Matemática. O sinal + representa as substâncias que foram colocadas em contato, e a seta  $\rightarrow$  indica que há uma transformação, produzindo outras substâncias (produtos).



## Construção do Conhecimento

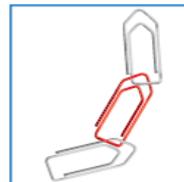
Ilustração: I. Nij



Representação da molécula de gás **hidrogênio**.



Representação da molécula de gás **oxigênio**.



Representação da molécula de **água**.

Atenção: os **átomos não se ligam como cliques** ou massinha, mas essa analogia permite entender as proporções na reação.

Não podemos manipular átomos em sala de aula, mas podemos compará-los a pequenas esferas, como propunha o modelo atômico de Dalton. Então, por analogia, iremos desenvolver uma atividade em duas etapas para percebermos melhor o significado dos coeficientes de uma equação. Os únicos materiais necessários serão cliques coloridos (ou outros objetos de cores variadas e fácil manipulação. Lembre-se que a ideia é representar as quantidades de átomos e não as formas).

### Parte A

#### Quais os coeficientes da equação química de formação da água?

Como seria a reação entre as substâncias hidrogênio ( $H_2$ ) e oxigênio ( $O_2$ ) para formar a substância água ( $H_2O$ )?

No modelo que adotaremos, os átomos de hidrogênio serão representados pela cor branca e os de oxigênio pela cor vermelha.

1. Utilizando cliques coloridos (ou outros objetos, como tampas coloridas de garrafas), represente quatro moléculas de gás hidrogênio e quatro moléculas de gás oxigênio e disponha-os sobre uma folha de papel, conforme esquema acima.
2. Imagine que os gases tenham reagido e "monte" a quantidade máxima de moléculas de água, com base nos "átomos" das "moléculas" de oxigênio e hidrogênio.
3. Reproduza o quadro abaixo no caderno, preencha-o e responda às questões a seguir.

SIMULAÇÃO DA REAÇÃO DE FORMAÇÃO DA ÁGUA			
Reação	Reagentes		Produto
	Hidrogênio	Oxigênio	Água
Representação das moléculas utilizando as esferas*	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡
Quantidade de átomos envolvidos na reação	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡
Quantidade de constituintes que reagiram (moléculas)	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡
Coeficientes: quantidade mínima de constituintes	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡	≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡ ≡

\* Neste momento, não estamos preocupados com a organização espacial dos átomos nas moléculas constituintes.

- a) Quantas moléculas de água puderam ser formadas?
- b) Para formar essa quantidade de moléculas de água, quantas moléculas de oxigênio e de hidrogênio foram consumidas?
- c) Sobraram moléculas de algum dos reagentes? Por quê?
- d) Considerando a equação ( $aH_2 + bO_2 \rightarrow cH_2O$ ) da reação de formação da água, quais os valores dos coeficientes a, b e c? Para tal, considere somente a quantidade de moléculas que reagiram e foram formadas (como estamos representando a equação da reação, não nos preocuparemos com moléculas que, porventura, não tenham reagido).
- e) Ao simplificar os coeficientes, dividindo-os pelo menor deles, quais são os novos valores de a, b e c?
- f) Substitua os valores dos coeficientes na equação e você terá a equação química balanceada.

### Parte B

#### A proporção exata para a obtenção do hidróxido de sódio

O hidróxido de sódio, conhecido popularmente como soda cáustica, é uma substância muito utilizada na indústria química, no preparo de sabão e, em casa, para desentupimento de esgotos. Podem-se obter o hidróxido de sódio ( $NaOH$ ) e o carbonato de cálcio ( $CaCO_3$ ) a partir da reação entre o carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ) e o hidróxido de cálcio [ $Ca(OH)_2$ ].

4. Escolha cliques de diferentes cores para representar cada tipo de átomo (Na, C, O, Ca e H).
5. Represente seis constituintes do carbonato de sódio e seis constituintes do hidróxido de cálcio (saiba que os constituintes não se alteram nessa reação).
6. Siga os procedimentos da parte A, reproduza o quadro e monte a equação química da reação, balanceando-a.

Referência: Santos, W. L. P. dos (coord.) *et al.* Química cidadã: volume 2. 3. ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.

## APÊNDICE F – ROTEIRO C.1 e ROTEIRO C.2

### ROTEIRO C.1. Atividade de Aprendizagem – Estequiometria

#### Introdução

A seguir está apresentada uma proposta de atividade para o ensino de estequiometria. A proposta está organizada em três partes. Essa proposta foi planejada para ser executada pelo professor em uma abordagem mais expositiva ou demonstrativa.

#### Proposta 1 – Atividades a serem conduzidas pelo professor

O professor deverá montar o recurso em uma mesa central visível a todos os estudantes e deixar separado três kits com modelos de moléculas envolvidas nas reações químicas de formação da água, de formação da amônia e de combustão do metano.

Sugerimos que inicialmente o professor apresente a “balança de equações” por meio das seguintes perguntas:

- ✓ *Vocês reconhecem o que é esse objeto? O que ele mede?*
- ✓ *Quando sabemos que a massa do objeto no lado direito é igual a massa do objeto no lado esquerdo?*

Diante das respostas e dos esclarecimentos que uma balança de dois pratos serve para medir a massa de objetos desconhecidos a partir de um padrão e que a massa dos dois lados é igual quando a balança atinge seu equilíbrio, podemos começar a introduzir o conceito científico a partir do recurso apresentado.

Para isso, o professor pode começar com a seguinte abordagem e perguntas:

#### Parte 1 – Explorando a reação de formação da água

- *Vamos então com essa balança representar a equação química da produção de água (H<sub>2</sub>O). Para produzir água, precisamos da molécula de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e da molécula de oxigênio (O<sub>2</sub>). Para vocês quem é (são) o(s) reagente(s) e o(s) produto(s)?*
- *Então, se eu colocar uma representação da molécula de H<sub>2</sub> e outra da molécula de O<sub>2</sub> no recipiente com a letra R (reagentes) e uma da molécula de H<sub>2</sub>O no recipiente com a letra P (produtos), iremos representar a equação de formação da água?*

O professor diante das respostas dos alunos faz o que foi dito anteriormente e espera a reação dos alunos (nesse caso, a balança ficará desequilibrada)

- *Observamos que a equação química não está correta, pois a balança não está equilibrada. O que podemos fazer para equilibrar a balança e, conseqüentemente, nossa equação química?*

O professor deverá aguardar as considerações dos alunos e realizar algumas sugestões que eles indicarem, e observar se a balança ficará equilibrada. Então, sugerimos que o professor escreva a equação química não balanceada de formação da água na lousa e discuta com os estudantes quais deverão ser os coeficientes estequiométricos da equação considerando as quantidades colocadas e representadas por meio da balança.



- *E se nós adicionarmos mais uma molécula de H<sub>2</sub> no recipiente R, o que vai acontecer? Nesse caso, teríamos alguma substância sobrando no nosso sistema reacional? Qual?*

Sugerimos que o professor faça essa adição para ver o que acontece com os pratos da balança, discutindo com os estudantes se o que foi observado corresponde ou não com as expectativas dos estudantes.

- *Vamos fazer o mesmo para o recipiente P, vou adicionar mais uma molécula de H<sub>2</sub>O, o que vai acontecer? Nesse caso formamos mais uma água ou está faltando algum reagente?*

Após as observações dos estudantes, o professor deverá explicar os conceitos envolvidos.

## Parte 2 – Explorando a reação de formação da amônia

Perguntas sugeridas para que o professor faça aos alunos:

- *Vamos agora representar na balança a equação química de produção da amônia (NH<sub>3</sub>). Para produzir amônia, precisamos da molécula de nitrogênio (N<sub>2</sub>) e da molécula de hidrogênio (H<sub>2</sub>). Portanto, em qual prato da balança deveremos colocar cada modelo dessas molécula: no R de reagentes ou no P de produtos?*
- *Considerando os locais onde cada modelo de molécula foi colocado, como podemos escrever a reação química parcialmente representada?*

Após ter ouvido e considerado as respostas dos estudantes sobre como representar a reação química de formação da amônia, sugerimos que o professor escreva a equação química não balanceada e chame a atenção dos estudantes que assim como os pratos da balança não estão equilibrados, a equação química escrita no quadro também não está.



Nesse ponto, o professor poderá fazer a seguinte pergunta:

- *Observamos que a equação química não está balanceada e a balança não está equilibrada. O que podemos fazer para equilibrar a balança e, conseqüentemente, nossa equação química?*

O professor deve aguardar as considerações dos alunos e realizar algumas sugestões dadas por eles, levando os estudantes a observar se a balança ficará equilibrada. A partir das quantidades de moléculas modeladas introduzidas nos pratos, sugerimos que o professor retorne ao quadro para reproduzir essas quantidades na equação química, discutindo com os estudantes se a introdução desses coeficientes a torna balanceada.

Em seguida, o professor poderá explorar o recurso da “balança de equações” de outras maneiras, introduzindo ou retirando os modelos de moléculas, desequilibrando e reequilibrando os pratos, de modo a permitir que os estudantes percebam a relação estequiométrica constante entre os reagentes e produtos.

## Parte 3 – Explorando a combustão do metano

Diante da “balança de equações” e dos modelos de moléculas do metano, oxigênio, água e dióxido de carbono, sugerimos que o professor faça as seguintes perguntas aos alunos:

- *Vamos agora representar na balança a equação química de combustão completa do metano (CH<sub>4</sub>). Para realizar uma combustão é necessário um combustível, nesse caso, o metano, um comburente que é o gás oxigênio (O<sub>2</sub>) e calor. Em uma combustão completa produzimos as substâncias gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e água (H<sub>2</sub>O). Em quais pratos devemos colocar cada modelo de molécula?*

Sugerimos que o professor escreva no quadro a equação química não balanceada.



Possivelmente alguns estudantes perceberão, antecipadamente, que a equação escrita não está balanceada, seja por causa do desequilíbrio dos pratos da balança ou, simplesmente, pela lógica do discurso construído até este ponto da abordagem. De qualquer forma, sugerimos que o professor aproveite esse momento e considere as observações dos estudantes para a condução do balanceamento da equação e dos pratos.

Não havendo nenhuma observação ou fala dos estudantes a respeito da equação não balanceada ou dos pratos em desequilíbrio, sugerimos que o professor chame a atenção dos estudantes para o desequilíbrio dos pratos e da equação, fazendo a seguinte pergunta:

- *O que podemos fazer para equilibrar a balança e, conseqüentemente, nossa equação química?*

O professor deverá aguardar as considerações dos alunos e realizar algumas sugestões a fim de deixar a equação e os pratos equilibrados.

A partir do balanceamento da equação química de combustão do metano, sugerimos que o professor explore o recurso da “balança de equações” fazendo variações nas quantidades das moléculas modeladas, semelhantemente ao que foi sugerido na parte 2, desequilibrando e reequilibrando os pratos, de modo a permitir que os estudantes percebam a relação estequiométrica constante entre os reagentes e produtos.

## ROTEIRO C.2 Atividade de Aprendizagem – Estequiometria

### Introdução

A seguir está apresentada uma proposta de atividade para o ensino de estequiometria. A proposta está organizada em três partes. Essa proposta foi planejada para ser executada pelos estudantes em pequenos grupos.

### Proposta 2 – Atividades a serem realizadas pelos estudantes

Sugerimos que inicialmente o professor apresente a “balança de equações” por meio das seguintes perguntas:

- ✓ *Vocês reconhecem o que é esse objeto? O que ele mede?*
- ✓ *Quando sabemos que a massa do objeto no lado direito é igual a massa do objeto no lado esquerdo?*

Diante das respostas e dos esclarecimentos que uma balança de dois pratos serve para medir a massa de objetos desconhecidos a partir de um padrão e que a massa dos dois lados é igual quando a balança atinge seu equilíbrio, podemos começar a introduzir o conceito científico a partir do recurso apresentado.

Para isso, sugerimos que o professor organize os estudantes em pequenos grupos e entregue para cada grupo um kit composto por uma “balança de equações” e três pequenos conjuntos de modelos de moléculas. Além disso, é importante a entrega de um roteiro com instruções de como proceder na atividade proposta.

### Roteiro

Siga as instruções desse roteiro de forma cronológica e responda as questões em seu caderno. Quando tiver dúvidas, solicite a presença do seu professor para auxílio de como proceder.

### Parte 1 – Representando a formação da água

Nessa primeira etapa vocês tem o objetivo de representar a equação química de formação da água de forma balanceada. Para isso, respondam as questões:

- Quais substâncias são necessárias para formação da água ( $H_2O$ )?
- Essas substâncias são os reagentes ou os produtos?
- Quem é o produto dessa reação química?

Após responder as questões acima, coloque o modelo de uma molécula de  $H_2$  e um da molécula de  $O_2$  no recipiente escrito com a letra R (reagentes) e um modelo da molécula de  $H_2O$  no recipiente com a letra P (produtos) e observe.

- A balança está equilibrada?
- A massa de reagentes encontra-se igual a massa de produtos?
- Existe a mesma quantidade de átomos nos reagentes e nos produtos?
- O que devemos fazer para tornar a balança equilibrada?

Coloquem mais um modelo da molécula de  $H_2$  no recipiente com a letra R e mais um modelo da molécula de  $H_2O$  no recipiente com a letra P e observe.

- A balança está equilibrada? Por quê?
- Escreva a equação química de formação da água balanceada.

Em seguida, coloque mais um modelo da molécula de  $H_2$  no recipiente com a letra R e observe.

- O que aconteceu?
- Como você explica esse desequilíbrio da balança?
- Podemos dizer que existe alguma substância que está em excesso? Qual?
- Podemos dizer que existe alguma substância que está limitando a reação química? Qual?

Você pode testar essas questões anteriores com diferentes proporções entre os reagentes e os produtos, você observará que a balança sempre atingirá o equilíbrio obedecendo a proporção entre a quantidade dos átomos e suas massas de acordo com a equação química balanceada com seus respectivos coeficientes estequiométricos.

## Parte 2 – Representando a formação da amônia

Nessa segunda etapa vocês tem o objetivo de representar a equação química de formação da amônia de forma balanceada. Para isso, respondam as questões:

- Quais substâncias são necessárias para formação da amônia ( $NH_3$ )?
- Essas substâncias são os reagentes ou os produtos?
- Quem é o produto dessa reação química?

Após responder as questões acima, coloque o modelo de uma molécula de  $H_2$  e um da molécula de  $N_2$  no recipiente escrito com a letra R (reagentes) e um modelo da molécula de  $NH_3$  no recipiente com a letra P (produtos) e observe.

- A balança está equilibrada?
- A massa de reagentes é igual a massa de produtos?
- Existe a mesma quantidade de átomos nos reagentes e nos produtos?
- O que devemos fazer para tornar a balança equilibrada?

Coloquem mais dois modelos da molécula de  $H_2$  no recipiente com a letra R e mais um modelo da molécula de  $NH_3$  no recipiente com a letra P e observe.

- A balança está equilibrada? Por quê?
- Escreva a equação química de formação da amônia balanceada.

Em seguida, coloque mais um modelo da molécula de  $N_2$  no recipiente com a letra R e observe.

- O que aconteceu?
- Como você explica esse desequilíbrio da balança?
- Podemos dizer que existe alguma substância que está em excesso? Qual?
- Podemos dizer que existe alguma substância que está limitando a reação química? Qual?

Você pode testar essas questões anteriores com diferentes proporções entre os reagentes e os produtos, você observará que a balança sempre atingirá o equilíbrio obedecendo a proporção entre a quantidade dos átomos e suas massas de acordo com a equação química balanceada com seus respectivos coeficientes estequiométricos.

## Parte 3 – Representando a combustão completa do metano

Nessa terceira etapa vocês têm o objetivo de representar a equação química de combustão completa do metano de forma balanceada. Para isso, respondam as questões:

- Quais substâncias são necessárias para combustão completa do metano ( $\text{CH}_4$ )?
- Essas substâncias são os reagentes ou os produtos?
- Quais são os produtos dessa reação química?

Após responder as questões acima, coloque o modelo de uma molécula de  $\text{CH}_4$  e um da molécula de  $\text{O}_2$  no recipiente escrito com a letra R (reagentes) e um modelo da molécula de  $\text{CO}_2$  e um modelo da molécula de  $\text{H}_2\text{O}$  no recipiente com a letra P (produtos) e observe.

- A balança está equilibrada?
- A massa de reagentes é igual a massa de produtos?
- Existe a mesma quantidade de átomos nos reagentes e nos produtos?
- O que devemos fazer para tornar a balança equilibrada?

Coloquem mais um modelo da molécula de  $\text{O}_2$  no recipiente com a letra R e mais um modelo da molécula de  $\text{H}_2\text{O}$  no recipiente com a letra P e observe.

- A balança está equilibrada? Por quê?
- Escreva a equação química de combustão completa do metano balanceada.

Em seguida, coloque mais um modelo da molécula de  $\text{O}_2$  no recipiente com a letra R e observe.

- O que aconteceu?
- Como você explica esse desequilíbrio da balança?
- Podemos dizer que existe alguma substância que está em excesso? Qual?
- Podemos dizer que existe alguma substância que está limitando a reação química? Qual?

Você pode testar essas questões anteriores com diferentes proporções entre os reagentes e os produtos, você observará que a balança sempre atingirá o equilíbrio obedecendo a proporção entre a quantidade dos átomos e suas massas de acordo com a equação química balanceada com seus respectivos coeficientes estequiométricos.

## APÊNDICE G – TERMO DE AUTORIZAÇÃO



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Av. Amazonas, 5253 – Bairro Nova Suíça – Belo Horizonte-MG 30421-169

Telefone: (31) 3319-7022 – E-mail: [dppg@dppg.cefetmg.br](mailto:dppg@dppg.cefetmg.br)

## TERMO DE AUTORIZAÇÃO

O CEFET-MG, Instituição Federal de Ensino Superior *multicampi*, pública e gratuita, com oferta educacional verticalizada (do técnico à pós-graduação *stricto sensu*), contemplando, de forma indissociada, o ensino, a pesquisa e a extensão é uma Instituição aberta à realização de estudos e pesquisas em seus ambientes institucionais, por parte de pesquisadores internos e externos.

O presente documento autoriza a realização de uma pesquisa qualitativa, que utilizará como técnica de pesquisa a realização de grupos focais, envolvendo professores da Educação Profissional Técnica de Nível Médio (EPTNM) do Departamento de Química do CEFET-MG, necessários ao desenvolvimento do trabalho de dissertação intitulado “Potencialidades e limitações pedagógicas no uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria na Educação Tecnológica”, sob orientação do Dr. Alexandre da Silva Ferry vinculados ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

Nessas condições, e tendo em vista a função social da Instituição de contribuir para o desenvolvimento científico, tecnológico e sociocultural, por meio particularmente, da pesquisa e da inovação, a Direção do CEFET-MG autoriza a realização de trabalho relativo à pesquisa cujos dados estão discriminados em anexo. Além disso, autoriza também a menção ao nome do CEFET-MG no estudo em pauta.

As atividades da pesquisa e seus produtos não poderão implicar para o CEFET-MG e seus sujeitos qualquer dano, prejuízo ou constrangimento de ordem educacional, sociocultural, financeiro ou pessoal, além de não poderem denegrir a imagem institucional, devendo ser conduzidas dentro dos princípios éticos. A pesquisadora responsável, Luciana Paula de Assis, mestranda do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG, se compromete a encaminhar à Instituição cópia dos produtos gerados a partir da pesquisa.

A proposta de investigação supracitada não envolverá alunos da Educação Profissional Técnica de Nível Médio e nem alunos do Ensino Superior. Além disso, a pesquisa não demandará o uso de equipamentos, instalações ou de laboratórios da Instituição.

Assim posto, autorizo Luciana Paula de Assis, aluna do curso de Mestrando do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), portador de carteira de identidade nº MG-14.623.714 e CPF nº 087.869.566-47 que desenvolve pesquisa intitulada “Potencialidades e limitações pedagógicas no uso de modelos analógicos para o ensino de estequiometria na Educação Tecnológica”, a realizar sua pesquisa nesta Instituição.

Belo Horizonte, 06 de MAIO de 2019.

Co

Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues  
Diretor de Pesquisa e Pós-Graduação

Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues  
Diretor de Pesquisa e Pós-Graduação - CEFET-MG  
Portaria nº 1.379 de 14 de outubro de 2015

Estou ciente dos termos desta autorização, comprometo-me a observá-los e arcar com as consequências do seu eventual não cumprimento.

Luciana Paula de Assis  
Luciana Paula de Assis – Pesquisadora -  
Mestranda

Alexandre da Silva Ferry  
Dr. Alexandre da Silva Ferry - Orientador