



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

GILSON RODRIGUES DE ALVARENGA

## ANÁLISE ESTRUTURAL DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

Belo Horizonte  
Abril/2017



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

GILSON RODRIGUES DE ALVARENGA

## ANÁLISE ESTRUTURAL DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA

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

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Nagem.

CO-ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Mariana de Lourdes Almeida Vieira.

Belo Horizonte

Abril/2017

A473a Alvarenga, Gilson Rodrigues de  
Análise estrutural de analogias em livros didáticos de química. /  
Gilson Rodrigues de Alvarenga. -- Belo Horizonte, 2017.  
96 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação  
Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em  
Educação Tecnológica, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Luiz Nagem

Coorientadora: Profa. Dra. Mariana de Lourdes Almeida Vieira

#### Bibliografia

1. Analogia. 2. Química – Estudo e Ensino. 3. Livros Didáticos. I.  
Nagem, Ronaldo Luiz. II. Centro Federal de Educação Tecnológica  
de Minas Gerais. III. Título

CDD 541.04

*Dedico este trabalho à minha mãe, Geralda Maria R. Alvarenga e ao meu pai Rosálio Pena de Alvarenga (in memoriam), pela educação e valores ensinados, a minha esposa Márcia P. Fiuza pelo apoio e compreensão, aos meus filhos Gabriel P. Alvarenga e Lívia P. Alvarenga por cederem momentos de convívio para a realização deste trabalho*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Rosálio Pena Alvarenga e Geralda Maria Rodrigues Alvarenga, pelos ensinamentos e valores que foram determinantes para essa empreitada na minha vida.

A minha esposa Márcia e meus filhos Gabriel e Livia por pelo apoio e tempo cedido para que eu realizasse todo esse trabalho.

Ao Prof.Dr. Alexandre Ferry pela sua imensurável contribuição que por inúmeras vezes me contagiou com sua empolgação e dedicação,

A co-orientadora Profa. Dra. Mariana L. Vieira, pela paciência e suas imensuráveis contribuições, que também me influenciou com sua dedicação e envolvimento com o trabalho.

Ao Prof. Dr. Ronaldo Luiz Nagem pela confiança no meu potencial, carinho e instrução.

Ao Prof. Dr. Ivo e Prof.Dr<sup>a</sup>. Maria de Fátima que por diversas trouxeram grandiosas contribuições, sempre com ética e paixão pelo seu trabalho,

Ao CEFET-MG e todos os professores do Mestrado em Educação Tecnológica do CEFET-MG, especialmente a Prof. Geraldo Pedrosa pelo seu exemplo e excelente formação,

Aos amigos do AMTEC-GEMATEC por todas as contribuições, tão decisivas para o êxito deste trabalho,

A Secretária de Estado de Educação de Minas Gerais que prontamente permitiu o meu afastamento para dedicação aos estudos,

A Deus que na sua forma estranha de agir moveu todo recurso humano e material para conceder mais essa vitória na minha vida.

“Não é no silêncio que os homens se fazem, mas na palavra, no trabalho, na ação-reflexão”.

*(Paulo Freire)*

ALVARENGA, Gilson Rodrigues. Análise estrutural de Analogias em Livros Didáticos de Química. Orientador: Ronaldo Luiz Nagem. 2017. Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do Centro Federal em Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte. [Dissertação de Mestrado]

## RESUMO

Este trabalho teve como motivação o problema de pesquisa; quais características nos permitem conceber comparações presentes em livros didáticos de Ciências como sendo analogias adequadamente enriquecidas e apropriadas para o ensino de modelos, conceitos ou teorias científicas na Educação Básica?. Essa pesquisa refere-se ao modo como as comparações analógicas são apresentadas, estabelecidas ou construídas para mediar o ensino de conceitos. Esse problema gerou outras questões que nortearam o desenvolvimento da metodologia adotada no presente trabalho, a saber: (i) como distinguir as formas pelas quais autores de livros didáticos estabelecem comparações?; (ii) quais são os aspectos estruturais dessas comparações?; (iii) com quais níveis de enriquecimento autores de livros didáticos de Química têm construído analogias para abordar conceitos, modelos ou teorias científicas na educação básica?. A busca pelas respostas nos conduziu a leitura integral de capítulos e seções sobre o tema estrutura atômica nos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2015, 2016 e 2017 (PNLD 2015), e analisamos estruturalmente comparações identificadas nesses capítulos. Como referencial teórico metodológico usamos duas teorias desenvolvidas no campo da Psicologia Cognitiva: a Teoria do Mapeamento Estrutural (Structure mapping theory) de Gentner (1983) e seus colaboradores, e a Teoria das Múltiplas Restrições (Multiconstraint theory) de Holyoak & Thagard (1989). A análise das comparações encontradas evidenciaram: (i) para uma mesma comparação em obras diferentes existem níveis diferentes de enriquecimento, (ii) comparações que o mesmo DB e DA apresentam aspecto contextual diferente para uma mesma obra e entre obras diferentes, (iii) na maior parte das comparações encontradas (7), os autores tiveram como propósito descrever aspectos estruturais.

Palavras chave: Analogias, Ensino de Química, Mapeamento estrutural, Livro Didático.

ALVARENGA, Gilson Rodrigues. Análise estrutural de Analogias em Livros Didáticos de Química. Orientador: Ronaldo Luiz Nagem. 2017. Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do Centro Federal em Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte. [Dissertação de Mestrado]

### ABSTRACT

This work was developed based on the following research problem: which characteristics allow us to consider comparisons present in science textbooks as properly enriched and appropriate analogies for teaching models, concepts or scientific theories in Basic Education? This study addresses how comparisons, taken by textbook authors as analogies for science teaching, are presented, established, or constructed. The unfolding of the problem has generated the following guiding questions for the empirical work: (i) how to distinguish the ways in which textbook authors draw comparisons? (ii) what are the structural aspects of these comparisons? (iii) at which levels of enrichment have authors of chemical textbooks constructed analogies to approach scientific concepts, models, or theories in basic education? The quest for answers led us to the full reading of the chapters and sections on the topic of atomic structure in the Chemistry textbooks approved by the National Program of Didactic Book for the triennium 2015-2017. We have performed a structural analysis of the comparisons identified in these chapters. As a theoretical and methodological reference, we adopted the Structural-Mapping theory of Gentner (1983) and his colleagues, and the Multiconstraint Theory of Holyoak & Thagard (1989). The analysis of the comparisons allowed us to conclude that a comparison can only be conceived as a properly enriched and appropriate analogy for science teaching if (i) it is structurally consistent and involves entities with similar contextual meanings, (ii) is adequate to the context and purposes of its establishment and (iii) it is focused on relations placed in correspondence and, (iv) is preferably systematic, in order to increase the interconnectivity of these relations and increase their inferential power over the target domain of understanding.

Keywords: Analogy, Chemistry teaching, Structural Mapping, textbooks.

Keywords: Analogies, Chemistry teaching, Structure-mapping, Textbook

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - Aspectos básicos de isomorfismo em uma analogia, segundo Holyoak & Thagard (1989).....	36
<b>FIGURA 2</b> - Exemplo de isomorfismo entre dois enunciados de uma analogia comum para o modelo atômico de Thomson.....	36
<b>FIGURA 3</b> - Exemplos de comparações envolvendo diferentes similaridades semânticas. .	38
<b>FIGURA 4</b> – Condições para a seleção de comparações identificadas nos livros didáticos para análise estrutural. ....	42
<b>FIGURA 5</b> - Sequência metodológica adotada para a análise das analogias presentes nos livros didáticos. ....	50
<b>FIGURA 6</b> – Fotografia usada na apresentação do domínio base da comparação entre o modelo atômico de Thomson e um panetone. ....	58
<b>FIGURA 7</b> - Distribuição das comparações nas três condições definidas como critérios para seleção. ....	62
<b>FIGURA 8</b> - Isomorfismo entre as frases das relações $r_1$ da analogia C3. ....	79
<b>FIGURA 9</b> - Isomorfismo entre as relações no mapeamento da analogia C7 apresentada no livro A. ....	82
<b>FIGURA 10</b> - Isomorfismo entre as relações no mapeamento da analogia C7 apresentada no livro C. ....	82
<b>FIGURA 11</b> - Isomorfismo entre as relações no mapeamento da analogia C7 apresentada no livro D. ....	83
<b>FIGURA 12</b> – Isomorfismo entre as relações $r_1$ colocadas em correspondência pelos autores do livro D na analogia C9.....	84

## LISTA DE QUADROS

<b>QUADRO 1</b> – Termos empregado por diferentes autores aos conceitos comparados em uma analogia.....	20
<b>QUADRO 2</b> - Estudos dedicados à análise de analogias em livros didáticos brasileiros.....	21
<b>QUADRO 3</b> – Critérios usados no estudo de analogias em livros didáticos por diferentes pesquisadores .....	27
<b>QUADRO 4</b> - Tipos de comparação: foco e exemplos. ....	33
<b>QUADRO 5</b> - Livros didáticos de Química do Ensino Médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático 2015 do Ministério da Educação do Brasil, conforme o Edital 01/2013 (BRASIL, 2013).....	40
<b>QUADRO 6</b> – Padrão de representação das correspondências estruturais no mapeamento das similaridades envolvidas numa comparação. ....	46
<b>QUADRO 7</b> - Quantidade de comparações por tópico de conteúdo associado ao estudo das teorias atômicas nos livros didáticos de Química do Ensino Médio, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático 2015 (BRASIL, 2013).....	51
<b>QUADRO 8</b> - Caracterização contextual das comparações encontradas nos livros didáticos de Química. ....	52
<b>QUADRO 9</b> - Domínios e Propósitos das comparações presentes em livros didáticos de Química nos contextos das teorias atômicas. ....	61
<b>QUADRO 10</b> - Características das comparações segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984), com alterações sugeridas por Francisco Junior et al (2011). ....	64
<b>QUADRO 11</b> - Mapeamento estrutural da comparação C2 entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas. ....	68
<b>QUADRO 12</b> - Mapeamento estrutural da comparação C3 entre o modelo atômico de Thomson e um panetone. ....	70
<b>QUADRO 13</b> - Mapeamento estrutural da comparação C7 entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar. ....	71
<b>QUADRO 14</b> - Mapeamento estrutural comparação C9 entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar.....	74

### LISTA DE SIGLAS

A.C	Antes de cristo
AMTEC	Analogias e Metáforas na Tecnologia, na Educação e na Ciência
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CNLD	Comissão Nacional do Livro Didático
COLTED	Comissão do Livro Técnico e Livro Didático
DA	Domínio alvo
DB	Domínio base
FAE	Fundação de Assistência ao Estudante
FENAME	Fundação Nacional do Material Escolar
FNDE	Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação
ENCI	Ensino de Ciências por investigação
ENEQ	Encontro Nacional de Ensino de Química
GEMATEC	Grupo de Estudos em Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência
INL	Instituto Nacional do Livro
LASERA	Latin American Science Education Research Association
MEC	Ministério da Educação
PLIDEF	Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
QNEesc	Química Nova na Escola
RBPEC	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências
SBQ	Sociedade Brasileira de Química
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

### LISTA DE NOTAÇÕES E SÍMBOLOS

$O_{b1}$	Primeiro objeto da base
$O_{b2}$	Segundo objeto da base
$O_{t1}$	Primeiro objeto do alvo (target)
$O_{t2}$	Segundo objeto do alvo (target)
$R_b$	Relação na base
$R_{t1}$	Relação no alvo (target)
$m$	Mapeamento
$E_n$ ←————→	Correspondências entre elementos (E)
$A_n$ ←————→	Correspondências entre atributos (A)
$r_n$ ←————→	Correspondências entre relações de primeira ordem ou menor complexidade (r)
$R_n$ ←————→	Correspondências entre relações de segunda ordem ou de ordem superior ou maior complexidade (R)
←————→ $\times$	Limitação da comparação; diferença alinhável

## SUMÁRIO

---

Capítulo 1 – Introdução.....	14
1.1. Apresentação do Tema e Objeto de estudo.....	14
1.2. Apresentação do Pesquisador.....	15
1.3. Justificativa.....	16
1.4. Panorama do Trabalho.....	17
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica.....	19
2.1 – Um breve histórico dos estudos sobre analogias.....	19
2.2 Analogias como recurso didático.....	22
2.3 Identificação e categorização das analogias.....	22
2.4 - O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).....	29
2.4.1 – Breve histórico sobre o PNLD.....	29
2.4.2 PNLD 2015.....	30
Capítulo 3 – Referencial Teórico.....	31
3.1 – Teoria do Mapeamento Estrutural das Analogias.....	31
3.2 – Restrições estruturais das analogias.....	35
Capítulo 4 – Metodologia.....	40
4.1. Livros didáticos e escolha do tópico de conteúdo.....	40
4.2. Metodologia para análise das comparações.....	41
4.2.1. Padrões de Representação do Mapeamento Estrutural.....	44
4.2.2. Análise de aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos das comparações.....	46
4.2.3. Procedimentos para análise da apresentação das analogias nos livros didáticos.....	47
Capítulo 5 – Resultados e Discussão.....	51
5.1 – Levantamento das comparações nos livros didáticos de Química.....	51
5.2 – Identificação das comparações e dos seus domínios.....	52
5.3 – Seleção de comparações para aprofundamento da análise.....	61
5.4 – Caracterização das comparações selecionadas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984) adaptadas.....	64
5.5 – Análise estrutural das comparações C2, C7 e C9.....	67
5.5.1 – Mapeamento e análise dos aspectos estruturais e semânticos da comparação C2.....	68
5.5.2 – Mapeamento e análise dos aspectos estruturais e semânticos C7.....	71

5.5.3 – Mapeamento, análise dos aspectos estruturais e semânticos da comparação C9.....	74
5.6 – Análise do nível de enriquecimento, adequação pragmática e do isomorfismo das analogias C2, C7 e C9 nos livros didáticos .....	76
5.6.1 - Analogia C2 .....	76
5.6.2 – Analogia C7 .....	80
5.6.3 - Analogia C9.....	83
Capítulo 6 – Considerações Finais .....	85
Referências .....	92
Apêndices.....	95

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

---

### 1.1. Apresentação do Tema e Objeto de estudo

O uso de analogias na educação em Ciências vem sendo discutido por vários pesquisadores nas últimas décadas. De acordo com Oliva et al (2001), essa discussão perpassa vários caminhos. Harrison & Treagust (2006), por exemplo, discutiram se as analogias devem ou não ser usadas, e concluíram que esse tipo de comparação é uma boa ferramenta, mas depende do conhecimento do educador sobre o potencial da analogia. Clement (1993) percebeu que o resultado obtido pelo uso das analogias nem sempre corresponde ao esperado devido ao desconhecimento dos estudantes a respeito do domínio base.

No ensino de Química, Monteiro & Justi (2000) e Francisco Junior (2009) concordam que a natureza essencialmente abstrata dessa disciplina a torna uma área em potencial para o uso de analogias. Embora Ferry (2016) desenvolvido sobre esse assunto, esses autores sinalizam que há poucos trabalhos que apresentam levantamentos sobre como professores usam as analogias, bem como os materiais apresentam essas comparações.

A pesquisa apresentada nesta dissertação se refere ao modo como as comparações, tomadas por autores de livros didáticos como analogias, são apresentadas, estabelecidas ou construídas para mediar o ensino de conceitos, modelos ou teorias no contexto da ciência escolar. Dessa forma, o trabalho foi desenvolvido a partir do seguinte problema: *quais características nos permitem conceber comparações presentes em livros didáticos de Ciências como sendo analogias adequadamente enriquecidas e apropriadas para o ensino de modelos, conceitos ou teorias científicas na Educação Básica?*

Esse problema foi desdobrado em outras questões que nortearam o desenvolvimento da metodologia adotada no presente trabalho, a saber: (i) como distinguir as formas pelas quais autores de livros didáticos estabelecem comparações?, (ii) quais são os aspectos estruturais dessas comparações?; (iii) com quais níveis de enriquecimento autores de livros didáticos de Química têm construído analogias para abordar conceitos, modelos ou teorias científicas na educação básica?

Para responder a essas perguntas, fizemos a leitura integral de capítulos e seções sobre o tema estrutura atômica nos livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2015, 2016 e 2017 (PNLD 2015), e analisamos estruturalmente comparações identificadas nesses capítulos.

Inicialmente, buscamos nos estudos dedicados à análise de analogias em livros didáticos de Ciências (Curtis & Reigeluth, 1984, Monteiro & Justi, 2000, Francisco Junior,

2009, 2011 e 2012) as categorias normalmente adotadas por investigadores da área para se compreender as formas com as quais autores de livros didáticos utilizam esse tipo de comparação na apresentação das Ciências.

Construímos nosso referencial teórico a partir de duas teorias desenvolvidas no campo da Psicologia Cognitiva: a Teoria do Mapeamento Estrutural (*Structure mapping theory*) de Gentner (1983) e seus colaboradores, e a Teoria das Múltiplas Restrições (*Multiconstraint theory*) de Holyoak & Thagard (1989). Essas duas teorias foram utilizadas por Ferry (2016), que realizou uma análise estrutural de analogias construídas pelo sujeito de sua pesquisa, um professor de Química. Portanto, além dos trabalhos e das teorias mencionadas, também adotamos o trabalho de Ferry (2016) sobre análise Estrutural e Multimodal de Analogias em uma Sala de Aula de Química como um dos referenciais teórico-metodológicos.

## **1.2. Apresentação do Pesquisador**

Em 1994 ingressei no curso de licenciatura plena em Química na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Durante o último ano da graduação, iniciei minha carreira docente como professor de Química, nas redes particular e pública em Belo Horizonte, onde atuo até o momento. Na Rede Pitágoras, de 2002 a 2015, trabalhei como consultor pedagógico de professores e coordenadores de escolas parceiras que utilizavam os materiais didáticos produzidos pela Rede. Em 2013, ainda na Rede Pitágoras, tive a oportunidade de atuar como consultor pedagógico também na construção de animações e de uma tabela periódica interativa voltada para aplicativos *android* e *ios*.

Nesse período retomei meus estudos acadêmicos por meio de um curso de especialização em *Ensino de Ciências por Investigação*, realizado na Faculdade de Educação (FAE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), concluindo-o em 2015.

Em 2014, cursei disciplinas eletivas do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG. Essas disciplinas serviram como ponto de partida para iniciar o mestrado, além de confirmarem minhas pretensões, pois através destas disciplinas tive a oportunidade participar de encontros do grupo de estudo coordenado pelo Prof.Dr. Ronaldo Luiz Nagem e pelo Prof.Dr. Alexandre Ferry. Esse grupo, denominado Grupo de Estudos de Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência (GEMATEC), é vinculado a linha IV do Programa de Pós-Graduação do CEFET-MG, que trata dos fundamentos e práticas educativas no ensino de Ciência e Tecnologia.

Em 2015 iniciei meus estudos como estudante regular do curso de Mestrado em Educação Tecnológica. No mês de outubro desse mesmo ano, participei de um seminário internacional realizado na Cidade de Ibagué, na Colômbia, realizado pela *Latin American Science Education Research Association* (LASERA), com a comunicação oral de um trabalho

sobre “Análise de Comparações associadas às Teorias Atômicas presentes em Livros Didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2015, a partir da Teoria do Mapeamento Estrutural de Gentner”.

No período de 31 de outubro a 01 de novembro de 2015, apresentei o segundo trabalho com resultados parciais da pesquisa de mestrado, no XXIX Encontro Regional da Sociedade Brasileira de Química de Minas Gerais (SBQ-MG), intitulado “Mapeamento Estrutural de uma Analogia para o Modelo Atômico de Rutherford presente em Livros Didáticos de Química”.

Em julho de 2016, participei, por meio de uma comunicação oral, do XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ), realizado na cidade de Florianópolis-SC. O trabalho apresentado foi intitulado de “Análise de uma Analogia presente nos Livros Didáticos de Química do PNLD 2015: o Modelo Atômico de Thomson e um pudim de passas”.

Em novembro de 2016, apresentei na 12ª Semana C&T (Ciência e Tecnologia), promovida pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), o trabalho sobre “Domínios e Propósitos de comparações em livros didáticos de Química”, esse quarto trabalho apresentado também faz parte de resultados parciais desta dissertação.

Os dados bibliográficos desses trabalhos estão apresentados no Apêndice A.

### **1.3. Justificativa**

Ao estudar os diferentes tipos de comparação e principalmente as analogias na Educação em Ciências e, especificamente, no ensino de Química, acreditamos ser possível entender suas potencialidades bem como suas limitações.

Reconhecemos que os livros didáticos são constituídos nas escolas como importantes ferramentas de mediação pedagógica colocados à disposição de professores e estudantes e que, por meio deles, inúmeras analogias são apresentadas no plano social da sala de aula. Nesse contexto, pressupomos que a forma como as analogias e outros tipos de comparação são apresentadas nos livros didáticos pode gerar implicações sobre os processos de compartilhamento e construção de significados em Ciências durante as interações discursivas entre professores e estudantes.

A literatura dedicada ao estudo do papel das analogias no ensino de Ciências, conforme será apresentado em nossa revisão bibliográfica, tem apontado suas potencialidades e riscos para a aprendizagem. Parte desses estudos estiveram voltados tanto para o levantamento de analogias presentes em livros didáticos de Ciências quanto para as formas como elas são estabelecidas por seus autores. No entanto, entre os trabalhos que consultamos durante o desenvolvimento desta pesquisa, não encontramos estudos que analisassem as formas como as analogias são exploradas pelos autores de livros didáticos

na perspectiva do mapeamento estrutural de Gentner e seus colaboradores. No capítulo 3 deste trabalho, apresentamos os principais aspectos teóricos que fundamentaram nossa análise e que nos permitiram, a nosso ver, tecer considerações significativas para análise de analogias em livros didáticos na discussão dos resultados.

Dada a importância dos livros didáticos aos processos de compartilhamento e construção de significados no contexto da Educação em Ciências, e as possibilidades oferecidas pela convergência da Teoria do Mapeamento Estrutural e da Teoria das Múltiplas Restrições para análise de analogias, consideramos relevante e pertinente analisar estruturalmente comparações propostas presentes em livros didáticos de Química, tomadas como analogias para o ensino de algum tópico específico de conteúdo. Escolhemos analisar comparações apresentadas no contexto do tópico estrutura atômica. Os motivos e critérios estabelecidos para essas escolhas estão apresentados no capítulo 4.

#### **1.4. Panorama do Trabalho**

No primeiro capítulo foram apresentados o tema, o objeto, o campo de estudos no qual a pesquisa está inserida, o problema da pesquisa, os questionamentos que nortearam o trabalho, uma breve apresentação do pesquisador e a justificativa para a realização do estudo.

No segundo capítulo, elaboramos uma revisão da literatura sobre o uso de analogias no ensino de Ciências. Resgatamos, cronologicamente, os trabalhos dedicados à análise de analogias em livros didáticos de Ciências. Em nossa revisão da literatura, procuramos destacar os objetivos desses trabalhos, os seus referenciais teóricos e metodológicos, e os seus principais resultados e conclusões.

No terceiro capítulo apresentamos o referencial teórico que construímos a partir de duas teorias sobre as analogias, nascidas no campo da Psicologia Cognitiva: Teoria do Mapeamento Estrutural (*Structure-mapping theory*) de Gentner (1983) e a Teoria das Múltiplas Restrições (*Multiconstraint Theory*) de Holyoak & Thagard (1989).

No quarto capítulo apresentamos a metodologia do trabalho empírico desenvolvido incluindo os critérios para a seleção das obras, os tópicos de conteúdo curricular de interesse para análise, o padrão de representação do mapeamento estrutural das comparações, a sequência metodológica para análise dessas comparações, com destaque ao nível de enriquecimento dado pelos autores dos livros didáticos selecionados.

No quinto capítulo apresentamos os dados referentes às comparações encontradas nos livros didáticos de Química e os resultados obtidos para a análise estrutural das analogias: as comparações identificadas nos livros didáticos, com seus respectivos domínios alvo e base, as comparações selecionadas para aprofundamento da análise, a caracterização

dessas comparações segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984), com adaptações, os mapeamentos estruturais realizados e a análise dos aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos dessas comparações.

No sexto e último capítulo, a discussão anterior foi retomada para que as questões de pesquisa fossem respondidas à luz dos nossos resultados. Encerramos esse capítulo com nossas considerações finais a respeito do trabalho realizado e das contribuições tanto para a pesquisa sobre o uso de analogias no ensino de Ciências quanto para o próprio ensino de Ciências.

## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 – Um breve histórico dos estudos sobre analogias

As analogias vêm sendo estudadas há décadas e numerosos trabalhos, como o de Curtis & Reigleuth (1984), Duit (1991), Harrison e Treagust (1993), Thiele & Treagust (1994) Monteiro & Justi (2000), Francisco Junior (2009), Bernadino et al (2013), vêm demonstrando a importância deste recurso em diversos contextos, principalmente o educacional. É notória a importância e a utilização das analogias no contexto da Educação em Ciências, tanto para a compreensão quanto para a explicação de fatos e fenômenos (Francisco Júnior, 2009). As analogias, assim como outros tipos de comparações, estão presentes em diversas situações cotidianas e, normalmente, estabelecem-se a partir de uma comparação entre dois eventos: um que se pretende explicar e, portanto, desconhecido, e outro já conhecido.

A história mostra que o raciocínio analógico está presente não somente nas Ciências Naturais, mas também em outras bases de pensamento, como as filosóficas, sociológicas e linguísticas, sendo, portanto, arriscado prever o início da utilização das analogias pelos seres humanos. No entanto, acredita-se que a origem do pensamento analógico esteja vinculada ao próprio aparecimento da linguagem (Curtis & Reigleuth, 1984). Desde então, elas têm sido um recurso para teóricos da argumentação e cientistas, que as utilizam como norteadoras para investigações empíricas. De acordo com Duarte (2005), as primeiras teorias sobre analogia e metáforas podem ser atribuídas a Aristóteles, no século IV a.C.

Gentner (1983) afirma ser impossível dissociar o pensamento humano do uso de raciocínios analógicos para a compreensão de algo, sendo esta uma relação praticamente inata da inteligência humana. Dagher (1995) afirma ainda que o raciocínio analógico é um importante componente da cognição humana.

A definição de analogia é algo que está sempre em reconstrução. Tem-se, ao longo das últimas décadas, o surgimento de inúmeras definições que ora se aproximam e ora se afastam, mas que apresentam sempre em comum uma relação entre o conhecido e o desconhecido, estabelecendo uma comparação. Embora as diferentes definições existentes sejam parecidas, perduram ainda, algumas controvérsias com relação à abrangência do conceito *analogia*.

Duit (1991) define analogia como sendo uma “relação entre partes comuns das estruturas de dois domínios”, onde se “compara explicitamente as estruturas destes dois domínios”. Esse autor diferencia analogias de metáforas. Para ele, apesar de analogias e metáforas expressarem comparações e realçarem similaridades, a construção de cada tipo de comparação percorre caminhos distintos. Segundo o autor, as analogias apresentam de

forma explícita as características comuns entre os domínios, enquanto as metáforas apresentam de forma implícita as características ou qualidades que não são comuns aos dois domínios.

De forma semelhante, Harrison & Treagust (1993) definem analogia como sendo uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes. Estes autores usam as terminologias “domínio familiar” e “domínio não familiar” para o conhecido e o desconhecido, respectivamente. Para Glynn & Takahashi (1998) a analogia se dá quando é possível estabelecer uma identificação de similaridades entre dois conceitos. Essa concepção aproxima-se da concepção de Borges (1997), que define analogia como sendo um processo de comparação entre a estrutura dos elementos que se aproximam.

De acordo com Mol (1999), “analogias são comparações explícitas feitas entre conceitos através da descrição de suas similaridades”. Segundo o autor, comparações explícitas diferem das implícitas, por apresentarem relações bem mais evidenciadas entre os conceitos comparados. Um exemplo dessas relações explícitas que definem uma analogia é dado por Mol (1999):

Ao dizermos que a Terra(alvo) é como uma bola de futebol (domínio), é possível perceber, ou melhor, já é consenso, que a relação entre os dois conceitos, nesse caso, é a forma geométrica (MOL, 1999, p.63)

Por meio desse exemplo, percebemos que a definição apresentada por Mól (1999) não distingue as analogias das comparações baseadas nas correspondências entre atributos, ou seja, entre predicados descritivos dos elementos comparados. Ainda segundo o autor, a descrição das similaridades pode ser feita com base em imagens e modelos.

O quadro 1, adaptado de Francisco Junior (2010, p.62), mostra os termos empregados por diferentes autores aos conceitos comparados em uma analogia. Já o quadro 2 traz uma compilação dos principais estudos sobre analogias em livros didáticos brasileiros e suas respectivas definições de analogias.

**QUADRO 1**– Termos empregado por diferentes autores aos conceitos comparados em uma analogia

<b>Conceito desconhecido</b>	<b>Conceito conhecido</b>	<b>Autor</b>
Tópico	Veículo	Curtis & Reifeluth (1984)
Alvo	Análogo	Duit (1991)
Domínio não familiar	Domínio familiar	Harrison e Treagust (1993)
Alvo	Análogo	Venville, Bryer e Treagust (1994)
Domínio menos familiar	Domínio mais familiar	Dagher (1995)
Alvo	Fonte	Borges (1997)
Branco	Análogo	Otero (1997)
Alvo	Análogo	Monteiro & Justi (2000)

Fonte: Elaborada pelos autores.

**QUADRO 2**– Estudos dedicados à análise de analogias em livros didáticos de Química brasileiros.

AUTOR (ANO)	REFERENCIAL TEÓRICO ADOTADO	CONCEPÇÃO DE ANALOGIA ADOTADA	REFERENCIAL METODOLÓGICO ADOTADO	CRITÉRIO DE SELEÇÃO DOS LIVROS DIDÁTICOS	QUANTIDADE DE LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS	QUANTIDADE DE ANALOGIAS IDENTIFICADAS E/OU ANALISADAS
Monteiro & Justi (2000)	Curtis e Reigeluth, (1984);Thiele e Treagust, (1994) e (1995).	Uma analogia é definida como uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes (Duit, 1991).	Thiele e Treagust (1994).	Utilização em escolas e disponibilidade para análise.	11	126
Francisco Junior (2009)	Curtis e Reigeluth, (1984);Thiele e Treagust, (1994) e (1995); Mól (1999); Monteiro & Justi (2000)	Uma comparação pela qual se pode conhecer um fenômeno desconhecido mediante o estabelecimento de correspondências com o fenômeno já conhecido.	Thiele e Treagust, (1994;1995).	Aprovação no PNLEM 2007	06	154
Francisco Junior et al (2011)	Curtis e Reigeluth (1984); Duit (1991); Thiele e Treagust (1994); Dagher (1995); Monteiro e Justi (2000); Oliva <i>et al</i> (2001); Raviolo e Garritz (2008)	Uma comparação entre um conceito alvo, aquele que se quer aprender (ensinar), e um conceito análogo, aquele que servirá de subsídio no alcance ao primeiro.	Thiele e Treagust (1994)	Aprovação no PNLEM 2007 e presença do conteúdo de equilíbrio químico	06	8
Francisco Junior et al (2012)	Curtis e Reigeluth (1984); Treagust et al., 1992; Ferraz & Terrazan, 2002; Bozelli & Nardi, 2006	Uma comparação pela qual se pode conhecer um fenômeno desconhecido mediante o estabelecimento de correspondências com o fenômeno já conhecido), ou quando se verificou algum tipo de identificação da analogia.	Thiele e Treagust (1994).	Publicação ou reedição em um período não superior a 20 anos;indicação como bibliografia básica de Química Geral em diversos cursos superiores do país.	07	212
Bernadino et al (2013)	Curtis e Reigeluth (1984); FranciscoJunior (2009); Monteiro e Justi (2000); Thiele e Treagust (1994); Zambon e Terrazan (2007)	Denominações propostas por Mól (1999), isto é, <b>domínio e alvo</b> .	Monteiro e Justi (2000); Francisco Junior (2009).	Livro Didático Público de Química do Estado do Paraná (PARANÁ, 2007)	01	25

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 2.2 Analogias como recurso didático

As analogias são instrumentos extremamente importantes na cognição humana, marcando a aprendizagem em diversas áreas do conhecimento. Dagher (1995) afirma que profissionais da educação e pesquisadores devem conhecer quais impactos podem surgir com o uso das analogias e, de acordo com Francisco Junior (2010), é importante que os estudantes sejam capazes de diferenciar as similaridades entre o alvo e o análogo.

Quando um professor se utiliza de expressões como “para vocês entenderem melhor” ou “vamos fazer uma analogia”, entre outras, seu propósito é o de, normalmente, facilitar a aprendizagem dos estudantes. Alguns trabalhos (Mol, 1999; Monteiro & Justi, 2000) sinalizam que os estudantes, com frequência, procuram associar conceitos familiares com os conceitos em estudo. No entanto, Clement (1993), ao estudar o uso de analogias em situações de ensino e aprendizagem, verificou que nem sempre elas produzem o resultado esperado. Isso porque muitas analogias consideradas óbvias pelo professor não são vistas da mesma forma pelos estudantes. Nesse sentido, a presença, bem como o uso de analogias em livros didáticos, requer uma análise rigorosa.

Monteiro e Justi (2000) constataram, à época, a inexistência de estudos que analisassem a apresentação de analogias em livros-texto brasileiros destinados ao ensino de Química em nível médio. Em seu trabalho, essas autoras ressaltaram que o risco eminente de maior frequência na utilização de analogias é o uso exagerado e indiscriminado ao se estabelecer relações analógicas incorretas. Por essa razão, torna-se necessário que o professor, como mediador do processo de aprendizagem, auxilie os estudantes a identificarem as similaridades e as diferenças entre os domínios da analogia.

Para Bernadino et al (2013), as analogias, no âmbito da educação e especificamente nas ciências da natureza, são um recurso com potencial didático elevado no processo de ensino e aprendizagem devido ao auxílio que elas exercem na compreensão de fenômenos e conceitos desconhecidos, por meio de comparações com domínios já conhecidos.

Duit (1991) apresenta ainda algumas vantagens quanto ao uso de analogias como recurso didático, a saber: (1) o uso de analogias abre outras perspectivas de ensino, motivando os estudantes; (2) as analogias facilitam a compreensão e a interpretação de conceitos abstratos por similaridades e (3) podem auxiliar o professor a conhecer conceitos prévios dos estudantes a respeito de um determinado tema.

## 2.3 Identificação e categorização das analogias

Uma importante e pioneira referência sobre o uso de analogias em livros didáticos deve-se a Curtis & Reigeluth (1984), que fizeram um estudo quantitativo e qualitativo de analogias presentes em 26 livros de Ciências, sendo 10 de Biologia, 06 de Ciências Gerais,

04 de Química, 03 de Física, 02 de Ciências da Terra e 01 de Geologia. Neste estudo, foram mapeadas 216 ocorrências, com uma média de 8,3 analogias por livro. Após identificação das analogias, o autor estabeleceu oito parâmetros (vide quadro 3) que foram seguidos e adaptados por outros pesquisadores.

Na primeira categoria, aborda-se aspectos qualitativos considerado pelo conceito alvo, ou seja, neste critério determina-se em qual tipo de conteúdo curricular encontra-se o análogo. Na segunda categoria têm-se a localização que sinaliza em que ponto da obra a analogia é apresentada. Já no terceiro item (relação analógica *funcional, estrutural e funcional-estrutural*), determina-se que, quando o análogo e o alvo compartilham aspectos físicos, a relação é do tipo *estrutural*; quando o comportamento do análogo é atribuída ao alvo a comparação, a relação é do tipo *funcional*; quando há ambos, ou seja, aspecto físico e comportamental sendo compartilhados, classifica-se como *funcional-estrutural* (Curtis e Reigeluth, 1984, p.103).

Na quarta categoria, verifica-se o formato da apresentação da analogia, classificando-se como *verbal, ilustrativo e verbal-ilustrativo*. O formato da apresentação é tido como *verbal* quando o análogo é descrito apenas pelo texto. Quando há descrição do análogo apenas por meio de uma ilustração, o formato é tido como *ilustrativo*; e ao se combinar as duas formas de apresentação tem-se a forma *verbal-ilustrativa*.

A quinta categoria trata da condição em que se apresenta a analogia, como sendo *concreto-concreto, concreto-abstrato e abstrato-abstrato*. Essa categoria de classificação determina o nível de abstração, onde o primeiro termo refere-se ao análogo e o segundo ao alvo. Dessa forma, analogias *concretas-concretas* são caracterizadas por terem o análogo e o alvo concretos; *abstratas-abstratas*, análogo e alvo são abstratos, e *concretas-abstratas* o análogo é concreto e o alvo abstrato.

A sexta categoria verifica a posição do análogo em relação ao alvo, que pode ser anterior, durante, depois ou a margem da apresentação do alvo. A sétima categoria diz respeito ao nível de enriquecimento (*simples, enriquecidas ou estendidas*). Esta categoria está associada à extensão das semelhanças apresentadas, sendo sub-classificadas em simples, quando há uma pequena semelhança; enriquecidas quando alguns atributos são compartilhados, e estendida, quando diferentes análogos, ou análogos alterados, são usados para descrever o conceito alvo. Como último critério tem-se a orientação pré-tópico, onde verifica-se a existência de orientações dadas pelo autor do trabalho em diferentes níveis para explicar o uso da analogia, bem como informações sobre o análogo.

Thiele & Treagust (1994b; 1995) fizeram modificações nos parâmetros adotados por Curtis & Reigeluth (vide Quadro 03), para análise de livros de Química do Ensino Médio,

permitindo um estudo mais detalhado. Entre as modificações, tem-se o acréscimo de mais uma categoria que trata da discussão ou alerta do autor para o leitor quanto às limitações da analogia apresentada. Como metodologia de pesquisa, esses autores realizaram uma leitura integral dos livros e todas as analogias identificadas foram transcritas e analisadas. Como critério para identificar as analogias, verificaram a presença de atributos entre o análogo e alvo na comparação tanto para texto quanto imagens. Eles identificaram 93 analogias ao longo de 10 livros textos.

Embora não tenha sido realizado em livros didáticos, mas ainda abordando o tema, Mól (1999) analisou o emprego de analogias no periódico *Journal of Chemical Education*, onde foram categorizadas 191 analogias publicadas no período de 1932 a 1999.

Monteiro e Justi (2000) a partir do referencial teórico adotado (Curtis & Reigeluth, 1984; Thiele & Treagust, 1994 e 1995), analisaram 11 livros didáticos que foram selecionados a partir da frequência e amplitude do uso nas escolas de Ensino Médio do Brasil. A análise visava discutir a extensão das analogias identificadas nas obras, verificando se as mesmas poderiam ser consideradas bons modelos de ensino. Nessa pesquisa foram encontradas 126 analogias, tendo sido usado a concepção de analogias dada por Duit (1991), que define uma analogia como sendo uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes. A categorização das analogias identificadas seguiram os critérios de Thiele & Treagust (1994), com adaptações (Quadro 3), quanto a orientação pré-tópico - a presença de expressões do tipo 'imagine que...', '...é semelhante a...', '...é como se fosse...', 'podemos comparar...', '...é análogo a...' foi considerada como caracterizando uma *identificação da estratégia*.

Francisco Junior (2009) reconhece que o uso de analogias é comum em livros de Ciências devido, principalmente, aos conceitos abstratos que são trabalhados. Este autor adotou como referencial teórico e metodológico os trabalhos de Curtis & Reigeluth (1984); Thiele & Treagust (1994; 1995); Mól (1999) que pesquisou periódicos e Monteiro & Justi (2000). Ainda segundo o autor, nos últimos anos, o livro didático vem se tornando, cada vez mais, a principal ferramenta para obtenção do conhecimento entre professores e estudantes. Francisco Junior (idem) analisou livros didáticos aprovados no Programa Nacional do Livro Didático do Ensino Médio do ano de 2007. Foram analisadas um total de seis obras de diferentes editoras nacionais, e as analogias foram identificadas a partir de expressões do tipo "semelhante a...", "isso é como...", "fazendo uma analogia...", "analogamente...". 154 analogias estavam presentes nos livros analisados, que foram posteriormente classificadas de acordo com os critérios de estudos de Thiele & Treagust (1994b; 1995) e Monteiro & Justi (2000), com adaptações.

Além da identificação e classificação das analogias, o estudo apontou aspectos sobre o uso adequado das analogias em textos, bem como na sala de aula por discentes e docentes. Para o autor, o uso de analogias implica em diversas competências cognitivas tais como percepção, imaginação, criatividade, memória e resolução de problemas, além do desenvolvimento conceitual. Francisco Junior (2009) ressalta ainda a importância do conhecimento do potencial das analogias tanto para a construção do conhecimento, quanto para criar obstáculos epistemológicos. Como parte de sua conclusão de pesquisa tem-se que a maior parte das analogias identificadas nos livros de Química analisados provavelmente não favorece a aprendizagem dos conceitos ou modelos dessa área de conhecimento.

Em outro trabalho, Francisco Junior (2011) pesquisou as analogias sobre o conteúdo de equilíbrio químico nos mesmos seis livros didáticos de Química aprovados no PNLEM-2007 (vide quadro 2). Neste trabalho, a escolha pelos livros foi justificada pela amplitude do programa do governo que permite o acesso dos professores, estudantes e demais participantes do processo, ao material. A partir da leitura integral das obras foram identificadas oito analogias através da presença de expressões que sugerem o estabelecimento de analogias, conforme Francisco Junior (2009). As analogias foram codificadas pelo livro e pela ordem sequencial em que aparecem e, em seguida, classificadas de acordo com as nove categorias estabelecidas no trabalho de 2009.

Em um estudo posterior, Francisco Junior (2012) realizou uma pesquisa sobre analogias presentes em livros de Química do ensino superior. Foram analisados livros de Química Geral e, como critério de seleção, o autor levou em conta a atualização da obra (apenas livros que foram publicados ou reeditados em um período não superior a 20 anos). Como critério para identificação das analogias foram usadas as expressões propostas por Francisco Junior (2009). Foram encontradas um total de 212 analogias ao longo das sete obras analisadas em diferentes conteúdos. Nesse trabalho, o autor utilizou nove categorias de classificação adotadas por Francisco Junior (2009), exceto a classificação de orientações pré-tópicos.

Bernadino et al (2013) pesquisou analogias em livros didáticos de Química da rede pública do estado do Paraná (Paraná, 2007). Como percurso metodológico, foi realizado na primeira etapa a leitura integral das obras. A identificação das analogias ocorreu de acordo com a definição estabelecida por Mól (1999), além da presença de trechos que evidenciam uma analogia. Na sequência, as analogias encontradas foram codificadas e categorizadas, semelhante ao que propõe Francisco Junior (2009), excluindo-se as categorias (1) quantidade e frequência e (8) nível de mapeamento. Além disso, Bernardino et al (idem) adotaram um critério de categorização diferente quanto ao nível de enriquecimento, se aproximando da maneira como fizeram Monteiro & Justi (2000). Bernardino et al (idem) encontraram 25

analogias distribuídas em 15 capítulos, e perceberam que a maioria estava relacionada a tópicos abstratos, como ligações químicas e estrutura atômica.

O quadro 3, na próxima página, fornece um panorama dos critérios usados por pesquisadores que citamos nesta revisão.

**QUADRO 3–** Critérios usados no estudo de analogias em livros didáticos por diferentes pesquisadores

<b>CURTIS &amp; REIGELUTH (1984)</b>	<b>THIELE E TREAGUST (1994)</b>	<b>MONTEIRO &amp; JUSTI (2000)</b>	<b>FRANCISCO JUNIOR (2009)</b>	<b>FRANCISCO JUNIOR (2011)</b>	<b>FRANCISCO JUNIOR (2012)</b>	<b>BERNADINO et al (2013)</b>
Relação analógica Estrutural Funcional Estrutural-Funcional	Relação analógica Estrutural Funcional Estrutural-Funcional	Relação de analogia Estrutural Funcional Estrutural-Funcional	Relação analógica Estrutural Funcional Estrutural-Funcional	Relação analógica Estrutural Funcional Estrutural-Funcional	Relação analógica Estrutural Funcional Estrutural-Funcional	Relação analógica Estrutural Funcional Estrutural-Funcional
Formato da apresentação Verbal Pictórico-verbal	Formato da apresentação Verbal Pictórico-verbal	Formato da apresentação Verbal Ilustrativo-verbal	Formato da apresentação Verbal Ilustrativo-verbal	Formato da apresentação Verbal Pictórico-verbal	Formato da apresentação Verbal Ilustrativo-verbal	Formato da apresentação Verbal Ilustrativo-verbal
Condição Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato	Condição ou Nível de abstração Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato	Condição ou nível de abstração Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato	Nível de abstração Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato	Nível de abstração Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato	Condição ou Nível de abstração Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato	Condição ou Nível de abstração Concreta/concreta Abstrato/abstrato Concreta/abstrato
Posição (do veículo) Organizador prévio Durante a apresentação do alvo Após a apresentação do alvo	Posição Antes, durante, após a apresentação do alvo ou a margem	Posição Antes, durante, após a apresentação do alvo ou a margem	Posição Antes, durante, após a apresentação do alvo ou a margem	Posição Antes, durante, após a apresentação do alvo.	Posição Antes, durante, após a apresentação do alvo ou a margem	Posição Antes, durante, após a apresentação do alvo ou a margem
Nível de enriquecimento Simples Enriquecida Estendida	Nível de enriquecimento Simples Enriquecida Estendida	Nível de enriquecimento Simples Enriquecida Estendida	Nível de enriquecimento <sup>1</sup> Simples Enriquecida Estendida	Nível de enriquecimento Simples Enriquecida Estendida	Nível de enriquecimento <sup>1</sup> Simples Enriquecida Estendida	Nível de enriquecimento Simples Enriquecida Estendida
Orientação pré-tópico Explicação do veículo Estratégia de identificação Explicação do veículo e Estratégia de identificação. Ausência de orientação de pré-tópico.	Orientação pré-tópico Semelhante as subcategorias do Curtis & Reigeluth (1994)	Orientação pré –tópico Existência de explicações sobre a presença da analogia e/ou se os autores incluem alguma estratégia de identificação.	Orientação pré-tópico Existência de explicações sobre a presença da analogia e/ou se os autores incluem alguma estratégia de identificação.	---	---	Orientação pré-tópico Existência de explicações das analogias e se há alguma identificação de estratégia para indicar o uso de uma analogia,

ANÁLISE ESTRUTURAL DE ANALOGIAS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA  
GILSON RODRIGUES DE ALVARENGA

---	Conteúdo Qual aspecto químico está sendo considerado pelo conceito alvo;	Conteúdo Qual aspecto químico está sendo considerado pelo conceito alvo;	Conteúdo Os tópicos e conceitos químicos considerados como alvo na analogia.	---	Conteúdo Conceitos-alvo químicos.	Conteúdo do conceito alvo Especifica o tópico ou conceito químico considerado como alvo na analogia.
---	Localização Em que ponto do currículo a analogia é apresentada.	Localização Em que ponto do currículo a analogia é apresentada.	---	---	---	---
---	Limitação Não reconhece existência Reconhece existência Discute-as limitações.	Limitação Não reconhece existência Reconhece existência Discute-as limitações.	Limitação Não reconhece existência Reconhece existência Discute-as limitações.	---	Limitação Não reconhece existência Reconhece existência Discute-as limitações.	Limitação Se os autores alertam o leitor e se há a discussão de algumas limitações
---	---	---	Quantidade e frequência das analogias; Distribuição das analogias em cada obra	---	Quantidade e frequência das analogias; Total de analogias em cada livro analisado.	---
---	---	---	O nível de mapeamento Analisar se o(s) autor(es) discutem os conceitos correspondentes entre o alvo e o análogo	---	O nível de mapeamento Analisar se o(s) autor(es) discutem os conceitos correspondentes entre o alvo e o análogo	---
---	---	---	---	Analogias internas à própria área do conhecimento	---	---
---	---	---	---	Orientações ao usar analogias	---	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

## **2.4 – O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)**

Segundo Echeverría et al (2008) a história da educação está diretamente vinculada à história do livro didático. Tal fato pode ser percebido pela trajetória do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), criado pelo governo federal, e que vem sendo reformulado ao longo de várias décadas.

O PNLD apresenta uma íntima ligação com políticas públicas e, por essa razão, sofreu inúmeras modificações ao longo do tempo. Para Echeverría et al (2008) essas mudanças foram necessárias para adequar o programa às necessidades das novas demandas da sociedade.

### **2.4.1 – Breve histórico sobre o PNLD**

Em 1929, o Estado criou um órgão específico para legislar sobre políticas do livro didático – o Instituto Nacional do Livro (INL), contribuindo para dar maior legitimidade ao livro didático nacional e, conseqüentemente, auxiliando no aumento de sua produção. Em 1937, o INL se tornou subordinado ao Ministério da Educação (MEC) pelo então ministro Gustavo Capanema, no contexto do Estado Novo. Esse órgão ficou responsável pela divulgação e distribuição de obras com objetivos educacionais, culturais e científicos. Em 1938, por meio de um decreto (Lei 1.006, de 30/12/1938) definiu-se pela primeira vez os parâmetros para se classificar uma obra como livro didático. Para os efeitos da referida lei, foram considerados livros didáticos os compêndios e os livros de leitura de classe:

§1.º Compêndios são os livros que exponham, total ou parcialmente, a matéria das disciplinas constantes dos programas escolares.

§2.º Livros de leitura de classe são os livros usados para leitura dos estudantes em aula.

Através desse mesmo decreto foi criada a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD) e, em 1939, essa comissão foi ampliada. Em 1966 foi criada a Comissão do Livro Técnico e Livro Didático (COLTED), em parceria com o governo dos Estados Unidos da América, com o objetivo de distribuir mais de 50 milhões de livros didáticos, entre outras ferramentas de cunho pedagógico.

Pelo Decreto nº 77.107, de 04/02/76, o governo assumiu a compra de um número relevante dos livros para distribuição em todo o território nacional. Com a extinção do INL, a Fundação Nacional do Material Escolar (FENAME) ficou responsável pela execução do programa do livro didático com recursos do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE).

Em 1985, por meio do Decreto nº 91.542, de 19/8/85, o Programa do Livro Didático para o Ensino Fundamental (PLIDEF) deu lugar ao PNLD, trazendo diversas mudanças, como:

- Reutilização do livro, implicando na abolição do livro descartável e do aperfeiçoamento das especificações técnicas para sua produção, visando uma maior durabilidade e possibilitando a implantação de bancos de livros didáticos;
- Extensão da oferta aos estudantes de 1ª e 2ª série das escolas públicas e comunitárias;
- Fim da participação financeira dos estados, passando o controle do processo decisório para a Fundação de Assistência ao Estudante (FAE), garantindo o critério de escolha do livro pelos professores.

Em 1996, o MEC criou uma comissão responsável pela análise pedagógica dos livros inscritos no programa, e também criou o primeiro “Guia de Livros Didáticos” de 1ª a 4ª série. As obras, a partir desta data, deveriam ser avaliadas pelo MEC conforme critérios previamente discutidos.

Ao longo dos anos, várias séries e disciplinas foram adicionadas ao programa. Em 2005 foi criado o Programa Nacional do Livro do Ensino Médio (PNLEM), inicialmente com os livros de Português e Matemática. Nos anos seguintes outras disciplinas foram incluídas, sendo que a Química, como disciplina curricular, foi inserida em 2007.

#### **2.4.2 PNLD 2015**

No PNLD 2015 foram distribuídos livros didáticos de diversas disciplinas, entre elas a Química. As coleções distribuídas diferenciavam-se em dois tipos de composição: as do tipo 1, como obra multimídia composta de livros digitais e livros impressos; e as do tipo 2, como obra impressa composta de livros impressos e pdf.

Os livros de Química para análise foram escolhidos a partir da aprovação das obras pelo Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2015, 2016 e 2017, segundo o Edital de Convocação 01/2013 (BRASIL, 2013). A partir de 13 obras inscritas, o processo de avaliação desse programa culminou em quatro obras aprovadas. O quadro 05, no capítulo 4, apresenta as quatro obras aprovadas, com suas respectivas codificações, que foram analisadas neste trabalho.

## CAPÍTULO 3 – REFERENCIAL TEÓRICO

---

A fim de investigar as características das comparações tomadas por autores de livros didáticos como analogias para o ensino de Química, construímos o nosso referencial teórico por meio da convergência de duas teorias desenvolvidas no campo da Psicologia cognitiva: a Teoria do Mapeamento Estrutural (*Structure-mapping theory*), de Dedre Gentner (GENTNER, 1983) e colaboradores (GENTNER & MARKMAN, 1997), e a Teoria das Múltiplas Restrições (*Multiconstraint theory*), de Keith Holyoak e Paul Thagard (HOLYOAK & THAGARD, 1989). Tal convergência foi primeiramente realizada na tese de Ferry (2016), ao analisar analogias e outras comparações construídas por um professor em sala de aula para ensinar Química. Dessa forma, também adotamos o trabalho de Ferry (2016) como um referencial teórico e metodológico.

Neste capítulo, apresentamos o referencial teórico construído a partir da convergência e das principais considerações desses trabalhos. No capítulo seguinte serão apresentadas as considerações e orientações metodológicas decorrentes do trabalho de Ferry (2016).

### 3.1 – Teoria do Mapeamento Estrutural das Analogias

Nos trabalhos produzidos em nosso grupo de pesquisa – AMTEC (Analogias e Metáforas na Tecnologia, na Educação e na Ciência), do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, temos adotado como referencial teórico a Teoria do Mapeamento Estrutural (*Structure-mapping theory*) proposta por Gentner (1983) e seus desdobramentos conceituais. O berço dessa teoria é a Psicologia Cognitiva, sendo usada no campo da Educação em Ciências em diversas pesquisas sobre o uso de comparações (ver MOZZER & JUSTI, 2013 e 2015; FERRY, 2016).

#### ***Os diferentes tipos de comparações***

De acordo com a teoria proposta por Gentner (1983), entendemos que uma analogia consiste em um tipo de comparação que envolve um mapeamento de correspondências entre relações similares pertencentes a cada um dos dois domínios comparados: um domínio base que, sendo familiar, serve de fonte de conhecimento para a compreensão de outro domínio, considerado como alvo da comparação e compreensão.

Além das analogias, Gentner (1983) define outros dois tipos de comparação: as *similaridades de mera aparência* e as *similaridades literais*. Nas similaridades de mera aparência, o foco da comparação é dado às correspondências entre atributos (predicados descritivos) dos elementos que pertencem a cada domínio (tais como a forma, a cor, o

tamanho). Nas similaridades literais, o foco da comparação é dado tanto sobre as correspondências entre os atributos dos elementos que pertencem aos domínios quanto sobre as correspondências entre as relações que os constituem. No caso das analogias, o foco da comparação é predominantemente dado sobre as correspondências entre as relações. Tais relações podem ser de ordem estrutural, causal, hierárquica, de proporcionalidade, etc (FERRY, 2016).

Gentner & Markman (1997) atribui às analogias um papel cognitivo superior. Para a autora as comparações por mera aparência podem ser atraentes e úteis, localmente, mas possuem um poder explicativo limitado. Em uma analogia não interessa a quantidade de correspondências entre os elementos ou entre os atributos dos elementos presentes nos dois domínios. Ao invés disso, relações estruturais identificadas entre os elementos do domínio base devem corresponder a relações estruturais que são atribuídas aos elementos do domínio alvo. As semelhanças superficiais entre os dois domínios não têm tanta importância quanto as similaridades entre as relações. Portanto, uma analogia serve para destacar correspondências entre relações.

Segundo Gentner (1983), há ainda outros tipos de comparação, como as anomalias. Nas anomalias, o mapeamento das similaridades entre os dois domínios comparados não encontra correspondências, nem entre atributos dos elementos, nem entre relações que os elementos exibem em cada domínio. Ferry (2016) apresentou como exemplo de uma anomalia a comparação entre um buraco negro e um ponto escuro em um pedaço de papel. Segundo o autor, essa comparação se constitui como uma anomalia por não haver

nenhum atributo correspondente entre os domínios e, muito menos relações entre os elementos ou os atributos desses elementos: 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. Na ausência desses conhecimentos, todavia, pode não parecer anômalo comparar buracos negros e pigmentos escuros no papel (FERRY, 2016, p. 52).

Sintetizamos no quadro 4 as diferenças entre esses quatro tipos de comparação, segundo as considerações de Gentner (1983), apresentando o foco das correspondências estabelecidas e um exemplo para cada uma.

**QUADRO 4**– Tipos de comparação: foco e exemplos.

<b>Tipo de comparação</b>	<b>Foco das correspondências</b>	<b>Exemplo</b>
Analogia	Relações	<i>O átomo de Bohr é como o sistema solar.</i>
Mera aparência	Atributos	<i>O átomo de Dalton é como uma bola de sinuca.</i>
Similaridade literal	Relações e atributos	<i>O átomo do elemento potássio é como o átomo do elemento sódio.</i>
Anomalia	Sem correspondência	<i>O átomo é como um pincel atômico.</i>

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nas comparações de mera aparência as semelhanças estão entre os atributos de elementos pertencentes ao DB e DA. Além da comparação entre os atributos do modelo atômico de Dalton e os atributos de uma bola de sinuca, podemos citar como exemplos das similaridades por mera aparências seguintes comparações: (i) o aspecto gráfico de uma função senoidal e a aparência de uma corda em um movimento ondulatório; (ii) a aparência de uma célula eucarionte e a de um abacate; (iii) a cor dourada de uma amostra de piritita e a de uma pepita de ouro. Em todos esses casos, o foco da comparação é dado sobre às propriedades descritivas pertencentes aos elementos dos dois domínios.

De acordo com Ferry (2016), a distinção das comparações feita meramente por meio da quantificação das correspondências mapeadas no DB e DA, é uma escolha vinculada à Psicologia Cognitiva, e que esse caminho desconsidera aspectos discursivos que devem ser levados em conta quando investigamos os efeitos de sentido que uma comparação pode apresentar em um contexto sócio histórico específico. Isso significa que o fato de uma comparação envolver muitas relações em correspondência não significa necessariamente que ela será compreendida como tal. Dessa forma entende-se que uma comparação também deve levar em conta o conhecimento prévio do estudante, o que implica na importância do domínio base. Clement (1993) ao estudar a utilização de analogias em situações de ensino, percebeu que nem sempre obtêm-se o resultado desejado devido ao fato das analogias serem óbvias para o professor e não são necessariamente pelos estudantes. Mol (1999) afirma que “o professor, ao fazer uso de uma analogia, precisa trazer situações que sejam familiares aos estudantes, favorecendo uma melhor compreensão dos conceitos”.

### **Limitações das comparações**

Alguns pesquisadores voltados ao estudo das analogias que adotaram como referencial a teoria do mapeamento estrutural das analogias, dentre eles o de Ferry (2016), e os de Mozzer & Justi (2013 e 2015), sinalizaram a importância das potencialidades e os riscos desse tipo de comparação no contexto didático.

Para Mozzer & Justi (2015), vários trabalhos indicam que é frequente professores negligenciarem, por desconhecimento, a relevância da identificação e discussão das

limitações das analogias. Ainda segundo esses pesquisadores, as limitações estão associadas “às propriedades não compartilhadas entre o análogo [domínio base] e o alvo e/ou as condições nas quais a analogia não se aplica” (p.125). Nesse sentido, Francisco Junior (2009) afirmar que as analogias funcionam bem quando as semelhanças predominam, e tendem a falhar quando as diferenças começam a prevalecer (p.124). Outros trabalhos, como Duit (1991), Oliva *et al* (2001), Oliva (2004) e Duarte (2005), são convergentes a esse respeito.

Markman & Gentner (1996), apresentam dois conceitos que, de acordo com Ferry (2016), são úteis para a caracterizar as limitações das analogias entre os domínios comparados: as diferenças alinháveis (*alignable differences*), e as diferenças não-alinháveis (*nonalignable differences*). As primeiras se referem às diferenças relacionadas ou conectadas com as correspondências mapeadas entre os domínios, e a segunda se refere às diferenças que não estão conectadas aos pontos em correspondência da comparação.

Ferry (2016) considerou que as diferenças alinháveis se aproximam das limitações da analogia, como sendo as diferenças relevantes de serem abordadas em sua construção. Esse autor considera que, as diferenças alinháveis devem ser colocadas em evidência durante a construção de uma analogia a fim de se evitar a transposição de ideias equivocadas para o domínio alvo da comparação.

No entanto, conforme apresentamos no próximo capítulo a respeito da metodologia empregada para análise das comparações, consideramos adequado fazer uma distinção entre as limitações de uma analogia e as diferenças alinháveis a serem mapeadas. Compreendemos as limitações como situações ou condições nas quais a analogia não se aplica, enquanto as diferenças alinháveis, conforme sugere Gentner & Markman (1996), como diferenças pontuais entre os domínios base e alvo que estão diretamente conectadas a elementos, atributos ou relações colocadas em correspondência no mapeamento.

### **Representação das correspondências entre os domínios comparados**

Nos primeiros parágrafos do seu texto, Gentner (1983) apresenta um padrão de representação de três tipos de correspondências entre atributos (expressão 1), relações de primeira ordem (expressão 2) e relações de ordem superior (expressão 3).

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

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

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

A expressão 1 representa uma correspondência entre atributos: um atributo (A) de algum elemento ou objeto do domínio base (*b*) para um atributo de algum elemento ou objeto do domínio alvo (*target* – *t*). A segunda expressão, semelhantemente, representa uma

correspondência entre relações de primeira ordem. Nessa segunda expressão, haveria uma correspondência entre uma relação envolvendo os elementos  $b_i$  e  $b_j$ , pertencentes ao domínio base, e uma relação envolvendo os objetos  $t_i$  e  $t_j$  do domínio alvo. Por se tratar de uma relação entre objetos, ou até mesmo entre atributos desses objetos (FERRY, 2016), esse tipo de combinação é entendida como uma correspondência entre relações de primeira ordem.

A expressão 3, que representa uma correspondência entre relações de ordem superior (*higher-order relation*), implica na existência, em cada domínio da comparação, de uma relação entre relações. A relação  $R'$  consiste em uma relação entre as relações estruturais  $R_1$  e  $R_2$ .

Ferry (2016), inspirado nas representações propostas por Gentner (1983), criou um padrão de representação “mais amigável” e menos dependente de notações tipicamente utilizadas na álgebra, possivelmente mais legível aos não iniciados nessa disciplina. Segundo o autor, esse novo padrão de representação (apresentado na capítulo 4 deste trabalho)

atende ao requisito de identificar não somente elementos ou atributos similares em cada domínio, mas também as relações estabelecidas entre eles, bem como as relações de ordem superior postuladas entre relações de primeira ordem (FERRY, 2016, p. 79).

### 3.2 – Restrições estruturais das analogias

Além desses aspectos fundamentais da teoria do mapeamento estrutural das analogias, Gentner & Markman (1997) descrevem ainda três “restrições psicológicas”, que neste trabalho estamos chamando de restrições, aspectos ou características estruturais desse tipo de comparação. Segundo esses autores, para que uma comparação possa ser concebida como uma analogia, ela deve ter: (1) *consistência estrutural* – uma analogia deve ser estabelecida por meio da correspondência um a um entre os elementos e atributos de seus domínios, de modo que qualquer elemento em um domínio corresponda a, no máximo, um elemento correspondente no outro domínio, além de uma conectividade em paralelo entre suas relações colocadas em correspondência, de modo que as relações correspondentes possuam argumentos correspondentes; (2) *foco relacional* – uma analogia deve ser estabelecida sobre as relações entre os elementos existentes em cada domínio, e não meramente sobre os seus atributos; (3) *sistematicidade* – uma analogia deve envolver relações interconectadas, de modo que a compreensão das relações de ordem superior implique na compreensão de suas relações mais simples. As comparações que envolvem relações interconectadas são consideradas mais sistemáticas do que aquelas que possuem relações isoladas, constituídas apenas por atributos dos elementos ou relações simples de primeira ordem

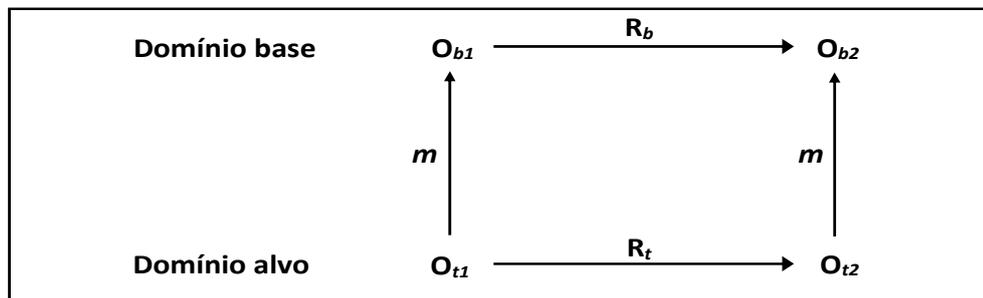
No trabalho de Holyoak & Thagard (1989) – *Multiconstrant theory*, traduzido por Ferry (2016) como a Teoria das Múltiplas Restrições, encontramos mais três “restrições

psicológicas”, entendidas neste trabalho como aspectos complementares para análise das comparações estabelecidas para ensinar Ciências.

Para Holyoak & Thagard (1989), uma analogia deve satisfazer três restrições fundamentais para ter utilidade pedagógica e heurística: (1ª) deve haver certo *isomorfismo* entre as enunciações a respeito do domínio base e as enunciações referentes ao domínio alvo, a fim de facilitar o estabelecimento das correspondências entre os elementos e seus atributos em relação; (2ª) deve haver certa *similaridade semântica* entre as entidades (elementos, atributos e relações) que constituem os domínios da comparação, ou seja, as entidades colocadas em correspondência devem ser concebidas com significados contextuais semelhantes; (3ª) deve haver certa *adequação pragmática* na construção da analogia, ou seja, as correspondências estabelecidas na comparação devem ser coerentes com as intenções ou propósitos para os quais foi construída.

A figura 1 a seguir, reproduzida a partir do trabalho de Holyoak & Thagard (1989), demonstra as condições básicas que caracteriza o isomorfismo entre os enunciados de uma comparação, na qual a letra **m** corresponde ao termo *mapeamento* e a letra **O** ao termo *objeto*.

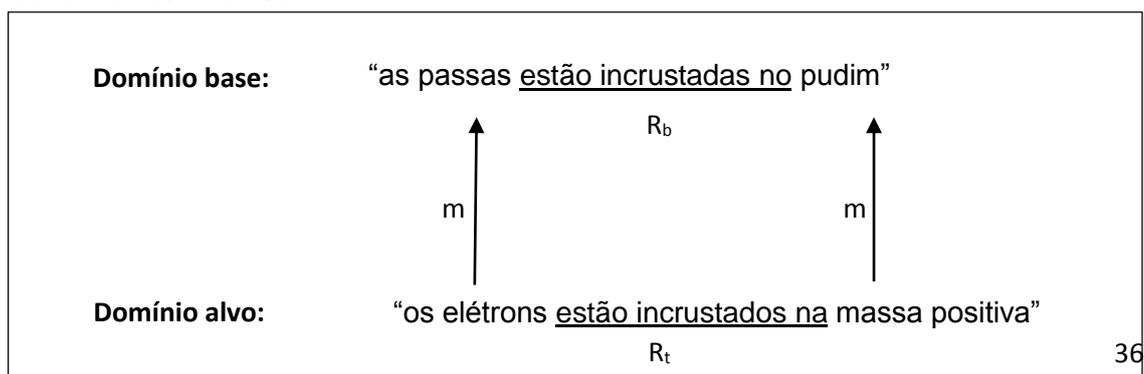
**FIGURA 1** - Aspectos básicos de isomorfismo em uma analogia, segundo Holyoak & Thagard (1989).



Fonte: Ferry (2016), feito a partir de Holyoak & Thagard (1989, p. 300)

Ferry (2016) interpretou a restrição do isomorfismo, de Holyoak & Thagard (1989) como sendo similar à exigência da consistência estrutural entre os domínios DB e DA, proposta por Gentner & Markman (1997). Para exemplificar a restrição do isomorfismo, representado pela figura 1, a figura 2 apresenta dois enunciados de uma comparação bastante comum estabelecida entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas.

**FIGURA 2** - Exemplo de isomorfismo entre dois enunciados de uma analogia comum para o modelo atômico de Thomson.

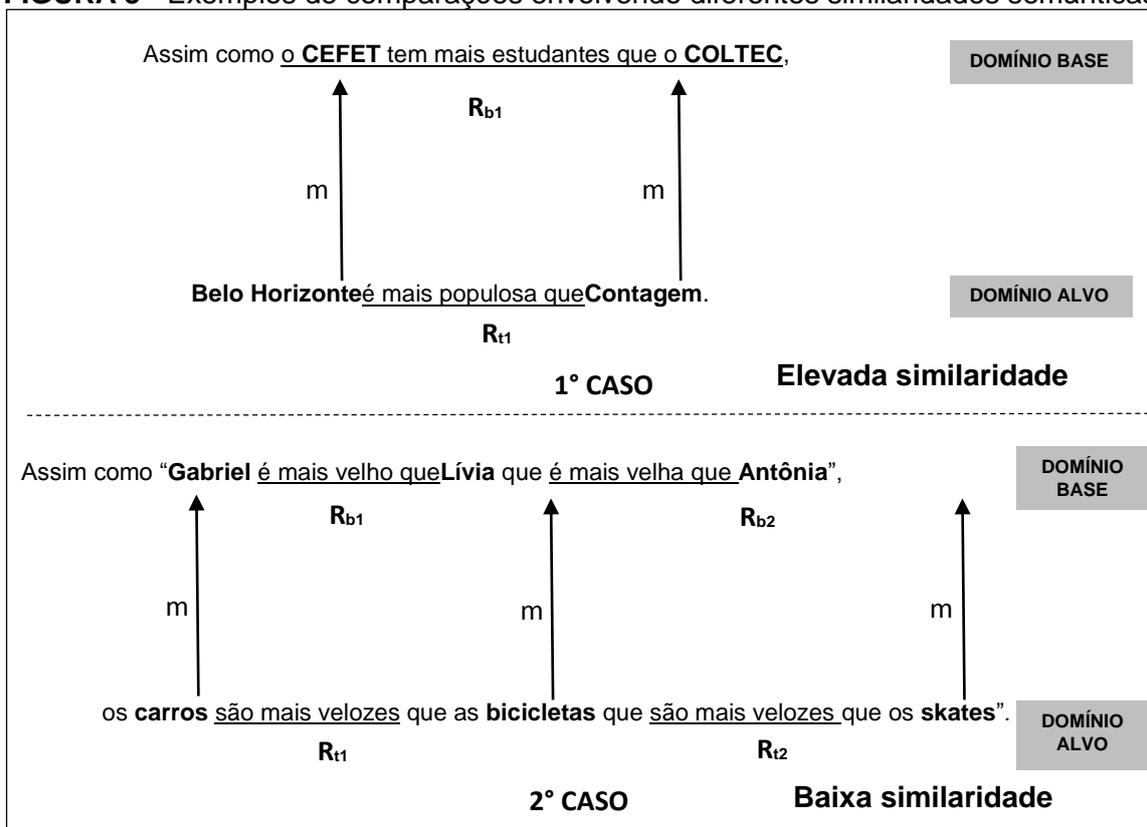


Fonte: Elaborada pelos autores.

A figura 2, ao exemplificar o isomorfismo, evidencia que nessa restrição cada elemento do domínio alvo deve corresponder a apenas um elemento do domínio base. Isso também significa que dois elementos do DA não devem corresponder a um mesmo elemento do DB, e vice-versa (Holyoak & Thagard 1989, p.301). Desse modo, consideramos que o isomorfismo, entendido como *semelhança na forma*, favorece e facilita a percepção das correspondências entre as entidades que constituem os domínios da comparação. Tal percepção ficaria dificultada ou, no mínimo, menos evidente, em uma comparação como a do exemplo a seguir: “*no modelo de Bohr, os elétrons giram em torno do núcleo, assim como no sistema solar, onde o Sol se encontra no centro*”. Nesse caso, não há isomorfismo entre os enunciados referentes ao domínio base da comparação (o sistema solar) e os enunciados referentes ao domínio alvo (o modelo atômico de Bohr).

A figura 3 se refere a segunda restrição de Holyoak & Thagard (1989): a similaridade semântica. Trata-se de dois casos que demonstram a relevância dessa restrição, associada às questões do isomorfismo, na construção e na compreensão das comparações.

**FIGURA 3** - Exemplos de comparações envolvendo diferentes similaridades semânticas.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos exemplos de Holyoak & Thagard (1989) e Ferry (2016).

Nos dois casos apresentados na figura 3 é possível perceber o isomorfismo entre os enunciados constituintes de cada domínio. No entanto, os dois casos se diferem consideravelmente quanto às similaridades semânticas das relações em correspondência. No primeiro caso, podemos dizer que tanto as relações (“*tem mais estudantes que*” no domínio base, e “*é mais populosa que*” no domínio alvo) de cada domínio, quanto os elementos (duas escolas no DB e duas cidades brasileiras no DA) que as constituem apresentam significados contextuais semelhantes, o que lhe configura uma alta similaridade semântica. A expressão do domínio alvo – “é mais populosa que” – pode ser entendida como uma relação baseada em um atributo dos elementos citados (as cidades) – a quantidade de habitantes, semelhante à relação do domínio base.

No segundo caso, apesar do isomorfismo entre os enunciados da comparação que nos permite, facilmente, estabelecer correspondência entre os três indivíduos do domínio base (Gabriel, Livia e Antônia) e os três objetos do domínio alvo (carro, bicicleta e skate), não há similaridade semântica entre as relações colocadas em correspondência. As relações indicadas pelos termos sublinhados do segundo caso não apresentam significados contextuais semelhantes. A relação do domínio base implica em um contraste entre as idades dos indivíduos citados, diferente da relação proposta no domínio alvo, que trata da variação da distância percorrida pelos veículos citados ao longo do tempo. Portanto, enquanto no

primeiro caso temos uma comparação de alta similaridade semântica, o segundo caso se configura como um exemplo de comparação de baixa similaridade semântica.

Para Ferry (2016), a adequação pragmática, como uma terceira restrição, atua no favorecimento do estabelecimento de correspondências contextualmente relevantes tanto para quem constrói a analogia quanto para seus interlocutores. Podemos citar dois exemplos de comparações estabelecidas para o modelo atômico de Rutherford: (1<sup>a</sup>) a que o compara com o sistema solar; e (2<sup>a</sup>) a que o compara com uma rampa. A primeira comparação tem como objetivo descrever a disposição das partículas ao longo da estrutura atômica (núcleo e eletrosfera). No entanto, essa comparação não se apresenta adequada para abordar uma característica do modelo atômico – a não existência de órbitas ou níveis quantizados de energia para os elétrons ao redor do núcleo (uma “deficiência” da teoria de Rutherford). A proposição da segunda comparação se apresenta pragmaticamente adequada para esse propósito, pois a mesma teria a finalidade de associar a possibilidade de uma pessoa ficar em qualquer lugar na rampa, em comparação a possibilidade do elétron ocupar qualquer lugar ao longo da eletrosfera, devido a energia dos elétrons, nesse modelo, não ser quantizada.

### ***Síntese dos conceitos estruturantes do nosso referencial teórico***

Primeiramente entendemos que nem todo tipo de comparação se constitui como uma analogia. A partir das teorias apresentadas neste capítulo, entendemos que as **analogias são comparações sistemáticas, estruturalmente consistentes e com foco relacional**, estabelecidas entre dois domínios de conhecimento: um domínio base que, sendo familiar, serve de fonte de conhecimento para a compreensão de outro domínio, considerado como alvo da comparação.

Além dessas características fundamentais, consideramos que as analogias pedagogicamente úteis devem ser pragmaticamente adequadas, estruturalmente isomórficas e envolver entidades (relações, atributos e elementos) semanticamente similares.

## CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA

Neste capítulo apresentamos a metodologia desenvolvida para nossa análise das comparações em livros didáticos de Química, incluindo os critérios adotados para a seleção das obras, os tópicos de conteúdo curricular de interesse para a análise e o padrão de representação do mapeamento estrutural das comparações potencialmente analógicas adotadas neste trabalho. Em seguida, apresentamos a nossa sequência metodológica, a fim de analisar e comparar o nível de enriquecimento dado por autores de livros didáticos de Química a algumas comparações que estivessem relacionadas aos modelos atômicos consensuais abordados no Ensino Médio.

### 4.1. Livros didáticos e escolha do tópico de conteúdo

Os livros para análise foram escolhidos a partir da aprovação das obras pelo Programa Nacional do Livro Didático para o triênio 2015, 2016 e 2017, segundo o Edital de Convocação 01/2013 (BRASIL, 2013). A partir de 13 obras inscritas, o processo de avaliação desse programa culminou em 4 obras aprovadas. O quadro 05 apresenta as 4 obras aprovadas, identificadas como livros A, B, C e D.

**QUADRO 5**– Livros didáticos de Química do Ensino Médio aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático 2015 do Ministério da Educação do Brasil, conforme o Edital 01/2013 (BRASIL, 2013).

Livro	Título da obra	Autor(es)	Editora	Ano	Edição
A	Química	Martha Reis	Ática	2013	1ª
B	Ser protagonista	Murilo Tissoni Antunes	SM	2013	2ª
C	Química Cidadã	Wilson Santos e Gerson Mól	AJS	2013	2ª
D	Química	Eduardo Mortimer e Andrea Machado	Scipione	2013	2ª

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo em vista a nossa limitação quanto ao tempo disponível para a realização da pesquisa e os nossos objetivos, consideramos que uma análise exaustiva das quatro coleções de livros não seria viável e necessária. Dessa forma, decidimos selecionar um tema para o qual fosse frequente o uso de analogias. Entre alguns trabalhos dedicados ao estudo das analogias no contexto da Educação em Ciências, encontramos autores, como Monteiro & Justi (2000) e Francisco Junior (2009), que indicaram os tópicos de conteúdo nos quais aparecem os maiores percentuais de analogias. Portanto, considerando a frequência de analogias para determinados tópicos de conteúdo apontados na literatura, bem como a tradição evocada por esses mesmos pesquisadores a respeito do uso de analogias por autores de livros didáticos,

escolhemos o tema *estrutura atômica* para levantar as comparações apresentadas nos livros escolhidos para a análise.

Francisco Junior (2009) afirma que:

Possivelmente, isso [o maior percentual de analogias para o tópico estrutura atômica] está associado ao hábito dos autores em empregar analogias clássicas para determinados conteúdos, tais quais o sistema solar para o átomo de Rutherford e o pudim de passas para o átomo de Thomson (FRANCISCO JÚNIOR, 2009, p.113).

Segundo o levantamento apresentado por Francisco Junior (2009), o tópico *estrutura atômica* apresentou, entre os 21 tópicos de conteúdo comuns ao currículo de Química do Ensino Médio, uma maior quantidade de analogias, correspondente a 16,9%, seguida de cinética química (11,7%) e geometria e estrutura molecular (8,4%).

Segundo Bernadino et al (2013), em referência a Carneiro, Santos & Mol (2005), o livro didático ainda é caracterizado como uma obra de referência tanto para professores quanto para estudantes, apresentando-se, muitas vezes, como o único recurso didático capaz de sintetizar a produção científica ao qual eles têm acesso. A respeito do uso de analogias em livros didáticos, esses autores afirmam que “no ensino de Ciências, em especial na disciplina de Química, muitos professores e autores recorrem à analogia na tentativa de facilitar a compreensão de algo desconhecido” (BERNADINO et al, 2013, p.138).

A partir da escolha do tema prosseguimos com a identificação de comparações presentes nos livros didáticos através da leitura integral dos capítulos e seções que tratavam do assunto *estrutura atômica*. Para identificação das comparações nas seções dos livros didáticos a respeito desse tema, procuramos exaustivamente por enunciados que evidenciavam a proposição de alguma comparação, de acordo com os procedimentos adotados por Francisco Junior (2009). Selecionamos enunciados que continham expressões como “semelhante a.”, “isso é como...”, “fazendo uma analogia...”, “analogamente...”, etc.

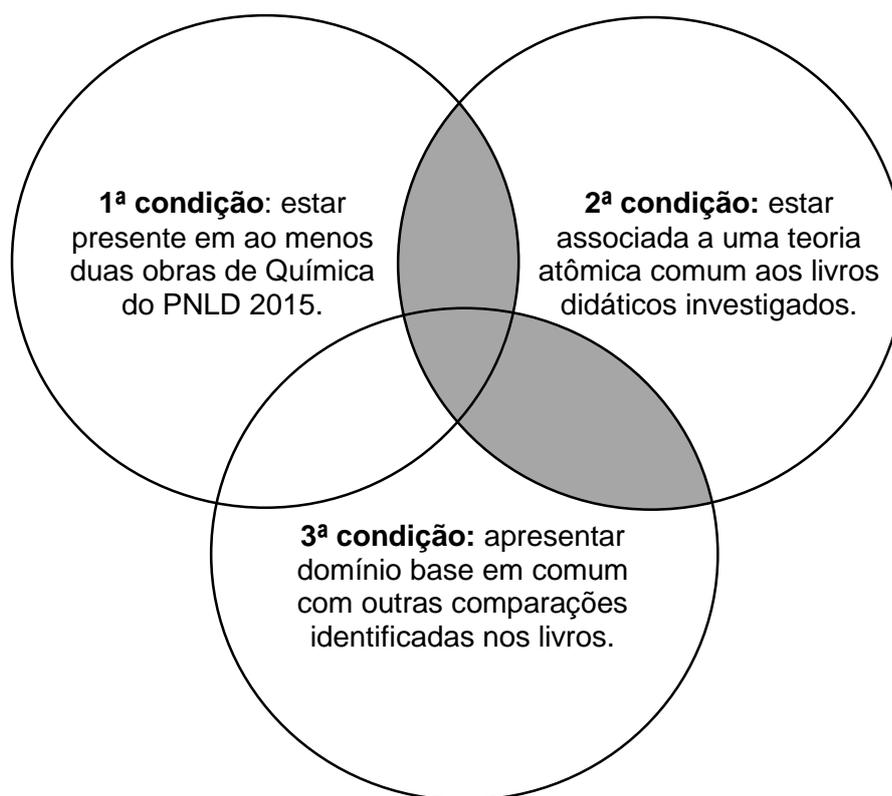
#### **4.2. Metodologia para análise das comparações**

Após o levantamento das comparações, primeiramente identificamos os domínios alvo e base de cada uma, e os seus propósitos contextuais, isto é, os propósitos que nós atribuímos às comparações identificadas a partir dos contextos nos quais elas foram estabelecidas nos livros didáticos, tendo em vista o tópico de conteúdo específico e a nossa experiência como professores de Química.

Posteriormente, selecionamos para o próximo procedimento da análise as comparações potencialmente analógicas, de acordo com três condições. A comparação

deveria: (1°) estar presente em ao menos duas<sup>1</sup> das quatro obras de livros didáticos aprovadas pelo PNLD; (2°) estar associada a alguma teoria atômica abordada em ao menos três obras; e/ou (3°) apresentar domínio base em comum com outras comparações identificadas nos livros. A figura 04 apresenta as formas como nós combinamos essas três condições para a seleção das comparações, o que se configurou como nossos critérios de seleção.

**FIGURA 4**– Condições para a seleção de comparações identificadas nos livros didáticos para análise estrutural.



Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com as combinações ilustradas das três condições apresentadas, foram selecionadas para análise estrutural as comparações contidas nas interseções escuras da figura 4. Em seguida, descrevemos os contextos das apresentações dessas comparações considerando algumas categorias de análise adotadas por Francisco Junior et al (2009, 2011 e 2012), que havia adaptado de Thiele, & Treagust (1994), que tiveram como referência o trabalho pioneiro de Curtis & Reigeluth (1984). Neste trabalho adotamos as seguintes categorias para análise preliminar das comparações: (i) tipo de relação analógica entre

---

<sup>1</sup> A nossa decisão pela escolha de comparações que estivessem presentes em ao menos duas das quatro coleções dos livros didáticos de Química do PNLD 2015 foi motivada pela reduzida quantidade de comparações potencialmente analógicas que tínhamos para análise posterior. Se tivéssemos adotado como condição de escolha a presença de comparações comuns às quatro coleções, teríamos apenas uma comparação para análise.

domínio base e domínio alvo, (ii) nível de abstração desses domínios, (iii) formato da apresentação, (iv) posição do domínio base em relação ao domínio alvo, (v) presença de orientações pré-tópico e (vi) apresentação e discussão de limitações.

Na primeira categoria analisamos o compartilhamento entre o DB e o DA quanto a atributos estruturais, funcionais ou ambos. Dessa forma, a relação é estrutural quando o DB e o DA compartilham aspectos físicos. Em contrapartida, quando a função ou comportamento do DB está associado ao DA tem-se a relação funcional. Ao combinar essas duas relações tem-se o aspecto funcional-estrutural.

Com relação ao nível de abstração dos conceitos base e alvo, as comparações foram classificadas em: *concretas-concretas*, quando ambos os conceitos, base e alvo, são concretos; *concretas-abstratas*, por possuírem conceito base concreto e conceito alvo abstrato, e *abstratas-abstratas*, quando ambos os conceitos são abstratos.

Na terceira categoria classificamos o formato de apresentação das comparações no texto em ilustrativo-verbal quando há presença de alguma forma de ilustração, além do texto, para representar o domínio base; enquanto aquelas apresentadas apenas pelo texto são classificadas como verbais.

Na quarta categoria classificamos a comparação quanto à posição do domínio base em relação ao alvo ao serem apresentados, ou seja, se o DB foi apresentado antes, durante ou após a apresentação do domínio alvo. Outra possibilidade verificada seria a apresentação do domínio base feita em uma posição à margem do texto.

Na quinta categoria analisamos as orientações pré-tópico que sinalizam a presença de explicações e/ou orientações dos autores quanto à existência de estratégia de identificação da comparação. Já na última categoria (6ª), verificamos se os autores dos livros apresentaram e discutiram limitações das comparações.

Após essa análise preliminar, partimos para o mapeamento estrutural das comparações selecionadas, segundo as considerações e orientações do nosso referencial teórico-metodológico.

As comparações selecionadas para análise foram mapeadas estruturalmente segundo a metodologia desenvolvida por Ferry (2016), que havia adotado como referencial teórico os conceitos e as considerações de Gentner (1983) sobre as características estruturais das analogias e outros tipos de comparação, conforme apresentamos no capítulo 3 desta dissertação.

Os mapeamentos das comparações escolhidas foram, em seguida, validados por meio de uma triangulação entre três professores de Química, integrantes do nosso grupo de

estudos sobre analogias, metáforas e modelos no contexto da Educação em Ciências. Cada um desses três professores analisou a pertinência de cada correspondência mapeada ao verificar, a adequação dos elementos alinhados, a relevância dos atributos indicados, a consistência e a correção conceitual das relações correspondentes.

A subseção 4.2.1 apresenta o padrão de representação elaborado por Ferry & Paula (2015) e aprimorado por Ferry (2016) que nós adotamos para o mapeamento estrutural das comparações identificadas e selecionadas nas seções dos livros didáticos. A subseção 4.2.2 apresenta as etapas e os procedimentos de análise posteriores ao mapeamento dessas comparações.

#### **4.2.1. Padrões de Representação do Mapeamento Estrutural**

Segundo as orientações metodológicas propostas por Ferry (2016), as comparações selecionadas foram mapeadas estruturalmente por meio do alinhamento dos elementos que constituem os seus dois domínios –o domínio base (DB) e o domínio alvo (DA), dos atributos desses elementos e das relações constituídas por esses elementos e atributos. Também mapeamos relações de ordem superior entre os dois domínios comparados nos casos em que as identificamos.

Foram usadas setas bidirecionais para representar as correspondências entre os elementos (objetos, estados ou processos), atributos ou relações pertinentes a cada domínio. As correspondências estabelecidas entre os elementos foram representadas pela letra E (maiúscula) e por números que serviram para identificar o número da correspondência presente no mapeamento. Codificamos as correspondências de atributos por meio da letra A (maiúscula), também identificadas por números.

Na construção do mapeamento foram identificadas relações estruturais, causais e de proporcionalidade. As relações de primeira ordem, simbolizadas por  $r_n$  (letra r minúscula, numerada), envolvem meramente elementos e/ou atributos. Relações de segunda ordem, simbolizadas por  $R_n$  (letra R maiúscula, numerada), são aquelas estabelecidas entre duas relações de primeira ordem, ou entre uma relação de primeira ordem e elementos e/ou atributos. As relações de ordem superior, constituídas, ao menos, por uma relação de segunda ordem, também foram codificadas pela letra R. Há que se dizer que na codificação de uma relação de ordem superior foram enumeradas as suas relações de ordem inferior, os seus atributos e/ou os seus elementos constituintes. Desse modo, seguindo o exemplo apresentado por Ferry (2016), o código  $r_1(E_2, E_1)$  indicaria uma relação de primeira ordem entre o segundo e o primeiro elemento previamente colocados em correspondência. Do mesmo modo, o código  $r_2(A_2, A_1)$  indicaria uma segunda relação de primeira ordem envolvendo o primeiro e o segundo atributos mapeados. Já o código  $R_1(r_2, r_1)$  indicaria a

primeira relação de segunda ordem entre as relações de primeira ordem previamente mapeadas,  $r_2$  e  $r_1$  (FERRY, 2016, p.79)

Ainda segundo Ferry (2016), apesar do seu padrão elaborado ser diferente da forma como Gentner (1983) representa as correspondências entre objetos, atributos e relações, o mesmo atende ao requisito de identificar não somente elementos ou atributos similares a cada domínio, mas também relações de primeira, segunda e até ordem superior. Segundo esse autor, o seu padrão parece mais acessível e compreensível aos não iniciados nas notações típicas da álgebra utilizadas por Gentner (1983) para representar correspondências do DB para o DA.

O quadro 06, elaborado por Ferry & Paula (2015) e aprimorado por Ferry (2016), apresenta os símbolos gráficos criados para representar as correspondências entre elementos ( $E_n$ ), atributos ( $A_n$ ), relações de primeira ordem ( $r_n$ ) e relações de ordem superior, identificados nos domínios das comparações. Segundo esses autores, a presença de uma sinal gráfico semelhante à letra X no meio de uma seta bidirecional indica uma limitação da comparação ou uma diferença alinhável entre os dois domínios. No caso das limitações da comparação, ou seja, condições ou características nos quais a analogia não se aplica, codificamos a seta bidirecional com a letra L (maiúscula). No caso das diferenças alinháveis, ou seja, diferenças relacionadas ou conectadas com pontos em correspondência entre os domínios, codificamos as setas bidirecionais com a letra D (maiúscula).

**QUADRO 6**– Padrão de representação das correspondências estruturais no mapeamento das similaridades envolvidas numa comparação.

DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO
<b>Elemento análogo</b>	$\longleftrightarrow E_n$	<b>Elemento alvo</b>
Um dos elementos que compõem o DB	<i>Correspondências entre elementos (E)</i>	Um dos elementos que compõem o DA
<b>Atributos do elemento análogo</b>	$\longleftrightarrow A_n$	<b>Atributo do elemento alvo</b>
Predicados de um elemento do DB baseados em uma única característica	<i>Correspondências entre atributos (A)</i>	Predicados de um elemento do DA baseados em uma única característica
<b>Relações de 1ª ordem</b>	$\longleftrightarrow r_n$	<b>Relações de 1ª ordem</b>
Relações entre dois ou mais elementos do DB ou entre suas características	<i>Correspondências entre relações de menor complexidade (r)</i>	Relações entre dois ou mais elementos do DA ou entre suas características ou atributos.
<b>Relações de segunda ordem ou de ordem superior</b>	$\longleftrightarrow R_n$	<b>Relações de segunda ordem ou de ordem superior</b>
Relações estabelecidas entre relações previamente postuladas entre elementos do DB	<i>Correspondências entre relações de maior complexidade (R)</i>	Relações estabelecidas entre relações previamente postuladas entre elementos do DA
<b>Atributo ou relação do DB</b>	$L: [ ]$ $\longleftrightarrow X$	<b>Atributo ou relação do DA</b>
Condições do DB que não se aplicam no alvo	<i>Limitações da comparação (diferenças não alinháveis)</i>	Condições do DA que não estabelecem relações de similaridade com a base
<b>Atributo ou relação do DB</b>	$D: [ ]$ $\longleftrightarrow X$	<b>Atributo ou relação do DA</b>
Características ou relações presentes no DB, conectadas a pontos em correspondência, que não podem ser transferidas para o alvo	<i>Diferenças alinháveis</i>	Características ou relações presentes no DA, conectadas a pontos em correspondência, mas que são diferentes da base

Fonte: Ferry (2016) adaptado.

#### 4.2.2. Análise de aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos das comparações

A partir dos mapeamentos estruturais de cada comparação selecionada, pudemos analisar as restrições descritas por Holyoak & Thagard (1989) e Gentner & Markman (1997): (i) verificamos a consistência estrutural da comparação; (ii) identificamos o seu foco; (iii) discutimos sobre a similaridade semântica das entidades em correspondência; e (iv) avaliamos a sua sistematicidade.

A consistência estrutural de cada comparação foi verificada considerando dois aspectos fundamentais: (1°) se havia correspondência um a um entre elementos e entre

atributos de cada domínio, de modo que um único elemento/atributo de um domínio não correspondesse a dois elementos/atributos do outro domínio; e (2°) se os argumentos de uma relação de um domínio mantinha uma conectividade em paralelo com os argumentos da relação correspondente no outro domínio.

A identificação do foco de cada comparação levou em consideração não somente as quantidades de atributos e de relações mapeadas, mas também a relativa importância normalmente atribuída ou para os atributos comparados ou para as relações comparadas. A nossa experiência como professores de Química foi fundamental para essa análise, de modo a torná-la menos subjetiva. Dessa forma, a análise do foco da comparação não se restringiu à mera quantificação dos seus atributos e relações mapeadas. No entanto, compreendemos que esse foco não é determinado exclusivamente pelo mapeamento estrutural da comparação, mas sim pelo contexto com o qual a mesma é construída, seja durante uma interação discursiva em sala de aula ou na forma como um autor de livro didático a apresenta. Tal consideração nos permite dizer que a análise do foco da comparação é contextual, ou seja, o foco de uma comparação não deveria ser realizado somente a partir do mapeamento que realizamos, mas também deveria ser determinado pelo seu contexto de uso.

A discussão a respeito da similaridade semântica das comparações foi realizada a partir da nossa percepção dos significados contextuais de cada elemento, atributo e relação mapeados. A similaridade semântica indica a correspondência de significados semelhantes tanto das relações mapeadas quanto entre os elementos e/ou atributos dos dois domínios comparados.

Por último, antes de prosseguirmos para a análise do nível de enriquecimento dessas comparações nos livros didáticos, avaliamos a sistematicidade das analogias. Em outras palavras, avaliamos a forma como as relações mapeadas estavam conectadas umas com as outras, e se elas eram governadas por relações de ordem superior.

Consideramos que a análise do (v) isomorfismo e da (vi) adequação pragmática das analogias mapeadas somente seria pertinente nos contextos em que elas foram apresentadas nos livros didáticos. Portanto, os procedimentos para análise dessas duas últimas restrições estão apresentados na seção 4.2.3 a seguir.

#### **4.2.3. Procedimentos para análise da apresentação das analogias nos livros didáticos**

Após o mapeamento estrutural das comparações comuns aos livros e a análise das restrições estruturais e semânticas apresentadas na seção anterior, partimos para a análise do modo como os seus autores apresentaram e exploraram essas comparações.

A fim de analisar o nível de enriquecimento dado pelos autores para cada comparação, identificamos quais correspondências foram enunciadas nos livros, tendo como referência os códigos das relações, dos atributos e dos elementos indicados nos mapeamentos estruturais. Dessa forma, a análise que fizemos do nível de enriquecimento das comparações não se restringiu às três categorias – *analogias simples*, *analogias enriquecidas* e *analogias estendidas/ampliadas* – propostas por Curtis & Reigeluth (1984) e utilizadas por outros autores com adaptações, como Thiele & Treagust (1994), Thiele, Venville & Treagust (1995), Monteiro & Justi (2000) e Francisco Junior et al (2012). Consideramos que, embora esses autores tenham feito adaptações e mencionado que a intenção era a de analisar em que extensão o mapeamento entre os domínios base e alvo era feito pelo autor do livro didático, a manutenção dessas três categorias propostas não revela com clareza essa extensão do mapeamento.

Francisco Junior (2009), por exemplo, ao tratar dessa categoria para análise de analogias em livros didáticos, classificou como *simples* as analogias que envolviam uma pequena semelhança, nas quais um único atributo era compartilhado entre os domínios. Classificou como *enriquecidas* aquelas que envolviam o compartilhamento de mais de um atributo. As analogias *estendidas*, por sua vez, foram aquelas que utilizavam diferentes análogos ou “análogos modificados” para descrever o conceito alvo. No entanto, de acordo com o nosso referencial teórico, seria incoerente usar essas mesmas categorias, uma vez que para nós, as analogias são diferentes das comparações por mera aparência.

Assim, em nossa análise do nível de enriquecimento dados pelos autores dos livros didáticos na apresentação das comparações, não adotamos as mesmas categorias propostas originalmente por Curtis & Reigeluth (1984). Para tal finalidade, propusemos quatro categorias identificadas como *nível 0* (zero), *nível 1* (um), *nível 2* (dois) e *nível 3* (três). Atribuímos o nível zero para os casos em que os autores simplesmente mencionaram os dois domínios da comparação sem enunciar qualquer correspondência identificada previamente em nosso mapeamento. O nível 1 foi dado para os casos em que os autores mencionaram apenas os atributos em correspondência dos elementos constituintes dos dois domínios da comparação, mesmo para os casos em que o nosso mapeamento tenha previsto a existência de relações em correspondência. O nível 2 foi atribuído aos casos nos quais os autores apresentaram, além de atributos, pelo menos uma relação de primeira ordem que nós mapeamos. Por fim, o nível 3 foi dado aos casos nos quais os autores abordaram alguma relação de segunda ordem ou de ordem superior.

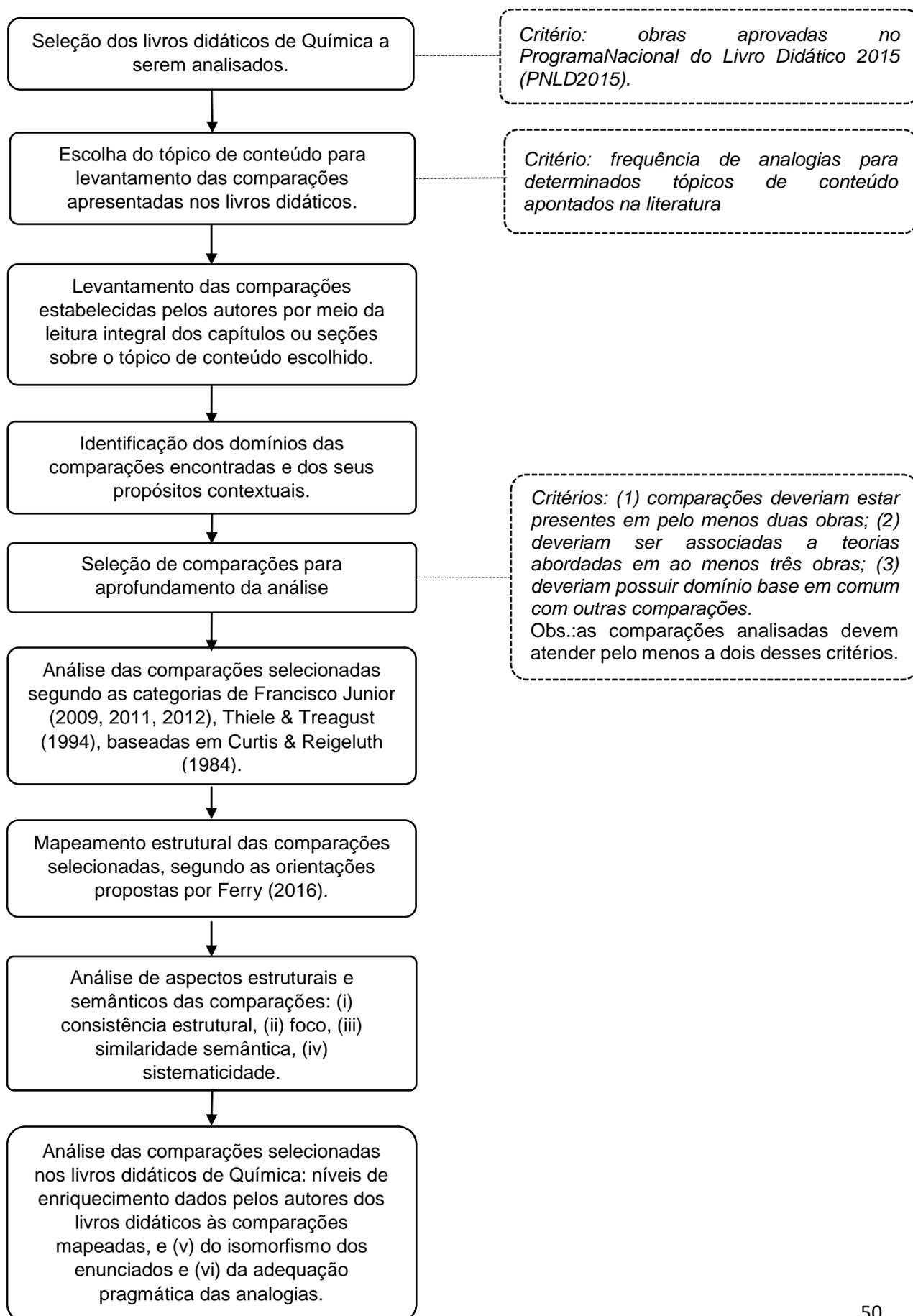
Há que se dizer que as menções às diferenças alinháveis e/ou às limitações das analogias, feitas pelos autores das coleções, não foram contempladas entre esses quatro

níveis de enriquecimento. Ao categorizar os níveis de enriquecimento dados pelos autores dos livros didáticos, tais menções foram destacadas à parte.

Por último, nós analisamos mais dois aspectos relacionados ao modo como os autores exploraram as analogias mapeadas: (v) o isomorfismo dos enunciados referentes aos domínios das comparações; e (vi) a adequação pragmática das comparações, ao considerar o seu contexto e os prováveis propósitos dos autores dos livros didáticos ao construí-las.

A figura 5 na página seguinte, apresenta uma síntese da sequência de procedimentos metodológicos adotados em nosso trabalho, descritos até aqui.

**FIGURA 5-** Sequência metodológica adotada para a análise das analogias presentes nos livros didáticos.



## CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentamos os dados referentes às comparações encontradas nos livros didáticos de Química e os resultados da metodologia empregada para a análise estrutural das analogias e para a análise do modo como os autores desses livros didáticos exploraram esse recurso de mediação didática.

### 5.1 – Levantamento das comparações nos livros didáticos de Química

O quadro 7 apresenta as quantidades das comparações encontradas nos livros didáticos de Química, por meio da leitura integral dos capítulos e seções que tratavam do tema *estrutura atômica*. Conforme mencionamos no capítulo 4, os livros de Química propostos para a 1ª série do Ensino Médio foram codificados, no presente trabalho, como **A, B, C e D**(quadro 5, página 40).

**QUADRO 7**– Quantidade de comparações por tópico de conteúdo associado ao estudo das teorias atômicas nos livros didáticos de Química do Ensino Médio, aprovados pelo Programa Nacional do Livro Didático 2015 (BRASIL, 2013).

Tópicos	Livros			
	A	B	C	D
Teoria de Dalton	0	0	1	0
Teoria de Thomson	1	1	1	2
Teoria de Rutherford	2	0	3	2
Teoria de Bohr	0	0	1	1
Teoria dos Orbitais	0	--	0	0
Teoria de Nagaoka <sup>2</sup>	--	--	1	--
Teoria de Sommerfeld	0	--	--	--
<b>TOTAL DE COMPARAÇÕES:</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>5</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com os dados do quadro 7, identificamos a ocorrência de 16 comparações nos livros da 1ª série das quatro coleções analisadas. Essa quantidade é coerente com as considerações e resultados de Monteiro & Justi (2000) e Francisco Junior (2009), que sinalizaram uma tendência no uso de comparações para o tema *estrutura atômica*, além do uso clássico, segundo esses autores, de comparações para o modelo atômico de Thomson e de Rutherford.

<sup>2</sup> O autor do livro C ao apresentar a teoria proposta pelo físico japonês Hantaro Nagaoka, fez uma breve exposição de uma outra teoria atômica (o modelo *Aepinus*), proposta no início do século XX pelo físico britânico Lord Kelvin. Semelhantemente, ao tratar do modelo de Thomson, o autor do livro D também apresentou esse modelo como referência para elaborar sua teoria.

## 5.2 – Identificação das comparações e dos seus domínios

O quadro 8 apresenta o que, no presente trabalho, denominamos de caracterização contextual das comparações identificadas. Nesse quadro, apresentamos os trechos dos livros em que foram identificadas as 16 comparações, o tópico de conteúdo específico, a sua localização no capítulo, os seus domínios alvo e base, e o seu propósito contextual.

**QUADRO 8** – Caracterização contextual das comparações encontradas nos livros didáticos de Química.

TÓPICO	TRECHO APRESENTADO NO LIVRO	LOCALIZAÇÃO	COMPARAÇÃO		PROPÓSITO CONTEXTUAL DA COMPARAÇÃO
			DOMÍNIO BASE	DOMÍNIO ALVO	
<b>LIVRO A</b>					
Teoria de Thomson	“Ilustração sem escala e em cores fantasia do modelo atômico de Thomson, <u>conhecido como ‘pudim de passas’</u> ”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 166</li> <li>• À margem do texto</li> </ul>	Pudim de passas	Modelo de Thomson	Apresentar o modelo atômico em associação com a descrição de seus aspectos estruturais
Teoria de Rutherford	“[...] Inicialmente o ouro foi o escolhido por ser um material inerte (pouco reativo). Esperava-se que a grande energia cinética das partículas alfa as faria atravessar uma finíssima folha metálica de ouro (de aproximadamente $10^{-4}$ mm de espessura), <u>tal como uma bala de espingarda atravessa uma folha de papel sem ser rebatida por ela [...]</u> ”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 167</li> <li>• 2º parágrafo</li> </ul>	Tiros de espingarda sobre uma folha de papel	“Experimento de Rutherford”	Elucidar a expectativa dos cientistas que realizaram o “experimento de Rutherford” a respeito do comportamento das partículas alfa ao atravessar uma lâmina de ouro.
Teoria de Rutherford	“[...] Rutherford elaborou então um modelo de átomo semelhante a um minúsculo <b>sistema planetário</b> , em que os elétrons se distribuíam ao redor do núcleo <u>como planetas em torno do sol</u> [...] Mas, mesmo na época em que foi criado, apresentava <u>contradições consideráveis</u> , que impediam sua total aceitação. Antes de tudo o sistema solar é gravitacional e o sistema atômico é elétrico. As leis físicas que regem esses dois sistemas são diferentes [...]”.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 169</li> <li>• 1º e 2º parágrafos</li> </ul>	Sistema Planetário	Modelo de Rutherford	Descrever o modo como os elétrons estão distribuídos na estrutura atômica.

LIVRO B					
Teoria de Thomson	“Como os corpos são eletricamente <b>neutros</b> , a descoberta dos elétrons (de carga negativa) levou Thomson a propor a existência de carga positiva no átomo. Ele elaborou um modelo de átomo constituído por uma esfera maciça, de carga elétrica positiva, que continha ‘corpúsculos’ de carga negativa (elétrons) nela dispersos. Esse modelo ficou conhecido por modelo do <b>pudim de passas</b> (nome que não foi dado por Thomson).”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 89</li> <li>• 1º parágrafo</li> </ul>	Pudim de passas	Modelo de Thomson	Apresentar o modo como o modelo se tornou conhecido.
LIVRO C					
Teoria de Dalton	“[...] A partir dessa teoria, pôde-se idealizar um modelo para o átomo que, indestrutível, seria <u>como se fosse uma bola maciça, como uma bola de bilhar</u> . Esse modelo de bola maciça ficou conhecido como modelo de Dalton[...].”	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 151</li> <li>• 3º parágrafo</li> </ul>	Bolas de bilhar	Modelo de Dalton	Descrever algumas características do átomo.
Teoria de Thomson	Thomson propôs um modelo para os átomos que pode ser sintetizado com as seguintes características: <ul style="list-style-type: none"> <li>• O átomo de Hidrogênio seria a base para a constituição de todos os outros átomos.</li> <li>• As cargas dos diferentes átomos seriam sempre múltiplos inteiros da carga do átomo de hidrogênio.</li> <li>• Os átomos dos diferentes elementos seriam esferas com carga elétrica positiva uniforme.</li> <li>• Essas esferas conteriam os elétrons dispostos em uma série de anéis paralelos.</li> <li>• Os anéis conteriam diferentes quantidades de elétrons.</li> <li>• Os elétrons se movimentariam em alta velocidade em torno de anéis.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 153</li> <li>• 5º parágrafo</li> </ul>	Pudim de ameixas	Modelo de Thomson	Fazer um resgate histórico do modo como este modelo se popularizou em livros didáticos, e sinalizar a diferença entre o bolo inglês e o pudim brasileiro.

	Esses anéis estariam organizados de forma que a maioria dos elétrons ficaria próxima da superfície da esfera e os anéis com menores quantidades de elétrons ficariam no centro da esfera. Esse modelo teórico acabou sendo popularizado em livros didáticos com a denominação <u>'pudim de ameixas'</u> , em referência a um bolo inglês que nada se assemelha ao nosso pudim de ameixas.				
Teoria de Nagaoka	Em 5 de dezembro de 1903, o físico japonês Nagaoka (1865-1950) apresentou à Sociedade de Física e Matemática de Tóquio um artigo sobre o movimento de partículas num átomo ideal. Nele, <u>propôs seu modelo saturniano de átomo</u> . [...]	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 154</li> <li>• 5º parágrafo</li> </ul>	Planeta Saturno	Modelo de Nagaoka	Descrever o modo como os elétrons se distribuem e se movimentam na estrutura do átomo.
Teoria de Rutherford	De acordo com o modelo atômico de Thomson, as deflexões seriam improváveis: sendo muito mais leves que as partículas alfa, os elétrons teriam tanta dificuldade para desviar suas trajetórias <u>quanto bolas de gude para desviar balas de canhão</u> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 155</li> <li>• 9º parágrafo</li> </ul>	Lançamento de bolas de gude sobre balas de canhão	Experimento de Geiger e Marsden (Experimento de Rutherford)	Elucidar a expectativa dos cientistas que realizaram o "experimento de Rutherford" quanto a baixa probabilidade da ocorrência de desvios das partículas alfa provocada pelos choques com elétrons.
Teoria de Rutherford	Assim, em 1911, Rutherford anunciou uma nova proposta de modelo para a estrutura do átomo, considerando também as ideias especulativas de outros cientistas, inclusive do físico Nagaoka, que considerava <u>a estrutura do átomo como sendo semelhante a do sistema solar</u> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 156</li> <li>• 3º parágrafo</li> </ul>	Sistema solar	Modelo de Nagaoka	Corroborar o modelo de Rutherford com as considerações teóricas propostas por Nagaoka.
Teoria de Rutherford	Por diversas vezes, ele [o modelo de Rutherford] será representado em figuras. Lembre-se, no entanto, de que você estará vendo um modelo e, como tal, constitui uma representação e não um átomo como ele é de fato. Por exemplo, o modelo atômico de Rutherford foi <u>comparado com o Sistema Solar</u> ,	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 158</li> <li>• 3º parágrafo</li> </ul>	Sistema solar	Modelo de Rutherford	Descrever como os elétrons estão distribuídos e se movimentam ao redor do núcleo do átomo, e alertar o estudante sobre os cuidados necessários ao se fazer comparações e ao interpretar representações.

	<p>pelo fato de o seu modelo considerar que os elétrons giram ao redor do núcleo do átomo em órbitas (trajetórias fechadas), <u>assim como no Sistema Solar os planetas giram em órbitas em torno do Sol</u>. Embora essas comparações (analogias) sejam muito comuns nas Ciências, sempre devemos ter cuidado, pois comparamos coisas diferentes. O sistema idealizado por Rutherford <u>não é exatamente como o Sistema Solar, afinal as dimensões, formatos e trajetórias das órbitas dos planetas no Sistema Solar são completamente diferentes das do elétrons</u>.</p> <p>[...] Esse modelo teórico tem sido representado didaticamente por um <u>modelo planetário</u> conforme esquema [...]. Observe que, no esquema ilustrativo do <u>modelo planetário, as partículas não estão na proporção real</u>.</p>				
Teoria de Bohr	<p>A decomposição da radiação emitida por átomos de hidrogênio produz um espectro de luz com cores bem definidas. <u>Essas linhas espectrais são como a 'impressão digital' dos átomos de hidrogênio</u>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 169</li> <li>• 4º parágrafo</li> </ul>	Impressão digital	Espectro atômico	Caracterizar o espectro de emissão em função do comportamento quântico associado à estrutura atômica
<b>LIVRO D</b>					
Teoria de Thomson	<p>Thomson propôs, <u>como imagem para seu modelo, um pudim de passas</u>, sobremesa típica do Natal inglês, à época.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 162</li> <li>• 2º parágrafo</li> </ul>	Pudim de passas	Modelo de Thomson	Fazer um resgate histórico e cultural da proposição do modelo que, segundo o autor do livro didático, teria sido comparado pelo próprio Thomson a um pudim de passas.
Teoria de Thomson	<p>“[...] Preferimos aqui <u>utilizar a imagem do panetone</u>. Nessa analogia, <u>a massa do panetone corresponderia</u> aquilo que Thomson descreveu como <u>a esfera contendo carga</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 162</li> <li>• 2º parágrafo</li> </ul>	Panetone	Modelo de Thomson	Descrever o modo como os elétrons estão distribuídos ao longo da estrutura positiva do átomo.

	<p><u>positiva uniformemente distribuída. As passas seriam os elétrons incrustados nessa esfera.</u></p> <p>“Figura 6.18 - Na analogia ao modelo de Thomson, a massa do panetone corresponderia à esfera com carga positiva uniformemente distribuída, enquanto as passas seriam os elétrons”.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ao lado da figura</li> </ul>			
Teoria de Rutherford	<p>Para explicar esse resultado inesperado, Rutherford idealizou um modelo para o átomo, <u>análogo ao modelo do sistema planetário</u>. Nele o átomo é constituído por duas regiões diferentes: núcleo e eletrosfera.</p> <p>No modelo proposto por Rutherford, os elétrons eram representados descrevendo órbitas circulares em torno do núcleo, <u>de forma análoga aos planetas em torno do Sol</u>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 165</li> <li>• 4º parágrafo</li> </ul>	Sistema planetário/Solar	Modelo de Rutherford	Descrever a constituição do átomo em duas regiões distintas e o modo como elétrons se movimentam ao redor do núcleo.
Teoria de Rutherford	<p>Para que possamos imaginar a diferença de tamanho entre o núcleo atômico e o átomo, fazemos a seguinte comparação: o núcleo atômico, quando comparado ao átomo, <u>é como uma pulga no centro de um estádio de futebol como o Maracanã</u>.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 166</li> <li>• 2º Paragrafo</li> </ul>	Uma pulga posicionada no centro do estádio de futebol Maracanã	Modelo de Rutherford	Descrever a relação entre os tamanhos do núcleo e do átomo
Teoria de Bohr	<p>[...] Se os elétrons estivessem estacionários, sem movimento, não seria possível imaginar um arranjo estável, pois não haveria o que os impedisse de cair no núcleo, já que estavam sob a influência da atração coulombiana. Afinal, o núcleo tem carga positiva e os elétrons, carga negativa. Uma solução aparente seria pensar que os elétrons poderiam girar em torno do núcleo, <u>a exemplo do que fazem os planetas em torno do sol</u>. [...]</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Página 174</li> <li>• 3º parágrafo</li> </ul>	Sistema solar	Modelo de Bohr	Descrever o modo como os elétrons se movimentam em relação ao núcleo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O quadro 8 apresenta uma série de dados e informações relevantes para o nosso trabalho. Ao levantar as comparações estabelecidas no contexto das teorias atômicas, constatamos um dado que demonstrou estar de acordo com o que Monteiro & Justi (2000) e Francisco Junior (2010) afirmaram sobre o uso clássico de algumas comparações, como a do pudim de passas como domínio base (DB) ao modelo atômico de Thomson (DA), e a do sistema solar como DB para o modelo atômico de Rutherford (DA). Enquanto a comparação entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar foi estabelecida em três livros didáticos, a comparação entre o modelo de Thomson e um pudim com passas foi apresentada nos quatro livros analisados.

A segunda consideração relevante diz respeito aos propósitos contextuais que atribuímos às comparações identificadas. Os propósitos contextuais das comparações não apresentam como único objetivo a descrição dos modelos atômicos, fenômenos ou experimentos associados às teorias atômicas. Também percebemos como finalidade de algumas comparações estabelecidas pelos autores dos livros didáticos a intenção de fazer um resgate histórico e cultural ou do modo como um determinado modelo se popularizou em livros-textos, ou da própria maneira como o modelo foi proposto pelo autor da teoria atômica, segundo o autor do livro didático.

Tal consideração nos permite afirmar que, de fato, a análise de comparações, tomadas como analogias para o ensino de Ciências em livros didáticos, deve levar em consideração os contextos nos quais elas foram estabelecidas e construídas pelos autores, incluindo os seus propósitos contextuais. Na seção 5.6 retomamos essa discussão ao tratar do nível de enriquecimento e da adequação pragmática das comparações selecionadas para análise.

Vimos também que nos contextos de algumas teorias, os autores dos livros didáticos estabeleceram comparações tanto para os modelos atômicos quanto para os experimentos e/ou os resultados experimentais que conduziram a proposição dos modelos. Isso aconteceu principalmente na apresentação da teoria atômica de Rutherford, nos livros A e C.

Outro dado que se destacou em nossa identificação das comparações foi a consideração feita pelos autores do livro D ao mencionar a comparação entre pudim de passas e o modelo atômico de Thomson. Nessa ocasião, os autores afirmaram preferir estabelecer uma comparação do modelo atômico com um panetone. Além das afirmações feitas pelos autores do livro D, a construção dessa comparação foi complementada com a apresentação de uma fotografia de um panetone, que nós reproduzimos na figura 06.

**FIGURA 6**– Fotografia usada na apresentação do domínio base da comparação entre o modelo atômico de Thomson e um panetone.



Fonte: Livro didático D –Autores: Eduardo Mortimer e Andrea Machado. Editora Scipione, 2ª edição, p.162

Ao explicitar sua preferência, os autores do livro D sugerem que o panetone se constitui como um domínio base mais pertinente e adequado para a construção de uma comparação com o modelo atômico de Thomson. Por essa razão, apesar dessa comparação não estar incluída nos critérios propostos na figura 04 presente na seção 4.2, fizemos o seu mapeamento estrutural a fim de analisar tanto a pertinência do uso desse domínio base na construção da comparação com o referido modelo atômico quanto o modo como os autores do livro D a estabeleceram.

Acreditamos que a razão para essa preferência por parte dos autores do livro D se deva a uma possível percepção a respeito da maior familiaridade de estudantes brasileiros com o panetone, ao invés do pudim de passas. Tal percepção provavelmente decorre de estudos que trataram desses aspectos sobre as analogias, como o de Lopes et al (2009):

A analogia necessita ser familiar ao estudante para que seja considerada um modelo de ensino útil. Quem conhece um Pudim de ameixas ou um Pudim de Passas no Brasil? Esta sobremesa típica da Inglaterra – *plum-pudding* – não tem muita penetração na cultura gastronômica brasileira, logo a maioria dos estudantes não tem familiaridade com o análogo utilizado por seus professores e nos livros texto, o que torna mais difícil a relação que se deseja construir para facilitar a aprendizagem (LOPES et al, 2009, p.2).

Retomando a caracterização contextual das comparações apresentada no quadro 8, também vimos que, embora houvesse comparações estabelecidas com os mesmos DB e DA, os seus propósitos contextuais eram diferentes. Para o modelo atômico de Thomson, nós encontramos nos quatro livros didáticos ao menos uma referência à comparação com um pudim de passas ou ameixas. No livro A, o autor apenas mencionou o modo como o modelo se tornou conhecido por meio da comparação com um pudim. No livro B, o autor também citou a comparação ao se referir ao modo como o modelo atômico se tornou conhecido, embora, antes, tenha feito

uma descrição de como os elétrons estão distribuídos no átomo, sugerindo, implicitamente, o estabelecimento de correspondências entre o DA e o DB. Já nos livros C e D, consideramos que os autores citaram essa comparação com propósitos distintos daqueles que atribuímos aos livros A e B. Enquanto nos livros A e B, o propósito se aproximou da mera apresentação do modelo atômico, nos livros C e D o propósito esteve relacionado a um resgate histórico feito pelos autores ao tratar da proposição do modelo de Thomson. No caso do livro C esse resgate teve como finalidade mostrar como que esse modelo se popularizou nos livros didáticos, além de sinalizar a diferença entre um bolo inglês e um pudim brasileiro (aspecto cultural). De forma semelhante, porém, com uma diferença sutil, os autores do livro D também fizeram um resgate histórico da concepção do modelo de Thomson, destacando aspectos culturais dessa construção. Porém, não com a intenção de mostrar como o modelo se popularizou nos livros, mas com a intenção de mostrar qual foi a origem da comparação ao dizer que foi o próprio Thomson que escolheu o pudim como imagem para o modelo.

O quadro 8 também nos apresenta o uso de um mesmo domínio base para diferentes domínios alvos. O sistema solar foi usado como domínio base para os modelos atômicos de Rutherford, de Nagaoka e de Bohr. O modelo de Rutherford foi comparado ao sistema solar nos livros A, C e D. Os modelos de Nagaoka e de Bohr foram comparados a esse domínio base, respectivamente, nos livros C e D. Ou seja, o sistema solar foi usado como domínio base para modelos atômicos diferentes tanto pelos autores do livros C quanto pelos autores do livro D. Embora não estejamos voltados para questões diretamente relacionadas à aprendizagem decorrente do uso de analogias, é razoável considerar, a princípio, que o uso de um mesmo domínio base para domínios alvos distintos pode resultar em implicações negativas sobre a aprendizagem.

Contudo, uma análise mais cuidadosa nos permite tecer outras considerações sobre o uso de um mesmo domínio base (em nosso caso, o sistema solar) para diferentes alvos. Como dissemos anteriormente, devemos considerar os propósitos contextuais dessas comparações. No livro C, assim como nos livros A e D, os autores usaram esse domínio base para descrever a constituição do átomo em duas regiões distintas e o modo como elétrons se movimentam ao redor do núcleo, segundo a teoria de Rutherford. O contexto do uso desse domínio base para o modelo atômico de Nagaoka, pelos os autores do livro C, nos permite afirmar que esses autores tinham como propósito corroborar as ideias de Rutherford, que por sua vez, havia considerado “as ideias especulativas de outros cientistas, inclusive do físico Nagaoka” (afirmação feita pelos autores do livro C). Desse modo, podemos dizer que o uso de um mesmo domínio base para alvos diferentes, nesse caso, se mostrou coerente com os propósitos dos autores do livro didático.

No livro D, esse mesmo domínio base (o sistema solar) foi usado para descrever aspectos estruturais dos modelos atômicos de Rutherford e de Bohr. Neste caso, consideramos que o uso de um mesmo domínio base para construir uma comparação com dois alvos distintos pode ter implicações negativas para a aprendizagem, principalmente se a interpretação dessas

comparações ficar à cargo inteiramente dos estudantes. Acreditamos que esse problema possa ser minimizado por meio de uma intervenção dos professores de Química em sala de aula. Tal intervenção poderia, por exemplo, ser feita por meio da problematização dessas duas comparações construídas a partir do mesmo domínio base. A partir dessa problematização, o professor poderia mapear com os estudantes as correspondências similares e as correspondências exclusivas de cada comparação, discutindo as limitações de cada uma.

Ainda sobre a comparação entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar, incluindo suas limitações, consideramos válido reproduzir o que escreveram Mozzer & Justi (2015):

Infelizmente, ainda é comum o estabelecimento errôneo da comparação entre o sistema solar e o modelo atômico de Rutherford. Nesta comparação, as órbitas elípticas dos planetas são colocadas em correspondência às “órbitas circulares percorridas pelos elétrons”, atributo que não condiz com aquele modelo atômico, mas com um “modelo híbrido” criado por autores de livros e professores a partir dos modelos de Rutherford e Bohr (JUSTI; GILBERT, 2000). Como esses autores alertam, o uso desses modelos no ensino pode levar a inúmeras concepções incorretas, inclusive com relação à natureza da ciência. (MOZZER & JUSTI, 2015, p.129).

A respeito do estabelecimento errôneo de correspondências entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar, dito por Mozzer & Justi (2015), vimos que, de fato, nos livros C e D, os autores mencionaram equivocadamente que os elétrons percorreriam órbitas circulares em torno do núcleo atômico. Já no livro A, a menção feita sobre a comparação com o sistema solar foi mais cuidadosa. No entanto, consideramos que o estabelecimento de uma comparação desse modelo atômico com o sistema solar, inevitavelmente, leva os estudantes a colocar em correspondência o movimento dos elétrons ao redor do núcleo com as órbitas descritas pelos planetas ao redor do Sol, devido a uma espécie de “apelo imagético” provocado pelo provável conhecimento dos estudantes sobre esse domínio base.

Como última consideração feita a partir dos dados apresentados no quadro 8, consideramos que a comparação feita pelos autores do livro C no contexto da teoria de Nagaoka apresenta caráter metafórico. Os autores do livro C, diferentemente da forma como estabeleceram as outras comparações, não compararam explicitamente o modelo atômico de Nagaoka com o planeta Saturno. Ao dizerem que o físico japonês Nagaoka “propôs seu modelo saturniano de átomo”, os autores adjetivaram o modelo com um termo impróprio ao domínio científico atômico e, portanto, metafórico. Mesmo sem nos dedicar ao mapeamento estrutural dessa comparação metafórica, considerando as prováveis correspondências entre o referido modelo atômico e o planeta Saturno, podemos especular que se trata de uma metáfora relacional, conforme o nosso referencial teórico.

### 5.3 – Seleção de comparações para aprofundamento da análise

O levantamento das comparações apresentadas no quadro anterior (quadro 8) nos permitiu contabilizar um total de 16 ocorrências nos capítulos e seções dedicadas ao tema *estrutura atômica* nas quatro coleções de livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2015. A partir desse quadro, resumimos no quadro 9 a seguir as informações referentes às 11 comparações distintas encontradas, organizando-as por teoria atômica (tópico de conteúdo), e indicando os livros correspondentes. Essas comparações distintas foram identificadas com códigos alfanuméricos de **C1** (Comparação 1) a **C11** (Comparação 11).

**QUADRO 9**– Domínios e Propósitos das comparações presentes em livros didáticos de Química nos contextos das teorias atômicas.

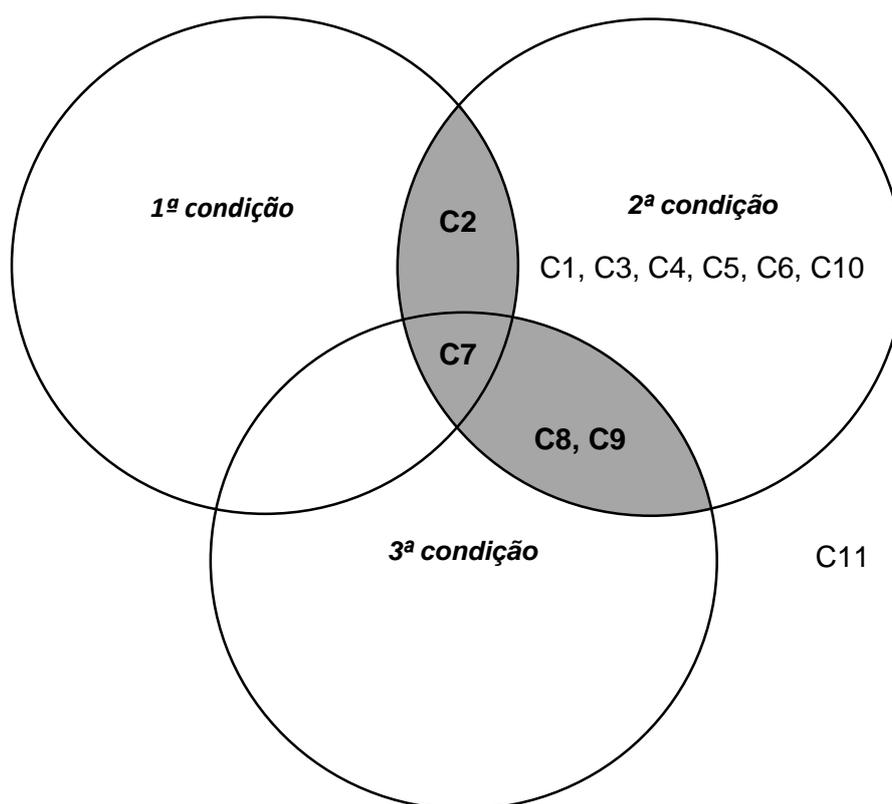
COMPARAÇÃO	TÓPICOS	DB	DA	SÍNTESE DO PROPÓSITO CONTEXTUAL	LIVROS
<b>C1</b>	Teoria de Dalton	Bolas de Bilhar	Modelo atômico	Descrever aspectos estruturais	C
<b>C2</b>	Teoria de Thomson	Pudim de passas	Modelo atômico	Fazer um resgate histórico e cultural da proposição do modelo	B, C e D
				Descrever aspectos estruturais do modelo	A e B
<b>C3</b>		Panetone			D
<b>C4</b>		Tiros sobre uma folha de papel	Experimento de Rutherford	Elucidar a expectativa dos cientistas com o experimento de Rutherford	A
<b>C5</b>		Bolas de “gude”	Balas de canhão		C
<b>C6</b>	Teoria de Rutherford	Pulga e Maracanã	Modelo atômico de Rutherford	Descrever aspectos estruturais do modelo	D
<b>C7</b>				Descrever aspectos estruturais do modelo	A, C e D
<b>C8</b>		Sistema Solar	Modelo atômico de Nagaoka	Corroborar as ideias de Rutherford	C
<b>C9</b>	Teoria de Bohr	Sistema Solar	Modelo atômico	Descrever aspectos estruturais do modelo	D
<b>C10</b>		Impressão digital	Espectro atômico	Caracterizar o espectro de emissão dos átomos	C
<b>C11</b>	Teoria de Nagaoka	Planeta Saturno	Modelo atômico	Descrever aspectos estruturais do modelo	C

Percebemos que, na maior parte das comparações encontradas (7), os autores tiveram como propósito descrever aspectos estruturais dos modelos para o átomo, em diferentes teorias. Vimos também que o total de 11 comparações envolveram 9 diferentes domínios bases.

Ademais, consideramos que essa quantidade relativamente numerosa de comparações provavelmente está relacionada ao caráter demasiadamente abstrato das teorias ou modelos consensuais que, de acordo com Monteiro & Justi (2000), pode trazer dificuldades para o ensino e a aprendizagem em Ciências.

A partir da síntese das comparações distintas apresentadas no quadro 9, pudemos proceder a seleção de algumas comparações para análise estrutural, conforme os critérios apresentados no capítulo anterior. A figura 7 apresenta a distribuição das 11 comparações distintas apresentadas no quadro 9, segundo os critérios apresentados no capítulo 4 por meio da figura 4.

**FIGURA 7** - Distribuição das comparações nas três condições definidas como critérios para seleção.



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com os dados apresentados na figura 7, apenas quatro comparações puderam ser enquadradas nas interseções das três condições apresentadas como critérios de seleção no capítulo anterior: as comparações **C2**, **C7**, **C8** e **C9**.

A respeito dessas quatro comparações selecionadas para a análise estrutural pretendida, consideramos pertinente retomar alguns pontos. Como pode ser visto no quadro 9, a comparação **C2** foi estabelecida nos quatro livros didáticos com propósitos contextuais distintos. Nos quatro livros didáticos, a comparação foi estabelecida entre o modelo atômico proposto por Thomson e um pudim com passas (ou ameixas). Essa foi a única comparação comum às quatro coleções de livros didáticos.

A comparação **C7** foi estabelecida em três dos quatro livros didáticos. Ao considerar o contexto do estabelecimento dessa comparação, podemos afirmar que os autores dos três livros didáticos tiveram o mesmo propósito: descrever aspectos da estrutura atômica segundo a teoria de Rutherford. Essa comparação apresentou como domínio base o sistema solar.

A comparação **C8** estava presente em apenas um livro didático. No entanto, apesar de ter como domínio alvo o modelo atômico de Nagaoka, ela foi estabelecida no contexto da apresentação de uma teoria atômica comum aos livros didáticos: a teoria de Rutherford. Além disso, ela apresentou um domínio base em comum com outras comparações identificadas nos livros – o sistema solar. Por esses motivos, consideramos pertinente ao nosso trabalho fazer o mapeamento estrutural dessa comparação a fim de analisá-la comparativamente às outras comparações que envolveram o sistema solar.

A comparação **C9** foi selecionada por razões semelhantes às da seleção da C8. Embora ela estivesse presente em somente um livro didático (livro D), a comparação C9 foi estabelecida no contexto de outra teoria comum aos livros didáticos – a teoria de Bohr, e teve como domínio base o mesmo DB das comparações C8 e C7– o sistema solar.

Na próxima seção, apresentamos os resultados da análise dessas comparações nos livros didáticos, conforme os procedimentos apresentados no capítulo anterior, na seção 4.2.

#### 5.4 – Caracterização das comparações selecionadas segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984) adaptadas.

O quadro 10 descreve aspectos específicos das comparações **C2**, **C7**, **C8** e **C9** de acordo com as categorias estabelecidas e adaptadas a partir de Curtis & Reigeluth (1984), com alterações sugeridas por Francisco Junior et al (2011).

**QUADRO 10**– Características das comparações segundo as categorias de Curtis & Reigeluth (1984), com alterações sugeridas por Francisco Junior et al (2011).

Comparação: Livros didáticos:	C2				C7			C8	C9
	A	B	C	D	A	C	D	C	D
Relação analógica entre domínio base e domínio alvo:	Estrutural	Estrutural	Estrutural	Estrutural	Funcional	Funcional	Estrutural	Estrutural	Funcional
Nível de abstração desses domínios:	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Concreto-abstrato	Abstrato-Abstrato	Abstrato-Abstrato	Abstrato-abstrato	Abstrato-Abstrato	Abstrato-abstrato
Formato da apresentação:	Verbal	Verbal	Verbal	Verbal	Verbal	Verbal	Verbal	Verbal	Verbal
Posição do domínio base em relação ao domínio alvo:	À margem	Antes	Após	Durante	Durante	Após	Antes	Durante	Durante
Presença de orientações pré-tópico:	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta
Apresentação e discussão de limitações:	Não apresenta	Não apresenta	Apresenta, mas não discute	Não apresenta	Não apresenta	Não apresenta			

Fonte: Elaborado pelo autor.

As comparações C2 e C8 apresentam, nos livros didáticos analisados, entre os domínios base e alvo, uma relação analógica estrutural. Essa característica evidencia, de acordo com Monteiro e Justi (2000), a preferência pela descrição de aspectos estruturais entre o DB e o DA na construção de analogias por autores de livros didáticos. Para as comparações C7 e C9 predomina o caráter funcional, que envolve uma maior quantidade de atributos funcionais. Para Thiele & Treagust (1994), a relação funcional é aquela em que a função ou comportamento do análogo é atribuído ao alvo. Essa relação funcional aumenta as potencialidades das comparações, permitindo explicar de forma mais abrangente diversos aspectos da estrutura atômica modelada.

Para Curtis & Reigeluth (1984) e Monteiro & Justi (2000), a relação puramente estrutural é considerada a mais “fraca”, por apresentar os aspectos estruturais como únicos atributos compartilhados, podendo haver um grande número de diferenças entre os domínios comparados.

A respeito do formato da apresentação das comparações analisadas, vimos que todas apresentam do formato meramente verbal. Sobre o uso de ilustrações, segundo Reiner & Gilbert (2000) e Justi (2006), representações visuais podem auxiliar na compreensão do DA. Entretanto, Francisco Junior (2010, p.119) afirma que, assim como o uso da ilustração pode favorecer a compreensão do domínio alvo, também pode causar sérios problemas devido à apropriação de atributos do DB que não correspondem ao DA.

Na quarta categoria do quadro 10, vimos que as posições dos domínios bases em relação aos domínios alvos das quatro comparações variaram entre os livros analisados. Por exemplo, a comparação C2, que envolvia o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas/ameixas, teve seus domínios apresentados em diferentes posições de um livro para o outro. No livro A, a menção feita ao domínio base apareceu à margem do texto que tratava das características do modelo atômico de Thomson. No livro B, a menção ao pudim de passas foi feita antes da apresentação dessas características, enquanto no livro C foi feita após e no livro D foi feita durante a descrição do modelo. Para as outras comparações, a apresentação dos domínios bases *durante* a apresentação dos modelos foi a ocorrência mais comum.

De acordo com Curtis & Reigeluth (1984) e Monteiro & Justi (2000), o posicionamento antes ou durante a apresentação do alvo potencializa a eficácia da comparação por permitir que o estudante estabeleça simultaneamente as correspondências entre DB e DA. Entretanto Francisco Junior (2010, p. 122) acrescenta que mesmo o DB sendo apresentado após o DA da comparação pode ser usada para verificar a apropriação do conhecimento pelo estudante.

As orientações pré-tópico, são apontadas por Curtis & Reigeluth (1984) como importante auxílio na compreensão do DA. Entretanto, nenhum autor apresentou tal recurso de mediação na apresentação das comparações. Para Francisco Junior (2009), a presença de orientações pré-tópico serve para alertar o leitor quanto aos cuidados (vantagens e desvantagens) a serem considerados ao usar a analogia, ou seja, alertar quanto aos atributos correspondentes e não correspondentes. Entendemos que a ausência desse alerta pode aumentar os riscos relacionados a interpretações equivocadas das analogias.

Em relação a apresentação e discussão de limitações, optamos por avaliar se as limitações foram discutidas, além de apenas verificar se elas foram apresentadas ou não. De acordo com o trabalho de Thiele & Treagust (1994b) e Monteiro & Justi (2000), não é comum a discussão que inclua as limitações das analogias. Por essa razão, os nossos dados, em que metade das comparações não apresentam as limitações e a outra metade, apesar de apresentá-las, não as discute, reforça essa preocupação apontada pela literatura.

A análise apresentada no quadro 10 teve como inspiração trabalhos pioneiros e de extrema relevância no estudo das comparações, tais como Curtis & Reigeluth (1984), Thiele & Treagust (1994.b), Monteiro & Justi (2000) e Francisco Junior (2009). No entanto, consideramos que os resultados da análise obtidos a partir dessas categorias não foram suficientes para responder as nossas questões de pesquisa.

A fim de aprofundar na discussão sobre o modo como essas comparações foram construídas pelos autores dos livros didáticos, apresentamos na próxima seção os resultados da nossa análise feita a partir do mapeamento estrutural das comparações C2, C7 e C9. Decidimos por não fazer o mapeamento estrutural da comparação C8, estabelecida pelos autores do livro C, entre o modelo atômico de Nagaoka e o sistema solar. Embora essa comparação tenha envolvido o sistema solar como um domínio base comum às comparações C7 e C9, os autores apenas mencionaram os domínios da comparação, sem fazer qualquer descrição adicional das características desse modelo atômico:

Assim, em 1911, Rutherford anunciou uma nova proposta de modelo para a estrutura do átomo, considerando também as ideias especulativas de outros cientistas, inclusive do físico Nagaoka, que considerava a estrutura do átomo como sendo semelhante a do sistema solar (LIVRO C, p. 156)

Como pode ser visto no trecho acima, mesmo sem o mapeamento estrutural dessa comparação, podemos dizer que o nível de enriquecimento dado pelos autores foi igual a zero. Os autores não estabeleceram correspondências entre nenhum elemento, atributo ou relação do modelo atômico de Nagaoka com qualquer elemento,

atributo ou relação do sistema solar. Tendo em vista o propósito contextual dos autores ao mencionar essa comparação, consideramos que seria pertinente que os autores fizessem uma descrição do referido modelo atômico, estabelecessem correspondências com o sistema solar e, assim, pudessem corroborar a proposta teórica de Rutherford a respeito da estrutura dos átomos com as considerações teóricas de Nagaoka.

### **5.5 – Análise estrutural das comparações C2, C7 e C9.**

Tendo como referencial teórico as concepções de Gentner (1983) e colaboradores, e como referencial metodológico as orientações proposta por Ferry (2016), nós realizamos o mapeamento estrutural das comparações: (i) **C2** – entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas; (ii) **C7** – entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar; (iii) **C9** – entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar.

Os mapeamentos estruturais das três comparações – **C2**, **C7** e **C9**, foram realizados conforme o padrão apresentado na seção 4.2.1 do capítulo da metodologia. As subseções a seguir apresentam os mapeamentos estruturais das três comparações selecionadas, seguidos pela análise de aspectos estruturais e semânticos de cada uma, a saber: a sua consistência estrutural, o seu foco, a similaridade semântica das entidades (elementos, atributos e relações) colocadas em correspondência e a sistematicidade da comparação.

### 5.5.1– Mapeamento e análise dos aspectos estruturais e semânticos da comparação C2

O quadro 11 apresenta as correspondências mapeadas entre o modelo de Thomson (domínio alvo) e um pudim de passas (domínio base).

**QUADRO 11–** Mapeamento estrutural da comparação C2 entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Pudim de Passas	$E_1$ ←→	Átomo (modelo)
Passas	$E_2$ ←→	Elétrons
Massa do Pudim	$A_1 (E_1)$ ←→	Massa do átomo
<i>Não há atributo correspondente</i>	$L_1: [A_2 (E_2)]$ ←→ ✗	Carga elétrica dos elétrons
<i>Não há atributo correspondente</i>	$L_2: [A_3 (E_1)]$ ←→ ✗	Carga elétrica positiva do átomo
Distribuição das passas no pudim	$r_1 (E_1, E_2)$ ←→	Distribuição* dos elétrons no átomo
As passas não se movimentam no pudim	$L_3: [r_2 (E_1, E_2)]$ ←→ ✗	Os elétrons se movimentam no átomo
Formato do pudim	$D_1: [A_4 (E_1)]$ ←→ ✗	Formato do átomo
Massa das passas	$A_5 (E_2)$ ←→	Massa dos elétrons
A massa do pudim é bastante superior a massa das passas	$r_3 (A_5, A_1)**$ ←→	A massa do átomo é bastante superior a massa dos elétrons
Observações: <ul style="list-style-type: none"> <li>(*) Embora a teoria atômica de Thomson considere os elétrons distribuídos uniformemente em anéis concêntricos na estrutura atômica, esta característica normalmente não é considerada na apresentação desse modelo atômico no Ensino Médio. Essa distribuição concêntrica não encontra correspondência no DB.</li> <li>(**) A relação entre as massas dos elementos em cada domínio é meramente qualitativa, e não uma razão matemática.</li> </ul>		

Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapeamento estrutural da comparação C2 entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas/ameixas, apresentado no quadro 11, revela a possibilidade de se estabelecer correspondências de similaridade entre dois elementos, três atributos e duas relações de primeira ordem ( $r_1$  e  $r_3$ ). O foco da comparação não está restrito a elementos ou atributos dos elementos pertencentes a cada domínio, mas principalmente na correspondência de relações entre elementos do DB (as passas e o

pudding) e relações estabelecidas entre elementos do DA (os elétrons e o átomo). Portanto, podemos afirmar que o seu foco é relacional.

Devemos salientar que esse mapeamento estrutural da comparação entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas, antes mesmo da análise feita nos livros didáticos, nos permitiu concluir que a mesma apresenta uma potencialidade analógica, podendo ser compreendida como uma analogia, e não como outro tipo de comparação; não se trata de uma comparação de mera aparência, por não envolver apenas atributos em correspondência, e nem de uma similaridade literal, embora o seu foco não esteja somente sobre as relações mapeadas. Há que se considerar, a respeito dessa comparação, que ao estabelecê-la, um autor de livro didático ou um professor de Ciências certamente não pretende afirmar que o modelo tenha uma aparência similar à de um pudim, nem tão pouco dizer que o modelo atômico seja literalmente como o pudim.

O mapeamento estrutural revela que essa analogia é estruturalmente consistente, uma vez que cada elemento do domínio base corresponde a somente um elemento do domínio alvo, não havendo dois elementos de um domínio correspondentes ao mesmo elemento do outro domínio. Além dessa característica, nosso mapeamento também revela que há no mínimo duas relações de primeira ordem passíveis de serem abordadas e exploradas. Contudo, a nossa experiência como professor nos permite afirmar que o foco dessa comparação normalmente é dado sobre a primeira relação, codificada como " $r_1(E_2, E_1)$ " – uma relação de primeira ordem entre os elementos  $E_2$  (elétrons/passas) e  $E_1$  (átomo/pudim). Trata-se de uma relação de ordem estrutural, pois refere-se ao modo como os elementos da estrutura de ambos os domínios se relacionam. Por último, embora tenhamos mapeado três relações possíveis de serem colocadas em correspondência durante a construção dessa analogia, vimos que entre as mesmas não há uma sistematicidade como a que mencionamos em nosso referencial teórico. As duas relações de primeira ordem ocorrem entre os elementos ou entre os atributos desses elementos, não se constituindo como relações entre relações.

Como mostramos anteriormente na seção 5.2, os autores do livro D disseram preferir comparar o modelo atômico de Thomson a um panetone. Devido à escolha feita pelos autores do livro D a respeito da preferência pela comparação entre o modelo atômico de Thomson e um panetone, no lugar de compará-lo a um pudim de passas, decidimos fazer o mapeamento estrutural dessa comparação para analisar o modo como esses autores a exploraram. Portanto, o quadro 12 apresenta o mapeamento estrutural da comparação C3.

**QUADRO 12**– Mapeamento estrutural da comparação C3 entre o modelo atômico de Thomson e um panetone.

Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo
Panetone	$E_1$ ↔	Átomo (modelo)
Pedaços de frutas	$E_2$ ↔	Elétrons
Massa do Panetone	$A_1(E_1)$ ↔	Massa do átomo
<i>Não há atributo correspondente</i>	$L_1: [A_2(E_2)]$ ↔ ✗	Carga elétrica dos elétrons
<i>Não há atributo correspondente</i>	$L_2: [A_3(E_1)]$ ↔ ✗	Carga elétrica positiva do átomo
Distribuição dos pedaços de frutas no panetone	$r_1(E_1, E_2)$ ↔	Distribuição* dos elétrons no átomo
Os pedaços de frutas não se movimentam no panetone	$L_3: [r_2(E_1, E_2)]$ ↔ ✗	Os elétrons se movimentam no átomo
Formato do panetone	$D_1: [A_4(E_1)]$ ↔ ✗	Formato do átomo
Massa dos pedaços de frutas	$A_5(E_2)$ ↔	Massa dos elétrons
A massa do panetone é bastante superior a massa dos pedaços de frutas	$r_3(A_5, A_1)^{**}$ ↔	A massa do átomo é bastante superior a massa dos elétrons
Massa do panetone tem consistência diferente na superfície em relação ao centro	$D_2: [A_1(E_1)]$ ↔ ✗	Massa do átomo tem aspecto uniforme em toda a sua extensão
Observações: <ul style="list-style-type: none"> <li>(*) Embora a teoria atômica de Thomson considere os elétrons distribuídos uniformemente em anéis concêntricos na estrutura atômica, esta característica normalmente não é considerada na apresentação do modelo atômico no Ensino Médio. Essa distribuição concêntrica não encontra correspondência no DB.</li> <li>(**) A relação entre as massas dos elementos em cada domínio é meramente qualitativa, e não uma razão matemática.</li> </ul>		

Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapeamento estrutural da comparação C3, apresentado do quadro 12, revela que a estrutura relacional da analogia entre o modelo atômico de Thomson e um panetone é a mesma da comparação anterior, que utilizou como domínio base um pudim de passas. Desse ponto de vista, não nos parece justificável a preferência dos autores do livro C pela comparação C3 no lugar da comparação C2. Ambas possibilitam o estabelecimento de correspondências entre os mesmos tipos de relações ( $r_1$  e  $r_3$ ), e praticamente as mesmas diferenças alinháveis e as mesmas limitações. Isso também nos leva a considerar que os cuidados a serem observados na comparação C2 devem

ser os mesmos a serem tomados no estabelecimento das correspondências na construção da comparação C3.

Provavelmente, a preferência demonstrada pelos autores com relação a comparação C3 no lugar da C2 se deva ao fato dos mesmos considerarem o panetone como sendo um domínio base mais familiar que um pudim de passas. Estes autores mencionam em seu texto que o pudim de passas é uma “sobremesa típica do Natal inglês, à época”. Tal afirmação sugere que os autores levaram em consideração questões culturais na escolha do panetone como algo mais próximo da cultura brasileira.

### 5.5.2–Mapeamento e análise dos aspectos estruturais e semânticos C7

O quadro 13 a apresenta as correspondências mapeadas entre o modelo de atômico de Rutherford(DA) e o sistema solar (DB).

**QUADRO 13–** Mapeamento estrutural da comparação C7 entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar.

DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO
Sistema Solar	$\longleftrightarrow E_1$	Átomo (modelo)
Sol	$\longleftrightarrow E_2$	Núcleo
Planetas	$\longleftrightarrow E_3$	Elétrons
Órbitas “definidas” dos planetas	$\longleftrightarrow D_1: [A_1 (E_3)]$ $\times$	Trajетórias indefinidas dos elétrons
Massa do Sol	$\longleftrightarrow A_2(E_2)$	Massa do núcleo
Tamanho do Sol	$\longleftrightarrow A_3(E_2)$	Tamanho do núcleo
Massa dos planetas	$\longleftrightarrow A_4(E_3)$	Massa dos elétrons
Os planetas possuem diferentes massas	$\longleftrightarrow D_2: [A_4 (E_3)]$ $\times$	Os elétrons possuem massas idênticas
Tamanho dos planetas	$\longleftrightarrow A_5(E_3)$	Tamanho dos elétrons
Os planetas possuem diferentes tamanhos	$\longleftrightarrow D_3: [A_5 (E_3)]$ $\times$	Os elétrons possuem tamanhos idênticos
Movimento ininterrupto dos planetas	$\longleftrightarrow A_6(E_3)$	Movimento ininterrupto dos elétrons
Os planetas se distribuem e giram ao redor do Sol	$\longleftrightarrow r_1(E_3, E_2)$	Os elétrons se distribuem e giram ao redor do núcleo

O movimento ininterrupto dos planetas ao redor do sol é elíptico	$L_1: [R_1(r_1, A_6)]$ 	O movimento dos elétrons ao redor do núcleo não foi caracterizado por Rutherford
Os planetas giram ao redor do Sol em um mesmo sentido e praticamente em um mesmo plano	$D_4: [r_1(E_3, E_2)]$ 	Os elétrons giram ao redor do núcleo em planos diferentes e não necessariamente em um mesmo sentido
Os planetas e o Sol se atraem mutuamente	$r_2(E_3, E_2)$ 	Os elétrons e o núcleo se atraem mutuamente
A atração entre os planetas e o Sol é do tipo gravitacional	$D_5: [r_2(E_3, E_2)]$ 	A atração entre os elétrons e o núcleo é do tipo eletrostática
A massa dos planetas é bem menor que a massa do Sol	$r_3(A_4, A_2)$ 	A massa dos elétrons é bem menor que a massa do núcleo
Os planetas são menores (tamanho) que o Sol	$r_4(A_5, A_3)$ 	Os elétrons são menores (tamanho) que o núcleo
Cada planeta gira ao redor do Sol em uma órbita definida, específica e exclusiva	$L_2: [R_2(r_1, A_1)]$ 	Os elétrons giram ao redor do núcleo sem órbitas definidas, específicas e exclusivas
Há um espaço entre os planetas e o Sol	$r_5(E_3, E_2)$ 	Há um espaço entre os elétrons e o núcleo
Entre os planetas e o Sol é possível encontrar outros corpos (satélites, meteoros, partículas); não há vácuo absoluto	$L_3: [r_5(E_3, E_2)]$ 	Entre os elétrons e o núcleo atômico não é possível encontrar nenhum tipo de partícula; trata-se de uma região vazia
Por causa da atração mútua entre o Sol e os planetas, os planetas giram ao redor do Sol	$R_3(r_2, r_1)$ 	Por causa da atração mútua entre o núcleo e os elétrons, os elétrons giram ao redor do núcleo

Fonte: Elaborado pelo autor.

O mapeamento da comparação C7, apresentado no quadro 13, apresenta-se extenso e sofisticado em relação ao construído para a comparação C2, ao evidenciar correspondências de similaridade entre cinco relações de primeira ordem ( $r_1$ ), ( $r_2$ ), ( $r_3$ ), ( $r_4$ ) e ( $r_5$ ) e uma relação de ordem superior [ $R_3$ ], além de seis correspondências entre atributos dos três elementos mapeados. O foco da comparação não está restrito às correspondências entre elementos ou atributos pertencentes a cada domínio, mas principalmente na correspondência de relações de primeira e ordem superior entre elementos do DB (sistema solar, sol e planetas) e relações estabelecidas entre elementos do DA (átomo, núcleo e elétrons).

A comparação C7 pode ser considerada uma analogia de acordo com Gentner & Markman (1997), por apresentar um foco nas relações e não nos atributos dos elementos que constituem cada domínio comparado, além de estar alinhada com os parâmetros que descreve a consistência estrutural como mencionado no item 5.5.1 relativo a comparação C2.

De acordo com o mapeamento estrutural apresentado no quadro 13, podemos afirmar que a comparação C7 entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar

é estruturalmente consistente, por apresentar correspondência um a um entre os elementos átomo/núcleo/elétrons e sistema solar/sol/planetas, e conectividade em paralelo entre os argumentos das relações colocadas em correspondência. Além disso, podemos afirmar que há sistematicidade nessa analogia, uma vez que a relação de ordem superior  $R_3$  conecta as principais relações de primeira ordem mapeadas: a atração mútua entre os elementos de cada domínio e o movimento de um elemento ao redor do outro. Trata-se, portanto, de uma relação de causalidade entre duas relações de primeira ordem. No entanto, há ainda outras relações de primeira ordem não conectadas por outras relações de ordem superior. Tais relações aparecem como predicados relacionais isolados. Isso significa que a compreensão de uma não implica na compreensão da outra.

Outro aspecto estrutural a ser destacado é a similaridade semântica existente entre os elementos, atributos e relações colocadas em correspondência na analogia entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar. Podemos dizer que tais entidades apresentam significados contextuais semelhantes, na medida em que os elementos colocados em correspondências podem ser compreendidos como corpos ou corpúsculos em interação, os atributos são predicados descritos similares desses corpúsculos (massa, tamanho, movimento), e as relações descrevem comportamentos semelhantes. Tal similaridade semântica contribui para a percepção de plausibilidade da analogia proposta.

Há que se destacar nesse mapeamento as diferenças alinháveis a serem exploradas, bem como as limitações da analogia. Mapeamos cinco diferenças alinháveis: a primeira referente às trajetórias dos elétrons, a segunda e a terceira referentes, respectivamente, à igualdade das massas e dos tamanhos dos elétrons, a quarta referente ao modo como os elétrons giram ao redor do núcleo, e a última referente à natureza da atração entre o núcleo e os elétrons. Consideramos que essas diferenças são tão importantes de serem exploradas pelos autores de livros didáticos quanto as correspondências entre as semelhanças, de forma a evitar que os estudantes façam transferências equivocadas de relações ou atributos conhecidos a respeito do sistema solar para o modelo atômico alvo da compreensão.

Além dessas diferenças alinháveis, consideramos importante que sejam discutidas as três limitações mapeadas no quadro 13: a primeira e a segunda referentes a não caracterização do movimento dos elétrons ao redor do núcleo, e a terceira referente à ausência de qualquer outro tipo de partícula na eletrosfera atômica, por razões semelhantes a necessidade de discussão em torno das diferenças alinháveis.

### 5.5.3 – Mapeamento, análise dos aspectos estruturais e semânticos da comparação C9.

O quadro 14 apresenta as correspondências mapeadas entre o modelo de Bohr (domínio alvo) e o sistema solar (domínio base).

**QUADRO 14** – Mapeamento estrutural da comparação C9 entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar.

DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO
Sistema Solar	$E_1$	Átomo (modelo)
Sol	$E_2$	Núcleo
Planetas	$E_3$	Elétrons
Órbitas “definidas” dos planetas	$A_1(E_3)$	Trajetórias definidas dos elétrons
Massa do Sol	$A_2(E_2)$	Massa do núcleo
Tamanho do Sol	$A_3(E_2)$	Tamanho do núcleo
Massa dos planetas	$A_4(E_3)$	Massa dos elétrons
Os planetas possuem diferentes massas	$D_1: [A_4(E_3)]$ <del><math>\longleftrightarrow</math></del>	Os elétrons possuem massas idênticas
Tamanho dos planetas	$A_5(E_3)$	Tamanho dos elétrons
Os planetas possuem diferentes tamanhos	$D_2: [A_5(E_3)]$ <del><math>\longleftrightarrow</math></del>	Os elétrons possuem tamanhos idênticos
Movimento ininterrupto dos planetas	$A_6(E_3)$	Movimento ininterrupto dos elétrons
<i>Não há atributo correspondente</i>	$L_1: [A_7(E_3)]$ <del><math>\longleftrightarrow</math></del>	Energia quantizada dos elétrons
Os planetas se distribuem e giram ao redor do Sol em órbitas.	$r_1(E_3, E_2)$	Os elétrons se distribuem e giram ao redor do núcleo em órbitas.
O movimento ininterrupto dos planetas ao redor do sol é elíptico	$D_3: [R_1(r_1, A_6)]$ <del><math>\longleftrightarrow</math></del>	O movimento dos elétrons ao redor do núcleo é circular
Os planetas giram ao redor do Sol em um mesmo sentido e praticamente em um mesmo plano	$D_4: [r_1(E_3, E_2)]$ <del><math>\longleftrightarrow</math></del>	Os elétrons giram ao redor do núcleo em planos diferentes e não necessariamente em um mesmo sentido
Os planetas e o Sol se atraem mutuamente	$r_2(E_3, E_2)$	Os elétrons e o núcleo se atraem mutuamente
A atração entre os planetas e o Sol é do tipo gravitacional	$D_5: [r_2(E_3, E_2)]$ <del><math>\longleftrightarrow</math></del>	A atração entre os elétrons e o núcleo é do tipo eletrostática
A massa dos planetas é bem menor que a massa do Sol	$r_3(A_4, A_2)$	A massa dos elétrons é bem menor que a massa do núcleo

Os planetas são menores (tamanho) que o Sol	$r_4(A_5, A_3)$	Os elétrons são menores (tamanho) que o núcleo
Cada planeta gira ao redor do Sol em uma órbita definida, específica e exclusiva	$D_6: [R_2(r_1, A_1)]$	Os elétrons giram ao redor do núcleo em órbitas definidas, específicas e não exclusivas.
Há um espaço entre os planetas e o Sol	$r_5(E_3, E_2)$	Há um espaço entre os elétrons e o núcleo
Entre os planetas e o Sol é possível encontrar outros corpos (satélites, meteoros, partículas); não há vácuo absoluto	$L_2: [r_5(E_3, E_2)]$	Entre os elétrons e o núcleo atômico não é possível encontrar nenhum tipo de partícula; trata-se de uma região vazia
Em cada órbita existe apenas um planeta.	$L_3: [r_6(E_2, E_6)]$	Em uma única órbita podem existir vários elétrons.
Por causa da atração mútua entre o Sol e os planetas, os planetas giram ao redor do Sol	$R_3(r_2, r_1)$	Por causa da atração mútua entre o núcleo e os elétrons, os elétrons giram ao redor do núcleo
A distância do planeta em relação ao sol não está relacionado com energia.	$L_4: [R_4(A_7, r_1)]$	A distância do elétron em relação ao núcleo determina o valor da energia do elétron.
Os planetas não podem transitar entre as diferentes órbitas ao redor do Sol.	$L_5: [r_1(E_3, E_2)]$	Os elétrons podem transitar entre as diferentes órbitas ao redor do núcleo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Primeiramente, devemos considerar que o mapeamento estrutural da comparação C9 entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar, apresentado no quadro 14, nos permite classificá-la como uma analogia estruturalmente consistente, com foco relacional, de alta similaridade semântica e sistemática, por razões semelhantes às que nós dissemos sobre a comparação C7. Vimos que entre os mapeamentos estruturais das duas comparações (quadros 13 e 14) são muito semelhantes. Entretanto, algumas particularidades do modelo atômico de Bohr (DA) implicaram em correspondências que não podem ser estabelecidas na comparação C7, como as que foram estabelecidas entre a terceira, a quarta e a sexta diferença alinhável. Essas três diferenças alinháveis apresentam como fundamento o fato dos elétrons, no modelo atômico proposto por Bohr, girarem ao redor do núcleo em órbitas com energia definida, diferentemente do modelo de Rutherford.

Além disso, ao comparar os mapeamentos dessas duas analogias, percebemos que algumas limitações da primeira passam a ser compreendidas como diferenças alinháveis na segunda. Por exemplo, a limitação mapeada no quadro 13, codificada como " $L_1: [R_1(r_1, A_6)]$ ", que tratava de uma relação presente no DB sem correspondência no DA, na comparação C9 foi considerada como uma diferença alinhável, codificada como " $D_3: [R_1(r_1, A_6)]$ " (quadro 14). Percebemos também que, apesar da maior semelhança entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar, comparado à analogia C7 referente ao modelo de Rutherford, aumentou-se o número

de diferenças alinháveis (de 5 para 6) e o número de limitações (de 3 para 5). Esse achado corrobora com Markman & Gentner (1996), ao afirmar que quanto maior for a semelhança entre os dois domínios maior será o número de diferenças alinháveis. A esse respeito, eles afirmam que:

*[...] pairs with many commonalities should have many alignable differences, and pairs with few commonalities should have few alignable differences*<sup>3</sup>(MARKMAN & GENTNER, 1996, p. 237)

No mapeamento estrutural da analogia C9 encontramos correspondências de similaridade entre seis atributos, cinco relações de primeira ordem [r<sub>1</sub>], [r<sub>2</sub>], [r<sub>3</sub>], [r<sub>4</sub>], [r<sub>5</sub>], e apenas uma relação de ordem superior [R<sub>3</sub>]. Assim como na comparação C7, o foco dessa comparação normalmente é dado sobre as correspondência que envolvem as relações de primeira e a de ordem superior.

Assim como dissemos a respeito da analogia C7, consideramos importante que tanto as diferenças alinháveis quanto as limitações indicadas em nosso mapeamento sejam adequadamente apresentadas e discutidas por autores de livros didáticos, a fim de se evitar interpretações equivocadas dessas comparações por parte dos estudantes.

## **5.6 – Análise do nível de enriquecimento, adequação pragmática e isomorfismo das analogias C2, C7 e C9 nos livros didáticos**

Conforme apresentamos na subseção 4.2.3 do capítulo da metodologia, analisamos o nível de enriquecimento dado pelos autores às três comparações selecionadas (C2, C7 e C9), tendo como referência os mapeamentos estruturais que fizemos para cada uma. A partir dos mapeamentos estruturais pudemos categorizar os níveis de enriquecimento em quatro níveis (de zero a três).

### **5.6.1 - Analogia C2**

Considerando o mapeamento estrutural da analogia C2, apresentado no quadro 11, como referência para análise do nível de enriquecimento<sup>4</sup> dado pelos autores na sua construção, vimos que no livro A, a autora não estabeleceu correspondências entre os elementos do DA e o DB mapeados, isto é, entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas. Apesar da autora fazer uma advertência quanto a escala do átomo em relação ao tamanho da imagem apresentada, além da advertência quanto às cores na imagem que não estão relacionadas à proposta do modelo, consideramos que o nível de enriquecimento dado pela autora do livro A na analogia C2 é igual a zero.

---

<sup>3</sup> Livre tradução: Domínios com muitas semelhanças devem ter muitas diferenças alinháveis, e domínios com poucas semelhanças devem ter poucas diferenças alinháveis.

<sup>4</sup> Para a comparação C2 de acordo com o mapeamento apresentado no quadro 11 não haverá nível de enriquecimento igual a 3, isso deve-se pelo fato de não apresentar correspondências com relação de ordem superior.

Semelhantemente, o autor do livro B não estabeleceu nenhum tipo de correspondência entre os domínios, limitando sua apresentação com informações relativas às cores usadas na representação do modelo. No livro C, embora os autores tenham apresentado uma descrição mais detalhada sobre o modelo proposto por Thomson, como a menção da existência de anéis concêntricos nos quais os elétrons estariam dispostos, e o movimento em alta velocidade dos elétrons nesses anéis, em nenhum momento eles estabeleceram correspondências com o análogo apresentado. Portanto, de acordo com a nossa proposta de categorização, podemos afirmar que tanto nos livros B e C quanto no livro A, os níveis de enriquecimento dados pelos autores na apresentação da analogia C2 são iguais a zero.

Já no livro D, como dissemos anteriormente, os autores preferiram usar como domínio base um panetone no lugar de um pudim de passas. Por meio dos mapeamentos estruturais que fizemos para esses dois domínios bases, apresentados nos quadros 11 e 12, demonstramos que as duas comparações apresentam a mesma estrutura de relações em correspondência. Ou seja, as correspondências de similaridades, de diferenças alinháveis e limitações são praticamente as mesmas. Por isso, apesar de terem usado o panetone como DB ao invés do pudim de passas, podemos analisar o nível de enriquecimento dados pelos autores do livro D à analogia C3 como se fosse para a analogia C2. Ao propor a analogia entre o modelo atômico de Thomson e um panetone, os autores do livro D estabeleceram correspondências entre o atributo  $A_1(E_1)$ ,  $E_2$  e  $r_1(E_1, E_2)$ . A correspondência  $A_1(E_1)$  foi estabelecida no trecho em que os autores associam a massa do panetone com a massa do átomo. No entanto, ao invés de se referirem diretamente à massa do átomo como atributo do domínio alvo correspondente, eles extrapolaram essa correspondência associando a massa do panetone ao formato do átomo, atributo codificado em nosso mapeamento do quadro 12 como um diferença alinhável –  $D_1:[A_4(E_1)]$ , e à carga positiva uniformemente distribuída, codificada nesse mesmo quadro como uma limitação da analogia –  $L_2:[A_3(E_1)]$ . Consideramos, portanto, que a correspondência  $A_1(E_1)$  não foi adequadamente estabelecida. Há que se considerar ainda que tais correspondências entre massa e carga, ou entre massa e formato, não apresentam similaridades semânticas.

As correspondências  $E_2$  e  $r_1(E_1, E_2)$  foram estabelecidas pelos autores do livro D entre o modelo atômico de Thomson e um panetone no trecho em que eles afirmaram que “as passas  $[E_2]$  seriam os elétrons incrustados nessa esfera”  $[r_1(E_1, E_2)]$ . Considerando as correspondências encontradas no livro D, principalmente a estabelecida entre as relações  $r_1$  de cada domínio, podemos classificar o nível de enriquecimento dado pelos autores do livro D a essa analogia como nível 2.

Contudo, de acordo com o mapeamento estrutural dessa analogia (quadro 11), consideramos que os autores dos livros didáticos poderiam ter explorado outras correspondências na comparação entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas (ou até mesmo, um panetone), além das correspondências entre os atributos  $A_1(E_1)$  e das relações  $r_1(E_2, E_1)$ . A fim de não deixar esse estabelecimento inteiramente a cargo dos estudantes, os autores dos livros didáticos poderiam, de algum modo, explorar a diferença alinhável  $D_1:[A_4(E_1)]$ , que se refere aos formatos das entidades átomo e pudim, bem como as limitações dessa analogia, codificadas como  $L_1:[A_2(E_2)]$ ,  $L_2:[A_3(E_1)]$  e  $L_3:[r_2(E_1, E_2)]$ . Além disso, os autores poderiam explorar a correspondência entre as relações  $r_3(A_5, A_1)$ , que trata da relação entre a massa dos elétrons e a massa do átomo.

Quanto ao isomorfismo aplicado na apresentação da analogia C2 no livro A, encontramos apenas uma proposição (vide quadro 8) que não nos permite avaliar as possíveis correspondências decorrentes do isomorfismo. O isomorfismo somente pode ser avaliado a partir do confronto entre frases ou proposições, ou partes das frases, sobre ambos os domínios comparados.

Semelhantemente ao que ocorreu no livro A, as apresentações dessa analogia nos livros B e C não envolveram frases que permitissem analisar o isomorfismo empregado pelos autores por meio do confronto de proposições. Tal fato é, inclusive, coerente com a nossa categorização dos níveis de enriquecimento dados pelos autores no estabelecimento dessa analogia: nível zero.

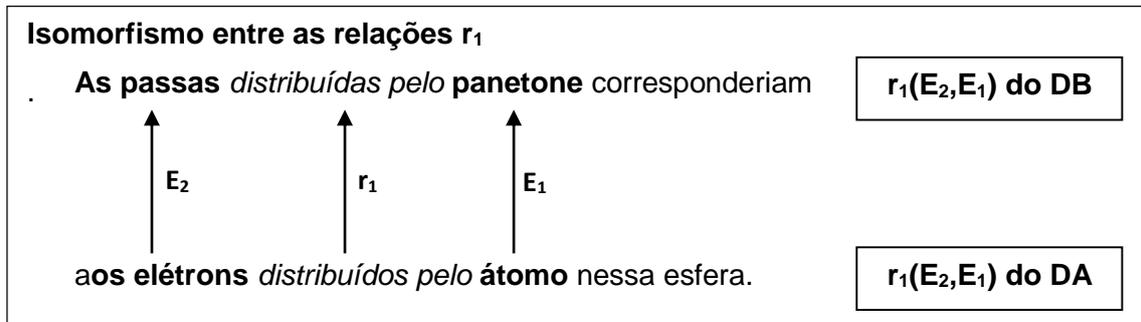
No caso do livro D, pudemos analisar esse aspecto na apresentação da analogia C3, que empregou um panetone como domínio base no lugar de um pudim de passas. Todavia, mesmo tendo explorado essa analogia com um nível de enriquecimento maior que os autores dos outros livros didáticos, as frases empregadas não evidenciam uma conectividade em paralelo entre os argumentos das relações colocadas em correspondência, devido à ausência de isomorfismo. A fim de esclarecer a nossa análise, reproduzimos a seguir o trecho do livro no qual a analogia entre o modelo atômico de Thomson e um panetone foi estabelecida:

Nessa analogia, a massa do panetone corresponderia aquilo que Thomson descreveu como a esfera contendo carga positiva uniformemente distribuída. As passas seriam os elétrons incrustados nessa esfera (LIVRO D, p. 162).

Embora as correspondências estabelecidas pelos autores do livro D sejam praticamente diretas, como em “*as passas seriam os elétrons*”, consideramos que a relação apresentada logo em seguida teria ficado isomorficamente adequada se os autores, ao invés de simplesmente afirmarem que “*as passas seriam os elétrons*

incrustados nessa esfera”, afirmassem que “as passas distribuídas pelo panetone corresponderiam aos elétrons distribuídos pelo átomo”. Entretanto, conforme o nosso referencial teórico, “o isomorfismo é um ideal que pode ser satisfeito com algum grau de imperfeição” (HOLYOAK & THAGARD, 1989, p. 301). A figura 8 apresenta o isomorfismo que haveria nessa possível proposição sobre as relações  $r_1(E_2, E_1)$ .

**FIGURA 8** - Isomorfismo entre as frases das relações  $r_1$  da analogia C3.



Fonte: Produzido pelos autores.

A respeito da adequação pragmática da analogia C2 (e da C3, no caso do livro D), primeiramente retomamos os propósitos contextuais que nós atribuímos às comparações em cada livro didático. Esses propósitos foram apresentados no quadro 8, na seção 5.2.

A análise da adequação pragmática requer fundamentalmente avaliar o contexto no qual a analogia foi construída e o seu propósito. Com base no quadro 9, a autora do livro A fez uma referência à analogia entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de ameixas associada à descrição dos aspectos estruturais do modelo. Considerando esse contexto e a intenção que nós atribuímos à autora do livro A, entendemos que a analogia C2, apresentada da forma como indicamos no quadro 8, está com a adequação pragmática comprometida por não explorar nenhuma correspondência entre os domínios comparados.

No livro A, considerando tanto a posição na qual a autora apresentou a analogia C2 (à margem do texto, como uma legenda de uma figura) quanto o nível de enriquecimento dado na sua apresentação (nível zero) e, conseqüentemente, o seu propósito contextual, entendemos que essa comparação foi apresentada de forma pragmaticamente inadequada. Entendemos que, se a autora tinha como propósito fazer uma apresentação do modelo paralelamente à descrição dos seus aspectos estruturais, seria pragmaticamente adequado se ela tivesse apresentado alguma justificativa quando afirmou que o modelo de atômico de Thomson é conhecido como “pudim de passas”.

Semelhantemente, nos livros B e C, a proposição ou a mera referência feita à analogia teria se tornado pragmaticamente adequada se os autores tivessem justificado a razão do modelo atômico ter se tornado conhecido por meio da comparação com um pudim de passas. Os autores poderiam ter feito tal justificativa mencionando ao menos as correspondências básicas do nosso mapeamento, como as que foram codificadas como  $E_1$ ,  $E_2$  e  $r_1$ . Há que se considerar que os autores dos livros B e C não tiveram como propósito fazer uma descrição do modelo atômico por meio da analogia com um pudim, mas simplesmente, fazer um resgate histórico e/ou cultural do modo como o modelo foi proposto e se tornou conhecido.

No caso do livro D, ao mencionar a analogia entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas, os autores também não tiveram como propósito fazer uma descrição dos aspectos estruturais do modelo por meio da analogia. Assim como os autores dos livros B e C, a intenção foi a de fazer o mesmo resgate histórico e cultural da proposição do modelo. Porém, ao estabelecer a analogia C3, substituindo o pudim de passas pelo panetone, os autores do livro D tiveram outro propósito: descrever o modo como os elétrons se encontram distribuídos ao longo da estrutura positiva do átomo. Dessa forma, considerando as correspondências estabelecidas pelo autor, entendemos que a analogia C3 estava adequada pragmaticamente, ou seja, estava adequada ao contexto e aos propósitos dos autores.

### 5.6.2 – Analogia C7

O mapeamento estrutural da analogia C7, apresentado no quadro 13, serviu como parâmetro para análise do nível de enriquecimento tal como foi realizado para a comparação C2 na seção 5.6.1. Analisamos o nível de enriquecimento dado pelos autores dos livros A, C e D para a analogia. Conforme dados apresentados anteriormente, a comparação C7 não foi estabelecida pelo autor do livro B.

No livro A, constatamos que a autora explorou a analogia apresentando correspondências entre as relações  $r_1(E_3, E_2)$  que trata da distribuição e giro dos elétrons ao redor do núcleo, e destacou uma diferença alinhável codificada como  $D_5:[r_2(E_3, E_2)]$ . Tal diferença se refere à natureza eletrostática da atração entre os elétrons e núcleo, que é diferente da atração gravitacional entre os planetas e o Sol. A autora poderia ter ampliado a discussão sobre a diferença alinhável D5 e construído a relação de ordem superior  $R_3(r_2, r_1)$ , mas não o fez. Tendo em vista tais correspondências, podemos afirmar que o nível de enriquecimento dado a essa analogia pela autora do livro A foi igual a 2.

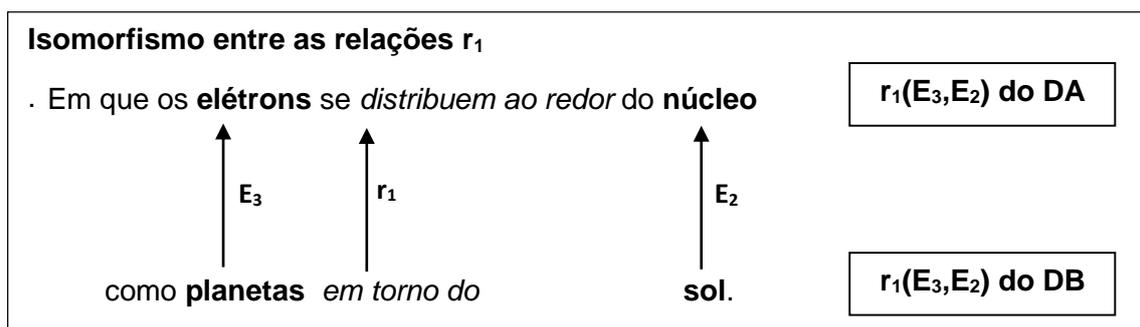
No livro C, verificamos que os autores estabeleceram correspondência entre o movimento dos elétrons em torno do núcleo e o movimento dos planetas em torno do sol, codificada como  $r_1(E_3, E_2)$ . Entretanto, os autores cometeram um equívoco ao dizer que os elétrons giram ao redor do núcleo em órbitas. Apesar desse equívoco cometido pelos autores, eles fizeram um alerta ao afirmar que o DA “não é exatamente como” o DB, e apontaram a limitação codificada como  $L_2:[R_2(r_1, A_1)]$ . Os autores também fizeram alusão a outras duas diferenças ao se referir às dimensões e às trajetórias dos elementos planetas-elétrons; ao afirmar que as dimensões entre os domínios são diferentes, os autores estabeleceram a diferença alinhável  $D_3:[A_5(E_3)]$ ; ao afirmar que as trajetórias são diferentes, eles sinalizaram a diferença alinhável  $D_4:[r_1(E_3, E_2)]$ . Por causa do estabelecimento da correspondência  $r_1(E_3, E_2)$ , classificamos o nível de enriquecimento dado pelos autores do livro C à analogia C7 como nível 2.

No livro D, os autores cometeram o mesmo equívoco apresentado no livro C, ou seja, afirmaram que os elétrons se movimentam em órbitas definidas tal como os planetas em torno do sol. Como já mostramos em nosso mapeamento, essa correspondência se constitui como uma limitação da analogia C7, codificada como  $L_2:[R_2(r_1, A_1)]$ . Assim como ocorreu nos livros A e C, os autores do livro D exploraram somente a relação  $r_1(E_3, E_2)$ . Portanto, nesse caso a analogia C7 também apresenta nível de enriquecimento igual a 2.

Apesar das três comparações terem recebido grau 2 no nível de enriquecimento, os autores poderiam estabelecer um maior número de relações ao explorar mais a comparação. Ou seja, a comparação entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar apresenta um potencial analógico maior do que a forma como esses autores a têm explorado nos livros didáticos.

Quanto ao isomorfismo, a autora do livro A empregou uma frase que nos permitiu a sua análise. A figura 9 reapresenta o trecho evidenciado no quadro 8.

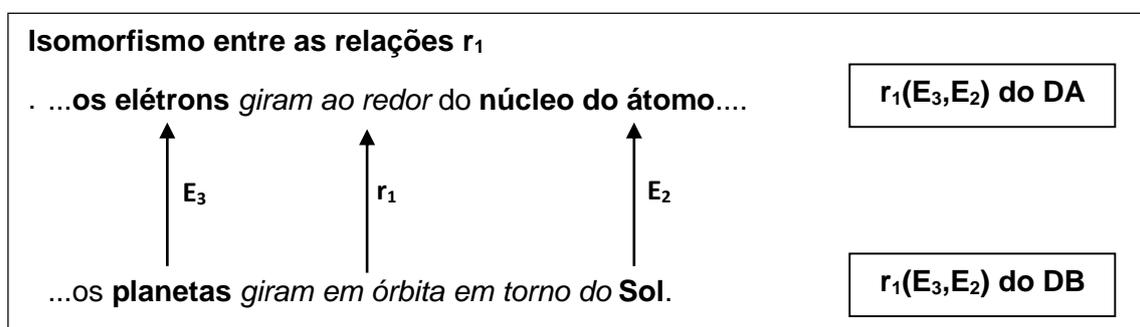
**FIGURA 9** - Isomorfismo entre as relações no mapeamento da analogia C7 apresentada no livro A.



A análise da figura 9 nos permite concluir que a analogia C7 apresentada no livro A, no que diz respeito apenas à relação  $r_1$ , está isomorficamente bem construída quanto a correlação dos elementos envolvidos na proposição.

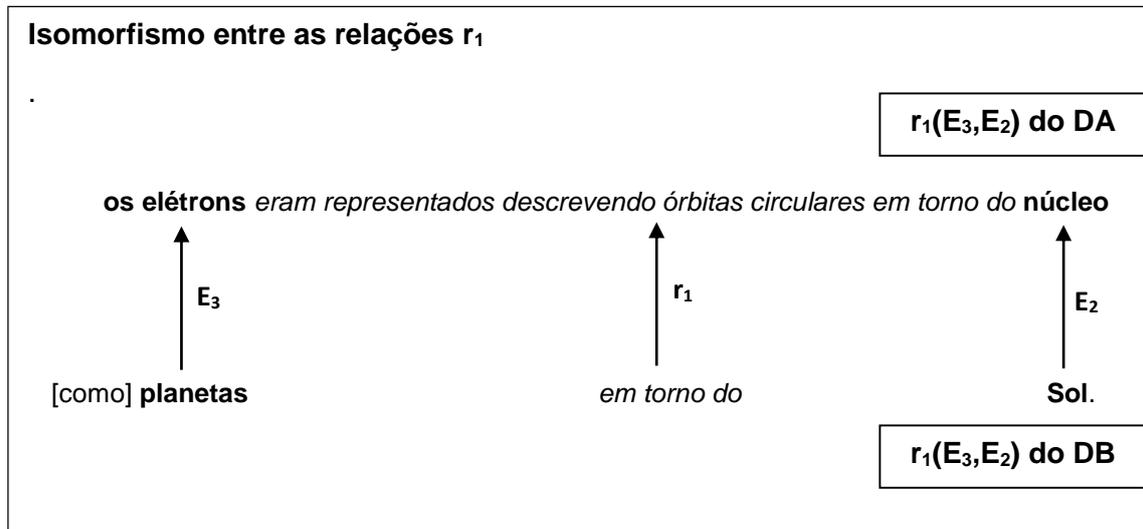
No livro C, os autores também empregaram uma frase que permite correlacionar os elementos envolvidos. A figura 10 reapresenta parte do trecho do livro C, apresentado no quadro 8, que se refere especificamente ao estabelecimento da correspondência  $r_1$ .

**FIGURA 10** - Isomorfismo entre as relações no mapeamento da analogia C7 apresentada no livro C.



Essa relação também foi apresentada no livro D por meio de uma frase semelhante. A figura 11 retoma esse fragmento, também apresentado no quadro 8.

**FIGURA 11** - Isomorfismo entre as relações no mapeamento da analogia C7 apresentada no livro D.



Assim como nos livros A e C, a analogia C7 apresentada no livro D também permite o estabelecimento de correspondência entre as relações  $r_1$  de ambos os domínios e dos seus elementos. Existe uma semelhança considerável na forma de apresentação da correspondência entre as relações  $r_1$  da analogia C7 nos três livros didáticos analisados (A, C e D).

Quanto à adequação pragmática, há que se dizer que o propósito contextual do estabelecimento da analogia C7 nos três livros didáticos (A, C e D) são equivalentes. Vimos que nos três livros, apesar da pequena quantidade de correspondências estabelecidas pelos autores, a forma como as analogias foram exploradas encontra-se pragmaticamente adequada ao contexto e aos propósitos dos autores.

### 5.6.3 - Analogia C9

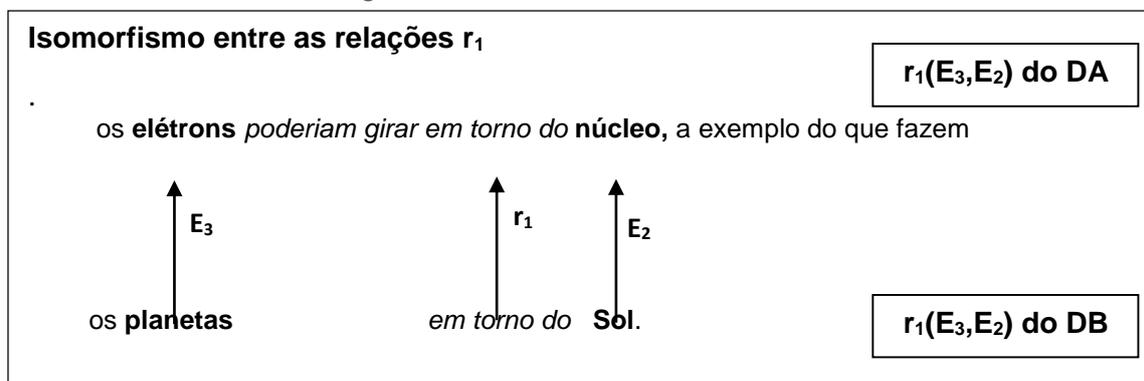
O mapeamento estrutural da analogia C9 apresentado no quadro 14, serviu como parâmetro para análise do nível de enriquecimento dado pelos autores do livro D em seu estabelecimento. A comparação entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar não foi estabelecida pelos autores dos livros A, B e C.

Os autores do livro D exploraram a analogia C9, entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar, estabelecendo somente uma correspondência entre os dois domínios: a relação  $r_1$ , que no DA, trata do movimento dos elétrons ao redor do núcleo, enquanto no DB trata do movimento dos planetas ao redor do Sol. Consideramos importante lembrar que essa correspondência também foi explorada na comparação C7, que tinha como DA o modelo atômico de Rutherford. Os próprios autores do livro D já tinham estabelecido essa correspondência ao comparar o modelo de Rutherford ao

sistema solar. Esses autores não fizeram qualquer ressalva ou consideração ao uso do mesmo domínio base para modelos atômicos distintos. Além disso, os autores do livro D não exploraram outras correspondências possíveis além da existente entre  $r_1$  do DA e  $r_1$  do DB. Embora o nível de enriquecimento dado pelos autores do livro D a essa analogia seja igual a 2, tal fato evidencia a precariedade do modo como essas comparações com o sistema solar tem sido exploradas em livros didáticos.

Quanto ao isomorfismo empregado na construção dessa analogia para o modelo de Bohr, percebemos que a estrutura do enunciado apresentado pelos autores do livro D é semelhante à forma com a qual eles estabeleceram a correspondência entre as relações  $r_1$  na comparação envolvendo o modelo atômico de Rutherford. A figura 12 reapresenta parte do trecho em que essa correspondência foi estabelecida.

**FIGURA 12** – Isomorfismo entre as relações  $r_1$  colocadas em correspondência pelos autores do livro D na analogia C9.



A estrutura do enunciado revela a correlação de elementos um a um, entre o domínio base e alvo, dessa forma entendemos que há isomorfismo na construção da analogia.

A analogia C9 presente no livro D tinha como propósito contextual descrever o modo como os elétrons se movimentam em relação ao núcleo e apresentar, como solução aparente, uma explicação para o fato dos átomos serem caracterizados como sistemas estáveis, nos quais os elétrons, apesar da atração coulombiana, não se chocam com o núcleo. No entanto, os autores não exploraram a analogia para além da correspondência das relações  $r_1$ . Os autores deixaram inteiramente a cargo dos leitores as inferências sobre a estabilidade dos átomos, em semelhança à estabilidade do sistema solar. Nesse sentido, consideramos que a forma como os autores exploraram a analogia entre o modelo de Bohr e o sistema solar não está pragmaticamente adequada.

## **CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

---

Acreditamos que por meio do nosso referencial teórico, construído a partir da Teoria do Mapeamento Estrutural de Dedre Gentner (GENTNER, 1983) e colaboradores (GENTNER & MARKMAN, 1997), e da Teoria das Múltiplas Restrições, de Keith Holyoak e Paul Thagard (HOLYOAK & THAGARD, 1989), e da metodologia empregada para a análise estrutural de comparações encontradas em livros didáticos de Química, conseguimos responder o nosso problema de pesquisa: *quais características nos permitem conceber comparações presentes em livros didáticos de Ciências como sendo analogias adequadamente enriquecidas e apropriadas para o ensino de modelos, conceitos ou teorias científicas na Educação Básica?*

Para tanto, consideramos pertinente retomar as questões básicas que nortearam nosso trabalho empírico a fim de respondê-las e fazer as nossas últimas considerações sobre os resultados da análise.

Como primeira questão de pesquisa, nos propusemos a responder a seguinte pergunta: *como distinguir as formas pelas quais autores de livros didáticos estabelecem comparações?* Para fazer a distinção pelas quais os autores estabeleceram comparações, primeiramente nós identificamos os domínios da comparação. A partir da identificação dos domínios, recorrendo a teoria do mapeamento estrutural, alinhamos todos os elementos possíveis de cada domínio, levantamos os atributos que eram relevantes e descartamos aqueles que eram irrelevantes. Em seguida, mapeamos as relações em correspondência, paralelamente, identificamos tanto as diferenças alinháveis quanto as limitações das comparações. A partir desse mapeamento, nós fizemos distinções entre comparações de mera aparência e comparações potencialmente analógicas. Seção 5.5 que tratou da análise estrutural das comparações entre: (1ª) o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas; (2ª) o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar; e (3ª) o modelo atômico de Bohr e o sistema solar.

Na nossa segunda questão de pesquisa, perguntamos quais eram os aspectos estruturais dessas comparações. A partir do mapeamento estrutural, vimos que as três comparações são potencialmente analógicas, pois: (1°) apresentavam consistência estrutural, identificada pela correspondência um a um entre os elementos constituintes de ambos os domínios comparados e pela conectividade em paralelo dos argumentos das relações colocadas em correspondência; ou seja, não identificamos nenhum tipo de inconsistência nas comparações propostas pelos autores dos livros didáticos; (2°) apresentavam um foco relacional potencial, ou seja, as comparações propostas pelos

autores dos livros didáticos permitiam que os seus focos fossem dados sobre as relações em correspondência e não meramente sobre predicados descritivos (atributos) dos elementos que constituíam os domínios comparados. No entanto, isso não significa que todos os autores tenham dado o devido foco relacional em todas as comparações propostas. Encontramos casos, nos quais os autores apenas mencionaram os domínios da comparação sem focar nenhuma correspondência, nem mesmo nas correspondências entre atributos. Isso aconteceu, por exemplo, nas comparações feitas entre o modelo atômico de Thomson e um pudim de passas, nas quais os níveis de enriquecimento foram iguais a zero.

Além da análise da consistência estrutural e do foco das comparações, vimos também aspectos relacionados à sistematicidade dessas analogias e à similaridade semântica das entidades (elementos, atributos e relações) colocadas em correspondência. Entre as três comparações selecionadas para o mapeamento estrutural, vimos que, apesar da relativa similaridade semântica entre as entidades pertencentes à estrutura atômica e as entidades pertencentes a um pudim de passas, essa comparação carecia de sistematicidade, uma vez que as relações colocadas em correspondência se configuraram como predicados isolados, não interconectados. Já as comparações estabelecidas ora com o modelo de Rutherford, ora com o modelo de Bohr, e o sistema solar, além da alta similaridade semântica envolvida nas correspondências planetas/elétrons e Sol/núcleo, mantinha algum grau de sistematicidade, tendo em vista a presença de uma correspondência entre relações de ordem superior nos dois casos. Nas duas comparações envolvendo o sistema solar, seria possível estabelecer a seguinte correspondência: assim como os planetas giram em torno do Sol devido à atração mútua entre o Sol e os planetas, os elétrons giram em torno do núcleo atômico devido à atração mútua entre o núcleo e os elétrons. No entanto, em nenhum dos livros didáticos analisados, os seus autores exploraram essa correspondência, seja na analogia construída para o modelo de Rutherford ou na analogia construída para o modelo de Bohr.

Ao verificar a forma como os autores dos livros didáticos exploraram as analogias e estabeleceram as correspondências entre os domínios, também analisamos outros aspectos contextuais, como o isomorfismo dos enunciados referentes a cada domínio, e a adequação pragmáticas das comparações estabelecidas. Essa análise complementar dos aspectos estruturais das analogias foi apresentada, juntamente com a análise dos níveis de enriquecimento, na seção 5.6.

Por último, respondemos à seguinte questão: *com quais níveis de enriquecimento autores de livros didáticos de Química têm construído analogias para abordar conceitos, modelos ou teorias científicas na educação básica?*

A resposta a essa pergunta também foi construída a partir dos mapeamentos estruturais que fizemos para cada analogia, que nos permitiu identificar todas as correspondências estabelecidas pelos autores dos livros didáticos. Ou seja, tivemos como referência para a análise do nível de enriquecimento das analogias, os códigos e sinais gráficos das correspondências mapeadas no quadro 11 (analogia entre o modelo de Thomson e um pudim de passas), quadro 13 (analogia entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar) e quadro 14 (analogia entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar). Após a identificação das correspondências estabelecidas pelos autores, categorizamos os níveis de enriquecimento de zero a três, conforme as orientações apresentadas na seção 4.2.3, do capítulo de metodologia, que tratou procedimentos para análise da apresentação das analogias nos livros didáticos. O quadro 15 apresenta uma síntese da nossa análise dos níveis de enriquecimento dados pelos autores dos quatro livros didáticos analisados para as três comparações selecionadas.

**QUADRO 15** – Níveis de enriquecimento dados pelos autores dos livros didáticos de Química às analogias C2, C7 e C9.

Analogias	Níveis de enriquecimento			
	Livro A	Livro B	Livro C	Livro D
C2	0	0	0	0*
C7	2	-	2	2
C9	-	-	-	2

\* - Na comparação C3, substituinte da C2: nível 2.

Fonte: Produzido pelos autores.

Os mapeamentos estruturais das comparações também nos permitiram verificar se a escolha dos autores do livro D em explorar a comparação C3 no lugar da comparação C2 se justificava pela estrutura das relações em correspondência. De acordo com os mapeamentos dessas duas comparações, vimos que não havia justificativa decorrente da estrutura das suas correspondências. Especulamos que, provavelmente, essa escolha dos autores do livro D fosse decorrente da presunção dos mesmos a respeito da familiaridade dos estudantes com um panetone, o domínio base da analogia C3.

Retomando os níveis de enriquecimentos das comparações estabelecidas pelos autores dos livros didáticos, percebemos que para a comparação C2, a autora do livro A não estabeleceu nenhum tipo de correspondência entre o domínio alvo e o

análogo apresentado, houve apenas a advertência quanto a escala do átomo em relação ao tamanho da imagem apresentada, além das cores na imagem que não estavam relacionadas a proposta do modelo. O autor do livro B também não estabeleceu nenhum tipo de correspondência entre os domínios, restringindo-se apenas a informação quanto as cores fantasia usadas na representação do modelo. No livro C os autores fizeram uma descrição mais detalhada sobre o modelo atômico de Thomson, mas em nenhum momento estabeleceram correspondências com o domínio base apresentado. No livro D, apesar de ser usado o panetone como análogo ao invés do pudim de passas os autores estabeleceram correspondências equivalentes, com foco na relação que tratava da distribuição dos elétrons na estrutura atômica, em similaridade com a distribuição de pedaços de frutas cristalizadas em um panetone.

Para a comparação C7, os autores abordaram a analogia entre o modelo atômico de Rutherford e o sistema solar com o mesmo nível de enriquecimento, todos focados na relação que tratava da distribuição e giro dos elétrons ao redor do núcleo atômico, em similaridade à distribuição e giro dos planetas ao redor do Sol. Contudo, vimos que os autores poderiam ter explorado essa analogia por meio do estabelecimento de correspondências envolvendo outras relações e atributos, bem como por meio da explicitação das diferenças alinháveis e das limitações da analogia. O mapeamento estrutural evidenciou a complexidade e a potencialidade dessa analogia que, embora comum, tem sido pouco explorada por autores de livros didáticos, poderia contribuir significativamente para o ensino e a aprendizagem desse modelo.

Fizemos as mesmas considerações a respeito do modo como os autores do livro D exploraram a analogia C9, entre o modelo atômico de Bohr e o sistema solar.

Tendo retomado e respondido cada questão norteadora da pesquisa, podemos agora responder quais características nos permitiram conceber comparações presentes em livros didáticos de Ciências como sendo analogias adequadamente enriquecidas e apropriadas para o ensino de modelos, conceitos ou teorias científicas na Educação Básica, conforme propusemos no primeiro capítulo desta dissertação.

De acordo com o nosso estudo sobre o uso de analogias na Educação em Ciências e a nossa análise sobre a forma como autores de livros didáticos têm explorado esse tipo de recurso de mediação didática, vimos que as comparações estabelecidas entre dois domínios de conhecimento, feitas com a finalidade de permitir a compreensão de um domínio desconhecido, ou pouco conhecido, a partir de um domínio base familiar, deve ser feita com determinados cuidados e critérios. Entendemos que uma comparação somente poderá ser concebida como uma analogia devidamente

enriquecida e adequada para a mediação didática se ela for estruturalmente consistente, se envolver entidades (elementos, atributos e relações) com significados contextuais semelhantes (similaridade semântica), se for adequada ao contexto e aos propósitos do seu estabelecimento, se possuir foco nas relações colocadas em correspondência e, preferencialmente, se for sistemática, de modo a aumentar a interconectividade dessas relações e aumentar o seu poder inferencial sobre o domínio alvo da compreensão. Contudo, as potencialidades de comparações com tais características se tornam significativamente reduzidas se os autores dos livros didáticos deixarem inteiramente a cargo dos professores e estudantes o estabelecimento das correspondências. Em outras palavras, as possibilidades didáticas de uma comparação com potencial analógico se tornam reduzidas quando os autores meramente citam os seus domínios sem estabelecer qualquer correspondência de similaridade entre relações, ou seja, quando o nível de enriquecimento dado à comparação é igual a zero. Entendemos que uma analogia será adequadamente explorada quando o nível de enriquecimento dado for igual a 3, nos casos em que isso se tornar possível. Ou seja, as analogias serão adequadamente exploradas se os autores estabelecerem correspondências entre relações de ordem superior.

### ***Contribuições para as Pesquisas sobre Analogias na Educação em Ciências***

Acreditamos que este trabalho oferece uma metodologia sistematizada para análise de comparações em livros didáticos. Percebemos, a partir do que foi exposto na revisão bibliográfica, que o estudo das comparações em livros didáticos são, normalmente, direcionados para a quantificação das analogias e aspectos como a disposição ao longo dos livros. O nosso trabalho não teve como foco a mera quantificação ou a mera identificação dos domínios utilizados para o ensino de aspectos relacionados com as teorias atômicas. O nosso interesse esteve voltado para a forma como os autores de livros didáticos exploraram algumas analogias, tendo como referencial teórico e metodológico o mapeamento estrutural das correspondências estabelecidas.

O trabalho apresenta, portanto, as seguintes contribuições para o campo de estudos das analogias no contexto da Educação em Ciências: (i) o padrão sistemático do mapeamento estrutural; (ii) a convergência entre categorias usuais de análise, como as de Curtis & Reigeluth (1984) e as ideias decorrentes do mapeamento estrutural das analogias; (iii) a categorização dos níveis de enriquecimento das comparações a partir das correspondências apresentadas na construção das analogias, diferente de trabalhos anteriores que apenas faziam a distinção entre *analogias simples*, *analogias*

*enriquecidas e analogias estendidas*, mas sem levar em consideração os tipos de correspondências estabelecidas pelos autores de livros-texto.

### ***Contribuições para o Ensino de Ciências***

Acreditamos que este trabalho permite uma reflexão sobre o uso e importância das analogias tanto por autores de livros didáticos de Ciências quanto por professores e responsáveis pelos cursos de formação de professores dessa área de conhecimento. A partir dessa reflexão, acreditamos ser possível ampliar as considerações teóricas e orientações pedagógicas norteadoras do trabalho de concepção e elaboração de livros didáticos.

Consideramos que o estudo das analogias no ensino de Ciências possa contribuir para um uso sistematizado, mais cuidadoso e reflexivo, evitando as formas indiscriminadas e lacunares com as quais os domínios das comparações são apresentados aos estudantes, que na ausência de uma compreensão adequada das relações existentes no domínio alvo (modelo, teoria ou conceito científico) não conseguem estabelecer as devidas correspondências.

### ***Limitação da metodologia empregada.***

Apesar do rigor com o qual procedemos tanto a seleção das comparações para análise nos livros didáticos quanto o mapeamento estrutural dessas analogias, entendemos que o nosso trabalho apresenta algumas limitações.

Reconhecemos uma limitação relacionada às categorias criadas para a análise dos níveis de enriquecimento dados pelos autores no estabelecimento das comparações encontradas. As nossas categorias não levaram em consideração as quantidades das correspondências estabelecidas pelos autores, mas apenas o tipo de correspondência enunciada. Isso implicou em alguns casos nos quais bastava haver um única correspondência entre relações de primeira ordem para que o nível fosse considerado igual a dois. Assim, uma comparação com um nível de enriquecimento alto não implicava no estabelecimento de um grande número de correspondências, por parte do autor do livro didático, tampouco implicava no estabelecimento de correspondências dos níveis inferiores.

Entendemos que, provavelmente, em trabalhos futuros, essa escala possa ser modificada para abranger uma maior quantidade de características das comparações ou até mesmo excluir critérios que nós adotamos aqui.

Conforme os critérios e procedimentos apresentados no capítulo da metodologia, nos limitamos ao estudo de comparações apresentadas no contexto das teorias atômicas. Entretanto, consideramos que outros temas devessem ser analisados à luz do nosso referencial teórico e metodológico, a fim de ampliar o nosso

conhecimento sobre o papel e a forma como as analogias são construídas e exploradas em livros didáticos de Ciências.

## REFERÊNCIAS

---

- ANTUNES, M.T.; Ser Protagonista. Ensino Médio. Volume 1. 2ª edição. Ed. SM, 2013.
- BERNADINO, 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. 19, n. 1, p. 135–150, 2013.
- BORGES, A. T. Um estudo de modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.2, n.3, p. 207-226, 1997.
- CLEMENT, J. Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Students' Preconceptions in Physics. *Journal of Research in science Teaching*. v.30, n.10, p.1241-1257, 1993.
- CURTIS, R.V.; REIGELUTH, C.M. The use of analogies in written text. **Instructional Science**, vol.13, n.2, p.99-117, 1984.
- DAGHER, Z. Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32 (3), p.259-270, 1995a.
- DUARTE, M.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.
- ECHEVERRÍA.A.R.;MELLO,I.C.; GAUCHE, R. O programa Nacional do Livro Didático de Química no contexto da educação brasileira, In: ROSA, M. I. P.; ROSSI, A. V. (Org.) *Educação Química no Brasil: memórias, políticas e tendências*. Campinas, SP: Editora Átomo, 2008. p.63-83.
- FERRY, Alexandre da Silva. *Análise Estrutural e Multimodal de Analogias em uma Sala de Aula de Química*, 2016 [Tese de Doutorado]
- FERRY, A.S.; PAULA, H.F; Mapeamento estrutural de analogias e outras comparações em uma salde aula de Química. In: Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências (ENPEC), X. Águas de Lindoia, SP, 24 a 27 de novembro de 2015.
- FONSECA, M. R. M.; Química Ensino Médio. Volume 1. 2ª edição. Ed. Ática, 2013.
- 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. **Cogn**, v. 14, n. 141, p. 121–143, 2009.
- FRANCISCO JUNIOR, W.E. Analogias e situações problematizadoras em aulas de ciências. São Carlos: Pedro & João Editores, 2010.
- FRANCISCO JUNIOR, W. E. et al. Um estudo das analogias sobre equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM 2007. **Revista ensaio**, v. 13, n. 02, p. p.85–100, 2011.
- FRANCISCO JUNIOR, W. E. et al. Analogias em livros de química geral destinados ao ensino superior. **Revista ensaio**, v. 14, n. 03, p. p.131–147, 2012.
- GENTNER, D. Structure-Mapping: A Theoretical Framework for Analogy\*. **COGNITIVE**

**SCIENCE**, v. 7, p. 1–5, 1983.

GENTNER, D.; MARKMAN, A.B. Structure mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, v. 52, n.1, p.45-56,1997.

GENTNER, D.; KURTZ, K.J. Relations, Objects, and the Composition of Analogies. *Cognitive Science*. v.30, p.609-642, 2006.

GLYNN, S.M.; TAKAHASHI, T. Learning from analogy-enhanced science text. *Journal of Research in Science Teaching*, v.35, n.10, p. 1129-1149, 1998.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Teaching and learning with analogies: friend or foe? In: AUBUSSON, P.J.; Harrison, A.G.; Ritchie, S.M. (Orgs.). **Metaphor and Analogy in Science Education**. Dordrecht: Springer. 2006. p.11-24.

HARRISON, A.G.; TREAGUST, D.F. Teaching with Analogies: A case Study in Grade-10 Optics. *Journal of Research in Science Teaching*. v.30, n.10, p. 1291-1307, 1993.

HOLYOAK, K.J.; THAGARD, P. Analogical Mapping by Constraint Satisfaction. *Cognitive Science*. v.13, p. 295-355, 1989.

JUNIOR, W.; FRANCISCO, W.; OLIVEIRA, A. G. 2012 - FRANCISCO JUNIOR et al. **Revista ensaio**, v. 14, n. 03, p.131–147, 2012.

JUSTI, R La enseñanza de ciencias basada em la elaboraciona de modelos, v.24, n2, p.173-184, 2006

LOPES, C.V.M.; MARTINS, R.A. J.J Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: O 'Pudim de Passas' nos livros texto. VII ENPEC- Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. p.2, 2009.

MARKMAN, A.B.; GENTNER, D. Commonalities and differences in similarity comparisons. *Memory & Cognition*. v. 24, n.2, p. 235-249, 1996.

MACHADO, Andrea Horta; MORTIMER, Eduardo Fleury. Química para o ensino médio: fundamentos, pressupostos e o fazer cotidiano. In: ZANON, Lenir Basso; MALDANER, Otávio Aloisio. **Fundamentos e propostas de ensino de química para a educação básica no Brasil**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2007. p. 21-41.

MÓL, Gerson de Souza. O uso de analogias no ensino de Química. Brasília: Universidade de Brasília - Instituto de Química, 1999. [Tese de Doutorado].

MOL, G.; SANTOS, W. Química Cidadã. Ensino Médio. Volume 1. 2ª edição. Ed. AJS, 2013.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. Analogias em livros didáticos de Química brasileiros destinados ao ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 67–91, 2000.

MORTIMER, E. F.; MACHADO, A.H. Química: Ensino Médio. Volume 1. 2ª edição. Ed. Scipione, 2013.

MOZZER, N.; JUSTI, R. A elaboração de analogias como um processo que favorece a expressão de concepções de professores de Química. **Educación Química**, v. 24, p. 163–173, 2013a.

MOZZER, N.; 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.

OLIVA, J. M.; ARAGÓN, M. M.; MATEO, J.; BONAT, M. Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, vol.19, n.3, p.453-470, 2001.

OTERO, R. M. Como usar analogias e classes de Física? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v. 14, n.2, p.179-187, 1997.

REINER, M.; GILBERT, J. Epistemological resources for thought experimentation in science education. *Internacional Journal of Science Education*, v.22, n.5, p. 489-506, 2000.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. an Interpretive Examination of High-School Chemistry Teachers Analogical Explanations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 31, n. 3, p. 227–242, 1994.

THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. Analogies in chemistry textbooks. *Internacional Journal of Science Education*, 17(6), pp.783-795, 1995.

VENVILLE, G.J.;BRYER,L.; TREAGUST,D.F. Training students in the use of analogies to enhance understanding in science. *Australian Science Teacher Journal*, v.40, n.2, p.60-66, 1994.

## APÊNDICE A

---

Trabalhos apresentados e publicados em anais de eventos científicos:

ALVARENGA, G.R.; VIEIRA, M.L.A.; FERRY, A.S.; NAGEM, R.L.; Análise de Comparações associadas às Teorias Atômicas presentes em Livros Didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2015, a partir da Teoria do Mapeamento Estrutural de Gentner. Seminário da Asociación Latinoamericana de Investigación en Educación en Ciencias – LASERA 2015, Ibagué, Colômbia. 2015

ALVARENGA, G.R.; VIEIRA, M.L.A.; FERRY, A.S.; NAGEM, R.L.; Domínios e Propósitos de comparações em livros didáticos de Química. 12ª Semana C&T-Semana de Ciência e Tecnologia. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015.

ALVARENGA, G.R.; VIEIRA, M.L.A.; FERRY, A.S.; NAGEM, R.L.; Mapeamento Estrutural de uma Analogia para o Modelo Atômico de Rutherford presente em Livros Didáticos de Química. XXIX Encontro Regional da SBQ-MG. Novembro de 2015

ALVARENGA, G.R.; VIEIRA, M.L.A.; FERRY, A.S.; NAGEM, R.L.; Análise de uma Analogia presente nos Livros Didáticos de Química do PNLD 2015: o Modelo Atômico de Thomson e um pudim de passas. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química – Florianópolis-SC. Julho de 2016.