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

WILBERT VIANA BARBOSA

ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

BELO HORIZONTE - MG
2019

WILBERT VIANA BARBOSA

ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

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

Orientador: Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry

Linha de Pesquisa IV- Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia

BELO HORIZONTE - MG
2019

Barbosa, Wilbert Viana
B238a Análise da sistematicidade de analogias em contextos de ensino e de pesquisa na educação em ciências. / Wilbert Viana Barbosa. – – Belo Horizonte, 2019.
225 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica, 2019.
Orientador: Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry

Bibliografia

1. Analogia. 2. Ciências – Estudo e Ensino. 3. Química (Ensino Médio). I. Ferry, Alexandre da Silva. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título

CDD 370.0169

Elaboração da ficha catalográfica pela Bibliotecária Elisângela Gonçalves Barbieri CRB-6: 2624 / CEFET-MG

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

Wilbert Viana Barbosa

"ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS."

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, em 22 de agosto de 2019, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Tecnológica, aprovada pela Comissão Examinadora de Defesa de Dissertação constituída pelos professores:

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

Prof.ª Dr.ª Mariana de Lourdes Almeida Vieira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Prof. Dr. Helder de Figueirêdo e Paula
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Gilmar Pereira de Souza
Universidade Federal de Ouro Preto

Dedico este trabalho a Eva e Sebastião

AGRADECIMENTOS

Deus
Eva Viana Barbosa
Sebastião Gomes Barbosa
João Augusto Viana Barbosa
Romário Viana Barbosa
Lourivaldo Viana Barbosa
Maria Cleuza Viana Barbosa
Claudinei Viana Barbosa
Maria Magdalena Viana Barbosa
Gleciane Viana Barbosa
Evânia Viana Barbosa
Erilane Viana Barbosa
Clediane Viana Barbosa
Hiago Viana Barbosa
Sobrinhos/Sobrinhas
Vó Branca
Avós (Gercino, Serafim, João, Maria Magdalena) *[in memorian]*
Tios/Tias
Primos/Primas
Cunhados/Cunhadas
Família (...)
Ao **Tony Charles Labanca** [*pela companhia em todo o trajeto*]
Família Labanca Correia
Tia Inês (pré-escola)
Tia Cema (1ª e 2ª série)
Tia Ildete (3ª série)
Tia Dalva (4ª série)
Professores e Professoras (Fundamental)
Professores e Professoras (Ensino Médio)
- Sérgio
- Maria Helena
- Karina
- Tina
- Aderbald
Professores e Professoras da Graduação em Sistemas de Informação
- **Salim Aouar**
- Fabiano Santos
- **Ahminne** (Amo)
- Yvssa
- Oseas
Professores e Professoras do BC&T
- Drª. **Jaqueline Maria**
- Dr. César Welter
Professores e Professoras da pós em Gestão Estratégica
Professores do Mestrado em Educação Tecnológica
- Dr. **Alexandre da Silva Ferry** [*Grande parceiro nessa caminhada, agradecimento especial não somente por suas orientações, mas pelas valiosas contribuições*]
- Dr. **Ronaldo Luiz Nagem**
- Ivo, Adélia e Geraldo Pedrosa
GEMATEC e AMTEC
- **Luciana Assis** [por sua parceria]
- **Helton Luiz Dias** [companheiro de orientação, parceiro]
- Fátima (linda)
- Raísa Salabert [sempre me ensinando política]
- Taís Mascarenhas [começamos juntos em 2015]
Aos Colegas da Turma 2017 do Mestrado
Centro Universitário Doctum de Teófilo Otoni
Meus alunos [que me ensinaram mais do que eu a eles]
- Joubert Fidelis
- **Nínive Bastos** [por sua compreensão]
- **Kely Prata** [pelos conselhos]
- **Mírian Serra**
- **Liliane Menezes**
- Keytiane Moura
- Marcela Cangussu
- Rodrigo Montezano
- Camila Miranda [pelas indignações, principalmente]
Amigos da Infância e adolescência
- Letícia Helena (*first one*)
- Clara Angélica (*second one*)
- **Maira Chaves** (*special one)*
- Kamila Faria
Vizinhos de Ladainha
A Ladainha
Gabriel Nishiyama (same age) e Davi Eber
Turma de SI 2008
- Felipe Jorge
- Luiz Fernando
- Patrick Porto
Outros Amigos
Daniel
Hener
Tiago Oliveira
Lucas Alencar
Drª. **Dedre Gentner** [cuja teoria possibilitou esta pesquisa]
Equipe do MIT [que me forneceram acesso ao SME]
CEFET-MG
E demais...

Analogy may be used to guide reasoning…

Falkenhainer & Gentner, 1989

RESUMO

A presente dissertação é fruto de uma pesquisa de mestrado em Educação Tecnológica conduzida no campo de estudos sobre o papel das analogias na Educação em Ciências, no contexto de uma linha de pesquisa sobre Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia. O seu objeto de investigação é a sistematicidade das analogias enquanto aspecto estrutural relacionado à forma como os conjuntos de relações mapeadas em cada domínio comparado encontram-se semelhantemente interconectados, de modo que o conhecimento sobre um domínio familiar possa ser projetado, inferencialmente, sobre um domínio desconhecido ou pouco conhecido. A sistematicidade, portanto, manifesta-se nas analogias através de um sistema de relações mutuamente conectadas em correspondência entre os dois domínios. Nesse contexto, essa investigação foi orientada a partir da seguinte questão de pesquisa: *como a sistematicidade de uma analogia pode ser caracterizada a fim de nos permitir usá-la como parâmetro de análise de sua adequação em contextos de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências?* Diante disso, em acordo com Teoria do Mapeamento de Estruturas (TME), as analogias podem ser compreendidas como comparações entre dois domínios, um base (o familiar) e um alvo (o domínio a ser explicado/compreendido), nas quais privilegiam-se as relações entre elementos e seus atributos, e as relações de ordem superior, de forma a conferirem *consistência estrutural*, *foco relacional* e *sistematicidade* às analogias. Assim, o percurso metodológico deste trabalho desdobrou-se em duas sequências paralelas e complementares: (i) a teórica, conduzida em torno dos significados atribuídos ao conceito da sistematicidade no contexto da TME, que permitiu o desenvolvimento de um algoritmo capaz de estimar fatores de sistematicidade para cada correspondência a ser mapeada nas análises estruturais, que foi incorporado a um sistema web, denominado Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias (Sistema MAPES), concebido nesta pesquisa a partir de um conjunto de orientações metodológicas e notações simbólicas para a representação de correspondências durante o mapeamento estrutural de analogias; e (ii) a empírica, que, após o desenvolvimento do algoritmo, culminou na análise estrutural de cinco comparações tomadas como analogias para o ensino da dinâmica das reações em equilíbrio químico, e na análise de conteúdo das transcrições de discussões promovidas em dois grupos focais constituídos por professores de Química, que permitiram levantar suas opiniões, ideias e percepções sobre o uso de analogias no ensino de Ciências, em geral, e sobre as cinco comparações para o ensino de Equilíbrio Químico, em particular. Os resultados da investigação permitiram a caracterização da sistematicidade enquanto aspecto estrutural capaz de influenciar as escolhas de professores por analogias ricas e abrangentes a serem empregadas em situações de ensino, bem como parâmetro de análise para investigações sobre as implicações do uso de analogias na Educação em Ciências.

Palavras chave: Analogias. Educação em Ciências. Sistematicidade.

ABSTRACT

This essay is the result of a Master's degree research in Technological Education conducted in the field of studies on the role of analogies in Science Education, in the context of a research line on Educational Practices in Science and Technology. Its research object is the systematicity of analogies as a structural constraint related to the way the sets of relations mapped in each domain are similarly interconnected, so that knowledge about a familiar domain can be inferentially projected onto a unknown or little known domain. The systematicity, therefore, manifests itself in analogies through a matching system of relations mutually connected between the two domains. In this context, this research was oriented from the following research question: *how the systematicity of an analogy can be characterized in order to allow us to use it as a parameter of analysis of its suitability in teaching and research contexts in Sciences Education?* Given this, according to Structure-mapping Theory (SMT), analogies can be understood as comparisons between two domains, the base domain (the familiar) and the target domain (the domain to be explained/understood), in which they prefer the relations between elements and their attributes, and the higher order relations, in order to confer *structural consistency*, *relational focus* and *systematicity* to the analogies. Thus, the methodological path of this work unfolded in two parallel and complementary sequences: (i) the theoretical one, conducted around the meanings attributed to the concept of systematicity in the context of the SMT, which allowed the development of an algorithm capable of estimating systematicity factors for each correspondence to be mapped in the structural analyzes, which was incorporated into a web system called Structure-mapping System for Analogies (MAPES System), conceived in this research from a set of methodological orientations and symbolic notations for the representation of correspondences during the structural mapping of analogies; and (ii) the empirical one, which, after the development of the algorithm, culminated in the structural analysis of five comparisons taken as analogies for teaching the dynamics of reactions in chemical balance, and in the content analysis of the discussion transcripts promoted in two focus groups consisting of teachers of Chemistry, which allowed us to raise their opinions, ideas and perceptions about the use of analogies generally in science teaching, and, in particular, about the five comparisons for teaching Chemical Balance. The results of the investigation allowed the characterization of systematicity as a structural constraint capable of influencing teachers' choices by rich and comprehensive analogies to be explored in teaching situations, as well as an analysis parameter for investigations on the implications of the use of analogies in Science Education.

Key words: Analogies. Science Education. Systematicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Espaço de similaridade definido pelo grau de semelhança dos predicados atributos de objetos e pelo grau de semelhança relacional. 27

Figura 2 – Processo de derivação sufixal nominal da palavra *System*/Sistema 40

Figura 3 – Representação esquemática da distinção estrutural sobre abstração e sistematicidade..... 45

Figura 4 – Representação parcial da analogia entre o Sistema Solar e o átomo do elemento hidrogênio, mostrando o conhecimento presumido de uma pessoa sobre Sistema Solar e o mapeamento desse conhecimento para a estrutura do átomo. 47

Figura 5 – Representação mais detalhada do domínio base da analogia de Rutherford. . 49

Figura 6 – Percurso metodológico da pesquisa. 52

Figura 7 – Fluxo de realização dos grupos focais. 57

Figura 8 – Mapa conceitual da dinâmica das reações em equilíbrio químico. 66

Figura 9 – Esquema representante da abrangência das relações não concatenadas R3, R5, R6 e R9 – Estrutura Relacional Comum da Comparação M 73

Figura 10 – Expressões de concatenamento que compõem a Estrutura Relacional Comum da Comparação M. 79

Figura 11 – Fluxograma do funcionamento do Sistema MAPES..... 83

Figura 12 – Tela Principal do Sistema MAPES..... 84

Figura 13 – Mapeamento estrutural da Comparação M a partir do MAPES 85

Figura 14 – Tela de listagem das relações cadastradas para estabelecimento de relação. 90

Figura 15 – Restrição de estabelecimento de relação entre um Elemento e seu Atributo. 91

Figura 16 – Projeto de Banco de Dados do Sistema MAPES..... 92

Figura 17 – Representação gráfica da Estrutura Relacional do Domínio Alvo. 100

Figura 18 – Representação gráfica da simetria entre relações constituintes do Domínio Alvo: a dinâmica e as implicações de sistemas reacionais em equilíbrio químico. 101

Figura 19 – Estrutura Relacional do Domínio Alvo 102

Figura 20 – Projeção do Espectro de Sistematicidade do Domínio Alvo 103

Figura 21 – Estrutura Relacional Comum da Comparação/Analogia A 108

Figura 22 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Analogia A. 109

Figura 23 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia A. 110

Figura 24 – Espectro de Sistematicidade da Comparação A 114

Figura 25 – Estrutura Relacional Comum da Analogia B 119

Figura 26 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Analogia B. 120

Figura 27 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia B. 121

Figura 28 – Espectro de Sistematicidade da Analogia B 125

Figura 29 – Ilustrações da Comparação C: (a) configuração inicial das latas de lixo; (b) configuração final 126

Figura 30 – Estrutura Relacional Comum da Analogia C 130

Figura 31 – Representação gráfica da Estrutura Relacional da Analogia C 131

Figura 32 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia C 132

Figura 33 – Espectro de Sistematicidade da Analogia C 135

Figura 34 – Ilustração empregada na Comparação D. 136

Figura 35 – (Esq) Representação para o estado de equilíbrio químico em forma semelhante à de uma equação química para o sistema $I2 + H2 \rightleftharpoons 2\ HI$. (Dir) Representação do estado de equilíbrio químico para o sistema $CO2 + NO \rightleftharpoons CO + NO2$, evidenciando a concepção de reagentes e produtos em recipientes separados 140

Figura 36 – Estrutura Relacional Comum da Analogia D 141

Figura 37 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Analogia D 142

Figura 38 - Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia D 143

Figura 39 – Espectro de Sistematicidade da Analogia D..... 146

Figura 40 – Estrutura Relacional Comum da Comparação E 151

Figura 41 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Comparação E 152

Figura 42 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Comparação E..... 153

Figura 43 – Espectros de Sistematicidade do Domínio Alvo e da Comparação E..... 156

Figura 44 – Abrangências das comparações analisadas sobre os conceitos associados ao equilíbrio químico das reações apresentados no Quadro 12 159

Figura 45 – Espectros de Sistematicidade do DA e demais comparações em escala 1:5000 162

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de predicados mapeados em diferentes tipos de comparações 25

Quadro 2 – Paralelo entre os três tipos de restrições descritas por Holyoak e Thagard (1989) e os três princípios que caracterizam as analogias de Gentner e Markman (1997).....30

Quadro 3 – Sinais gráficos adotados na transcrição das interações discursivas ocorridas nos grupos focais. 58

Quadro 4 – Categorias de análise dos dados empíricos.....61

Quadro 5 – Domínios bases e referências bibliográficas das comparações potencialmente analógicas sobre a dinâmica das reações químicas em equilíbrio escolhidas para análise.....63

Quadro 6 – Simbologia utilizada na construção das representações gráficas dos domínios. 67

Quadro 7 – Mapeamento da comparação M da tese de doutorado de Ferry (2016).....71

Quadro 8 – Relação dos fatores de sistematicidade da Comparação M, de Ferry (2016), calculados para as correspondências mapeadas.....78

Quadro 9 – Tipologia de correspondências mapeadas e notações simbólicas empregadas nas representações das correspondências.....80

Quadro 10 – Adaptação para nova notação das relações de ordem superior.....82

Quadro 11 – Relação dos ícones funcionais do MAPES e suas funcionalidades.....87

Quadro 12 – Quadro conceitual: composição estrutural do domínio alvo das analogias relacionada aos conceitos que permeiam a dinâmica das reações em equilíbrio químico.....97

Quadro 13 – Projeção dos Fatores de Sistematicidade das relações mapeáveis no domínio alvo das comparações em estudo.....103

Quadro 14 – Mapeamento estrutural da Comparação A. 104

Quadro 15 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia A frente aos valores projetados sobre o domínio alvo.....113

Quadro 16 – Mapeamento estrutural da Comparação B 115

Quadro 17 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia B frente aos valores projetados sobre o domínio alvo. 124

Quadro 18 – Mapeamento estrutural da Comparação C 126

Quadro 19 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia C frente aos valores projetos para o domínio alvo. 134

Quadro 20 – Mapeamento estrutural da Comparação D 136

Quadro 21 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia D frente aos valores projetos para o domínio alvo 145

Quadro 22 – Mapeamento estrutural da Comparação E 147

Quadro 23 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Comparação E frente aos valores projetados para o domínio alvo 155

LISTA DE ABREVIAÇÕES E SIGLAS

CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
CEP	Conselho de Ética em Pesquisa
CONEP	Comissão Nacional de Ética em Pesquisa
DA	Domínio Alvo
DB	Domínio Base
EDUCITEC	Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico
EPTNM	Educação Profissional e Técnica de Nível Médio
ERC	Estrutura Relacional Comum
GEMATEC	Grupo de Estudos em Metáforas, Modelos e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência
IFAM	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas
MAPES	Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
TME	Teoria do Mapeamento de Estruturas

LISTA DE SÍMBOLOS

Nos mapeamentos estruturais

$\xleftrightarrow{E_n}$	Correspondências entre elementos (E)
$\xleftrightarrow{A_n}$	Correspondências entre atributos (A)
$\xleftrightarrow{r_n}$	Correspondências entre relações de primeira ordem, isto é, de menor complexidade (r)
$\xleftrightarrow{{}^{nh}R_n}$	Correspondências entre relações de segunda ordem ou de ordem superior, isto é, de maior complexidade (R)
$\xleftrightarrow{\times}$	Limitação da comparação; diferença alinhável.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 18

1.1. Justificativa e Adequação à Linha de Pesquisa 21

1.2. Panorama da Dissertação 22

2. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 24

2.1. Teoria do Mapeamento de Estruturas 24

2.2. Analogias na Educação em Ciências 33

3. CONSTRUTO TEÓRICO 37

3.1. As Concepções da Sistematicidade 37

3.2. A estrutura morfológica da palavra sistematicidade e sua origem 37

3.3. Analogias como sistemas 40

3.4. A Sistematicidade no contexto da Teoria do Mapeamento de Estrutura (TME) 42

4. METODOLOGIA 52

4.1. Levantamento e análise de dados 54

4.1.1. Os cuidados éticos da pesquisa 54

4.1.2. A escolha dos sujeitos de pesquisa 55

4.1.3. A realização dos grupos focais 55

4.1.4. Metodologia de transcrição das interações discursivas nos grupos focais 58

4.1.5. Metodologia de análise dos dados 59

4.2. As analogias sobre Equilíbrio Químico escolhidas para análise 63

4.2.1. Mapeamento do domínio alvo: Equilíbrio Químico 64

4.2.2. Representação gráfica dos domínios 67

4.3. Análise da sistematicidade das analogias 68

4.3.1. Análise da sistematicidade das analogias 73

4.4. MAPES – Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias 80

4.4.1. Desenvolvimento do Sistema MAPES 83

4.4.2. A base de dados do Sistema MAPES 91

4.4.3. Codificação do Sistema MAPES 93

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 94

5.1. O ensino de Equilíbrio Químico 94

5.2. Análise unilateral do domínio alvo: Equilíbrio Químico 97

5.3. As análises das Comparações 104

5.3.1. Comparação A 104
5.3.1.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia A a partir da análise estrutural e dos grupos focais 110
5.3.1.2. A sistematicidade da Analogia A 113
5.3.2. Comparação B 115
5.3.2.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia B a partir da análise estrutural e dos grupos focais 121
5.3.2.2. A sistematicidade da Analogia B 123
5.3.3. Comparação C 126
5.3.3.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia C a partir da análise estrutural e dos grupos focais 132
5.3.3.2. A sistematicidade da Analogia C 133
5.3.4. Comparação D 136
5.3.4.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia D a partir da análise estrutural e dos grupos focais 143
5.3.4.2. A sistematicidade da Analogia D 145
5.3.5. Comparação E 147
5.3.5.1. Potencialidades e Fragilidades da Comparação E a partir da análise estrutural e dos grupos focais 153
5.3.5.2. A sistematicidade da Comparação E 155
5.4. Análise comparativa da sistematicidade das comparações 157
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 166
REFERÊNCIAS 175
Apêndice I – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido 180
Apêndice II – Roteiro dos Grupos Focais 183
Apêndice III – Questionário de Avaliação do Grupo Focal 188
Apêndice IV - Categorização das falas dos grupos focais 189
Apêndice V – Declaração de Anuência 220
Anexo I – Comparação A 221
Anexo II – Comparação B 222
Anexo III – Comparação C 223
Anexo IV – Comparação D 224

Anexo V – Comparação E **225**

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa que originou a presente dissertação foi conduzida no campo de estudos sobre o papel das analogias na Educação em Ciências, no contexto da linha de pesquisa sobre práticas educativas em Ciência e Tecnologia, do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Inserida nesse campo, o seu objeto de investigação é a sistematicidade das analogias enquanto aspecto estrutural relacionado à forma como os conjuntos de relações mapeadas em cada domínio comparado encontram-se semelhantemente interconectados, de modo que o conhecimento sobre um domínio familiar possa ser projetado, inferencialmente, sobre um domínio desconhecido ou pouco conhecido.

Nesse contexto, o objetivo geral desta pesquisa foi contribuir para uma melhor compreensão da sistematicidade, característica estrutural de uma analogia segundo a Teoria do Mapeamento de Estruturas, como fator que favorece a identificação das potencialidades inferenciais de uma comparação. Assim, a partir de uma pesquisa essencialmente teórica com complementação empírica, este trabalho perseguiu a seguinte questão: *como a sistematicidade de uma analogia pode ser caracterizada a fim de nos permitir usá-la como parâmetro de análise de sua adequação em contextos de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências?*

Portanto, dividimos o percurso metodológico em duas sequências paralelas e complementares, uma teórica e a outra empírica. A sequência teórica foi norteada pela questão: *como a sistematicidade é concebida no contexto da Teoria do Mapeamento de Estruturas?*

A sequência empírica foi orientada a partir de quatro questões: (1ª) *como comparar diferentes analogias construídas a partir do mesmo domínio alvo do ponto de vista de sua sistematicidade e como avaliá-las?;* (2ª) *como a sistematicidade, entendida como um aspecto estrutural das comparações, influenciaria ou atuaria sobre as escolhas de professores de Ciências a respeito de analogias a serem empregadas como recurso mediacional?;* (3ª) *quais parâmetros seriam úteis para avaliar o poder inferencial de uma*

analogia?; e (4ª) *como as limitações e as diferenças alinháveis se relacionam com a sistematicidade das analogias?*

Para responder a primeira questão, recorremos à interpretação do termo *sistematicidade* no contexto da Teoria do Mapeamento de Estruturas e nos apoiamos em diversos trabalhos, principalmente os desenvolvidos na perspectiva da Teoria Geral dos Sistemas, que nos permitiu minimizar os equívocos relativos ao entendimento desse termo no contexto de nosso referencial teórico. Os resultados dessa análise estão apresentados, principalmente, no capítulo 2, dedicado a apresentar a nosso referencial teórico e revisão bibliográfica, no qual pudemos contextualizar as analogias como recurso de mediação didática para o ensino de Ciências, e no capítulo 3, dedicado a apresentar um construto teórico, no qual apresentamos as concepções da sistematicidade.

Os estudos que fizemos sobre a Teoria do Mapeamento de Estruturas e a Teoria Geral dos Sistemas nos levaram a propor um algoritmo matemático capaz de estimar, quantitativamente, a sistematicidade de uma analogia a partir do estabelecimento de fatores de sistematicidade dos predicados relacionais em correspondência entre os dois domínios comparados. O algoritmo está apresentado no capítulo 4, dedicado a descrever a metodologia empregada em nossa investigação. Nesse capítulo, demonstramos o funcionamento desse algoritmo associado ao desenvolvimento de um sistema informatizado para o mapeamento estrutural de analogias, denominado Sistema MAPES, bem como sua leitura analítica, a partir de demonstrações proposicionais e exemplificações aplicadas à análise de uma comparação feita na tese de doutorado de Ferry (2016).

Guiados pela busca das respostas para nossas outras três questões, apresentamos todo o percurso metodológico de análise, estrutural e empírica, de cinco comparações que culminou nos resultados dessa pesquisa. Além disso, por falta de uma ferramenta tecnológica capaz de nos auxiliar no processo de análise das comparações examinadas nesta pesquisa, desenvolvemos exclusivamente para nossas análises o Sistema MAPES que foi concebido para auxiliar o processo de mapeamento estrutural das analogias segundo orientações de Ferry (2018) e favorecer a leitura dos aspectos estruturais das analogias. O desenvolvimento do Sistema MAPES gerou a publicação de um artigo no periódico intitulado *Educitec – Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, do

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), que foi publicado em novembro de 2018.

Visto que uma nova metodologia de avaliação da sistematicidade das analogias carecia de uma confirmação consistente de sua aplicabilidade no contexto de pesquisa, partimos para uma investigação empírica mediada por dois grupos focais, onde solicitamos a professores experientes de Química que analisassem e avaliassem cinco comparações, encontradas em livros didáticos de Química ou em artigos científicos, desenvolvidas para o ensino de Equilíbrio Químico. Dos grupos focais, extraímos falas importantes que constituiu parte do *corpus* de análise deste trabalho e nos permitiu compará-las com a análise estrutural realizada nas mesmas cinco comparações por meio do Sistema MAPES. A sistematicidade foi o principal parâmetro da investigação comparativa das análises que, embora não fosse a única característica manifesta como critério de avaliação positiva das comparações, se apresentou como fator importante no processo de escolha dos professores dentre as analogias estudadas.

Em nossas considerações acerca dos resultados obtidos, apresentamos nossas percepções finais sobre os resultados da pesquisa resgatando as respostas encontradas para as questões que nortearam este trabalho, assim como as contribuições e implicações do trabalho para a pesquisa na Educação em Ciências, as limitações encontradas durante a pesquisa e os possíveis desdobramentos futuros que este trabalho pode seguir.

Consideramos importante lembrar que todos os cuidados éticos foram tomados a fim de apresentar uma pesquisa íntegra e idônea que garantiu todos os direitos dos participantes da pesquisa, principalmente suas liberdades individuais e os anonimatos, além de preservar suas dignidades perante os procedimentos realizados durante o levantamento e análise dos dados aqui apresentados.

A pesquisa foi desenvolvida na interseção entre a Teoria do Mapeamento de Estruturas, fundamentada e construída no campo da psicologia cognitiva, e os estudos de aplicação de analogias como recurso mediacional nos processos de compartilhamento e construção de significados em torno de conceitos, modelos e teorias da ciência escolar.

A Teoria do Mapeamento de Estruturas foi desenvolvida com base em estudos que buscavam diferenciar comparações entre domínios e seu principal objetivo era compreender os processos de raciocínio analógico ocorrentes e manifestos durante a

interpretação de uma comparação. A partir daí, observa-se o processo de mapeamento que consiste num alinhamento de similaridades presentes entre duas situações representadas. A teoria propõe então, diferenciar algumas comparações, principalmente analogias de similaridades literais. Gentner (1983) afirma que a distinção entre uma analogia e uma similaridade literal é um *continuum* e não uma dicotomia. Para essa autora, uma analogia estaria focada em apresentar alto grau de semelhança relacional e baixo grau de semelhança entre aspectos descritivos dos elementos mapeáveis nos dois domínios; já uma similaridade literal envolveria alto grau de semelhanças relacionais e de semelhanças entre atributos.

Embora a Teoria do Mapeamento de Estruturas se proponha a discutir e diferenciar os aspectos dos vários tipos de comparação, esta pesquisa se concentrou em dar ênfase nas analogias que, segundo Gentner (*idem*), apresenta três características estruturais: (1ª) consistência estrutural, observada a partir da correspondência um-a-um e da conectividade em paralelo dos predicados relacionais; (2ª) foco relacional, onde se privilegia o mapeamento de semelhanças relacionais entre os dois domínios; e (3ª) a observância do Princípio de Sistematicidade, que se manifesta na existência de um sistema de relações mutuamente conectadas comum, mapeado do domínio base para o alvo.

Estreitando nosso campo de pesquisa a partir da percepção da influência inferida por Gentner e seus colaborados, durante os anos de pesquisa nessa área, sobre o poder inferencial de analogias altamente sistemáticas, buscamos investigar a sistematicidade como um fator objetivo para análise, tendo como referencial metodológico as orientações para o mapeamento estrutural segundo Ferry (2016, 2018) e Ferry e Paula (2015, 2017). Esta pesquisa, portanto, teve como um dos objetivos específicos apresentar um forma de análise estrutural da sistematicidade, um pouco mais consistente, apresentada por uma analogia e analisar o modo como essa sistematicidade poderia determinar as escolhas de professores entre diferentes analogias concebidas em torno de um mesmo domínio alvo.

1.1. Justificativa e Adequação à Linha de Pesquisa

Como veremos adiante, segundo Gentner e Colhoun (2010), o mapeamento, processo cognitivo realizado ao se interpretar uma comparação, é o "coração" da analogia,

por isso tem sido o foco central das pesquisas neste campo. Assim, é essencial para a evolução do campo propor estudos que otimizem esse processo e favoreça o desenvolvimento de novas ferramentas de análise, como as notações de Ferry (2018), capazes de facilitar a identificação e compreensão das potencialidades e fragilidades de uma analogia a partir de suas características estruturais. Desta forma, esta pesquisa se justifica a partir da necessidade de aprimoramento de técnicas, ferramentas e metodologias que otimizem os processos de estruturação e análise do mapeamento de estruturas para uma melhor compreensão de suas características.

Ademais, entendemos que Educação Tecnológica, tema central do programa em que este trabalho foi desenvolvido, apesar de assumir diversos significados, trata-se de uma educação articulada para, sobre e mediada por tecnologia. Diante disso, consideramos que o tema da presente pesquisa que foi desenvolvida dentro da linha intitulada "Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia" do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG, constitui-se como objeto de interesse da linha, pois apresenta aspectos metodológicos por meio de uma nova ferramenta de análise que nos permite conceber a educação tecnológica como uma prática educativa em Ciência e Tecnologia possível.

1.2. Panorama da Dissertação

A presente dissertação foi dividida em seis capítulos. Neste primeiro capítulo, resgatamos nossa questão de pesquisa apresentando os percursos que culminaram nos resultados deste trabalho. Contextualizamos o nosso objeto de estudo e justificamos sua importância dento do campo em que se encontra.

No segundo capítulo, apresentamos o referencial teórico e uma revisão da literatura onde apresentamos o desenvolvimento da Teoria do Mapeamento de Estruturas juntamente com os estudos desenvolvidos a partir dessa teoria e discutimos alguns aspectos da literatura que trata do uso de analogias no ensino de Ciências.

O terceiro capítulo, nosso construto teórico, discutimos sobre os significados da sistematicidade na Teoria do Mapeamento de Estruturas, buscamos suporte na linguística que nos ofereceu ferramentas etimológicas, morfológicas e históricas da constituição do termo, recorremos à Teoria Geral dos Sistemas que nos ofereceu subsídios para a

compreensão semântica e contextual da sistematicidade e, o mais relevante, procuramos aplicar todos as informações levantadas nessa área na Teoria do Mapeamento de Estruturas.

No capítulo 4, dedicado à metodologia da investigação, apresentamos o percurso metodológico desde o planejamento até a análise dos resultados. Neste capítulo, o leitor poderá compreender como a pesquisa foi organizada e executada a partir de dois caminhos, o estrutural técnico que começa com a proposta de um algoritmo para análise da sistematicidade e termina com as análises estruturais das comparações a partir do mapeamento estrutural com incremento dessa análise, e o planejamento, organização e execução dos grupos focais com professores de Química que analisaram as comparações a partir de seus conhecimentos e práticas relacionadas ao ensino de Equilíbrio Químico. Além disso, este capítulo apresenta com detalhes o desenvolvimento do Sistema MAPES que foi uma ferramenta crucial para a realização das análises.

No quinto capítulo, apresentamos os resultados das análises estrutural e empírica das cinco analogias estudadas nesta pesquisa, bem como as discussões realizadas sobre os dados gerados tanto na análise estrutural das comparações quanto na análise de conteúdo das transcrições produzidas por meio dos grupos focais.

No sexto e último capítulo, apresentamos nossas considerações finais acerca dos resultados obtidos das diversas etapas de levantamento e análise de dados que culminou na conclusão desta pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A nossa investigação parte do pressuposto que o estabelecimento de comparações, nomeadamente as analogias, faz parte da cognição humana e, como tal, se constitui como um recurso para a compreensão do novo a partir de conhecimentos prévios que apresentam estruturas semelhantes.

Em seus estudos, a professora doutora Dedre Gentner, do Departamento de Psicologia da *Northwestern University*. uma pesquisadora proeminente no estudo do raciocínio analógico, buscou demonstrar como uma comparação pode ser interpretada por um indivíduo e quais processos cognitivos ocorrem durante essa interpretação (GENTNER, 1981, 1983; GENTNER e TOUPIN, 1986; GENTNER e MARKMAN, 1997). Gentner (1983) nomeia esse processo de mapeamento de estruturas, o que dá origem à Teoria do Mapeamento de Estruturas, o principal referencial teórico desta pesquisa.

2.1. Teoria do Mapeamento de Estruturas

A partir da Teoria do Mapeamento de Estruturas (TME), compreendemos as analogias como comparações entre dois domínios, um base e um alvo, nas quais privilegiam-se as relações entre elementos (originalmente chamados de objetos) e seus atributos, e as relações de ordem superior, que impõem restrições a relações de ordem inferior, de forma que a analogia "A é como a B" define o mapeamento de B para/em A. Nesse sentido, A passa a ser chamado de alvo desde que esse domínio seja explicado, e B passa a ser chamado de base, desde que sirva como recurso de conhecimento. Com isso, é desenvolvida, por Dedre Gentner, em 1983, e aprimorada por Gentner e Markman (1997), a *Structure-mapping Theory* (Teoria do Mapeamento de Estruturas). Essa teoria surgiu dentro da Psicologia Cognitiva e buscava diferenciar as analogias das similaridades literais e outras comparações por meio do alinhamento de conhecimentos sobre o domínio base no domínio alvo, o qual foi denominado mapeamento de estruturas (GENTNER, 1983).

As analogias também são vistas como um mapeamento entre duas situações representadas, de modo que uma estrutura relacional comum é alinhada (Gentner, 1983;

Gentner e Markman, 1997; Holyoak, Gentner e Kokinov, 2001 *apud* Gentner e Bowdle, 2008). Desta forma, no contexto dessa pesquisa, podemos observar que as analogias são apresentadas a partir de várias perspectivas.

Apesar de a TME dar ênfase às analogias e diferenciá-las das similaridades literais, outros tipos de comparação (abstração, mera aparência e anomalia) são discutidos durante a construção da teoria que apresenta características que nos permitem distingui-las. Portanto, para iniciar nossa explanação das analogias, observamos que, segundo Gentner (1983), uma analogia é uma comparação na qual predicados relacionais, porém poucos ou nenhum atributo de elemento, podem ser mapeados da base para o alvo. As analogias, portanto, ainda segundo Gentner (*idem*), assumem regras de interpretação que podem ser distinguidas das outras formas de comparação de domínios, onde a sistematicidade dos predicados compartilhados *versus* os não compartilhados determina se uma comparação em particular é considerada como analogia, como similaridade literal ou como a aplicação de uma abstração. O Quadro 1 nos apresenta uma forma de distinção dessas diferenças entre os tipos de comparação.

Quadro 1 – Tipos de predicados mapeados em diferentes tipos de comparações

	Nº de atributos mapeados para o alvo	**Nº de relações mapeadas para o alvo**	**Exemplo**
Similaridade literal	muitos	muitos	O sistema solar K5 é como o nosso sistema solar.
Analogia	poucos	muitos	O átomo é como o nosso sistema solar.
Abstração*	poucos	muitos	O átomo de Bohr é um sistema de força central.
Anomalia**	poucos	poucos	O átomo é como a Via Láctea.
Mera aparência	muitos	nenhum	O girassol é como o sol / O símbolo do infinito é um 8 deitado

*Abstração diferem de analogias e outras comparações em apresentar poucos atributos de elementos no domínio base, assim como apresenta poucos atributos de elementos no domínio alvo.
** O exemplo apresentado para uma anomalia está diferente do texto original.

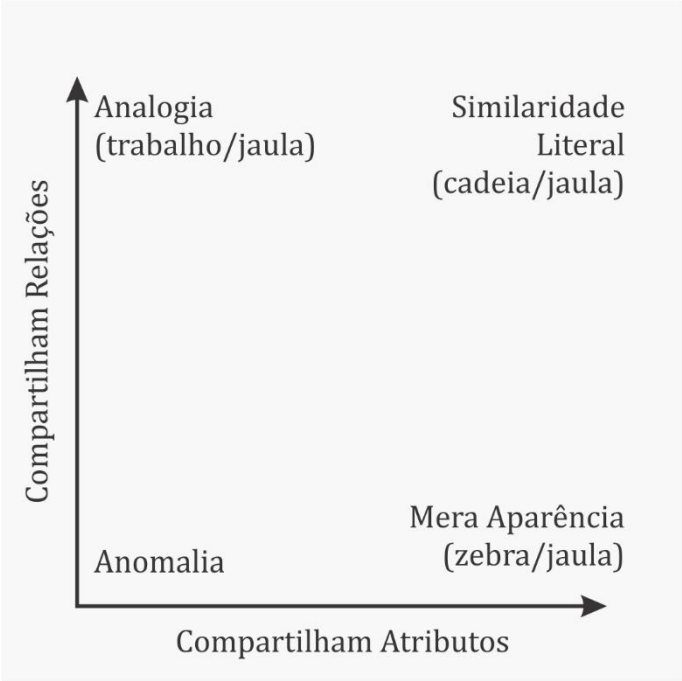
Fonte: Gentner (1983, p. 161), tradução livre – Adaptado pelo Autor (2019)

Podemos observar que, segundo o Quadro 1, para diferenciar uma comparação no contexto da Teoria do Mapeamento de Estruturas, é necessário olhar para a quantidade de predicados possíveis de serem mapeados do domínio base para o alvo. Além disso, a autora apresenta dois tipos de predicados: os atributos de objetos, como predicados descritos dos elementos que compõem as estruturas dos domínios comparados, e as relações, como predicados relacionais entre esses elementos, seus atributos ou até

mesmo entre outras relações de ordem estrutural, menos complexas. Com isso, podemos dizer que: (a) uma similaridade literal estabelece uma comparação em que um grande número de predicados é mapeado da base pro alvo, relativo ao número de predicados não mapeados, de modo que os mapeados incluem tanto os relacionais, quanto os atributos de objetos; (b) uma analogia estabelece uma comparação em que muitos predicados relacionais são mapeados da base para o alvo, mas com poucos predicados descritivos; (c) a abstração é uma comparação na qual a base é uma estrutura relacional abstrata. Tal estrutura se pareceria com a exceção de que os nós de objetos seriam entidades físicas generalizadas, e não objetos particulares como "sol" e "planeta", assim como as analogias, apresenta muitos predicados relacionais mapeados da base para o alvo e poucos atributos; (d) uma comparação com nenhuma sobreposição de atributos ou sobreposição relacional é simplesmente uma anomalia; (e) por fim, ao contrário das comparações consideradas até o momento, as comparações por mera aparência não envolvem mapeamentos relacionais, mas apenas correspondências entre os predicados descritivos de objetos/elementos, isto é, entre os seus atributos, como forma, tamanho, cor etc (GENTNER, 1983).

A Figura 1 apresenta representação gráfica do que essa autora chama de “espaço de similaridade”, que nos permite uma visualização das distinções dos tipos de comparação a partir do grau de semelhança dos predicados descritivos dos elementos e do grau de semelhança relacional, ou seja, a frequência dos compartilhamentos de atributos ou relações no mapeamento das estruturas.

Figura 1 – Espaço de similaridade definido pelo grau de semelhança dos predicados atributos de objetos e pelo grau de semelhança relacional.



Fonte: Gentner e Colhoun (2010) adaptado de Gentner e Markman (1997) – tradução livre

O estudo das analogias e outras comparações está fortemente ligado ao mapeamento analógico – um processo que permite um alinhamento estrutural entre duas situações representadas e a projeção de inferências sobre o domínio a ser compreendido (FALKENHAINER, FORBUS e GENTNER, 1989; GENTNER e MARKMAN, 1997; MARKMAN e GENTNER, 1993 *apud* GENTNER e BOWDLE, 2008). Esse mapeamento é o cerne da TME, pois ele modela os processos cognitivos ocorridos durante a interpretação de uma comparação. Gentner e Bowdle (2008), portanto, apresentam o mapeamento como sendo um alinhamento que consiste em um conjunto explícito de correspondências entre a representação de elementos de duas situações, na qual há ênfase nas correspondências relacionais. O alinhamento é condicionado por uma consistência estrutural de modo que se tenha: (1) correspondências um a um entre elementos mapeados na base e no alvo e (2) conectividade em paralelo, em que os argumentos dos predicados relacionais e dos predicados descritivos em um domínio sejam correspondentes aos argumentos similares dos predicados mapeados no outro domínio. Além disso, a seleção dos alinhamentos é determinada pelo princípio de sistematicidade: a correspondência de um sistema de relações conectadas por relações de ordem superior que impõem restrições a relações de

ordem inferior, assim como relações causais são priorizadas no alinhamento com um número igual de correspondências independentes.

Gentner e Markman (1997) apresentam três restrições psicológicas como características fundamentais para considerar uma comparação como uma analogia propriamente dita: (1) a *Consistência Estrutural*, apresentada anteriormente; (2) o *Foco Relacional*, que se refere a uma característica típica das analogias, diferentemente das similaridades de mera aparência, que são focadas em predicados descritivos colocados em correspondência entre os domínios comparados; refere-se também à possibilidade de se mapear relações de primeira ordem e ordem superior, ou seja, relações complexas entre os elementos, atributos e relações de primeira ordem presentes nos dois domínios; e (3) a *Sistematicidade*, que indica a existência de um sistema de relações mutuamente conectadas, em correspondência nos dois domínios, que de certa forma está relacionada ao poder inferencial sobre as relações pouco conhecidas no domínio alvo a partir da interconectividade das relações conhecidas no domínio base.

Diante disso, para uma comparação ser considerada uma analogia, segundo o nosso referencial teórico, seu mapeamento deve apresentar consistência estrutural, foco relacional e sistematicidade.

A sistematicidade, objeto central desta pesquisa e tema do próximo capítulo dessa dissertação, se apresenta como característica importante na construção do mapeamento e, consequentemente, da analogia. Segundo Gentner e Markman (1997), o mapeamento de um conjunto de relações de ordem superior interconectadas que impõem restrições a relações de ordem inferior possibilita uma melhor correspondência analógica do que a mesma quantidade de relações mapeadas, porém desconectadas. Assim, uma vez que o alinhamento é estabelecido, favorece-se a projeção das inferências mais prováveis da base para o alvo (FALKENHAINER *et al.*, 1989 *apud* GENTNER e BOWDLE, 2008). A sistematicidade também orienta a inferência analógica: pessoas não importam fatos randômicos da base para o alvo, em vez disso, projetam inferências que completam o sistema de relações comum (BOWDLE e GENTNER, 1997; CLEMENT e GENTNER 1991 *apud* GENTNER E BOWDLE, 2008).

Ainda no campo da Psicologia Cognitiva, Holyoak e Thagard (1989) apresentam outras três restrições ao raciocínio analógico: isomorfismo, similaridade semântica e

centralidade pragmática. O isomorfismo das enunciações, de forma similar à restrição da consistência estrutural apresentada anteriormente, demanda o estabelecimento e o reconhecimento de correspondências entre elementos e de correspondências entre relações de ambos os domínios comparados; de acordo com essa restrição, o reconhecimento da analogia seria promovido, entre outros fatores, pela similaridade entre as formas dos enunciados referentes a cada domínio. A segunda restrição refere-se à similaridade semântica entre as entidades (elementos, atributos e relações) colocadas em correspondência; pode-se dizer que, de acordo com essa restrição, o raciocínio analógico somente será favorecido se os elementos, os atributos e, principalmente, as relações colocadas em correspondência possuírem significados contextuais semelhantes. A restrição da centralidade pragmática, que está relacionada à adequação da analogia com o seu propósito de aplicação no contexto a ser explorada, favorece correspondências que são pragmaticamente importantes para quem estabelece a analogia. Pode-se dizer que, de acordo com essa terceira restrição, a seleção de um domínio base relevante, bem como dos seus aspectos específicos, é diretamente influenciada pelos objetivos de quem a estabelece, isto é, dos propósitos da analogia.

De acordo com Holyoak e Thagard (1989), a fim de ter utilidade pedagógica e heurística, uma analogia deve satisfazer essas três restrições psicológicas. Em outras palavras, quanto maior for o grau de satisfação de uma analogia sobre esses aspectos estruturais, semânticos e pragmáticos, maior será sua utilidade e potencialidade pedagógica em seu emprego nos contextos de ensino e de aprendizagem. Ferry (2016), faz um paralelo entre as restrições psicológicas enunciadas por Holyaok e Thagard (1989) e Gentner e Markman (1997) que está apresentado o Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Paralelo entre os três tipos de restrições descritas por Holyoak e Thagard (1989) e os três princípios que caracterizam as analogias de Gentner e Markman (1997)

Restrições de Holyoak e Thagard (1989)	Restrições de Gentner e Markman (1997)
Isomorfismo Favorece mapeamentos que satisfazem o critério da consistência estrutural; requer que se uma proposição no alvo corresponde a outra na fonte, os seus argumentos também devem ser correspondentes; requer também que cada elemento do alvo corresponda a somente um elemento da fonte, e que dois elementos do alvo não devem corresponder a um mesmo elemento da fonte.	***Consistência Estrutural*** Enuncia a necessidade de haver uma correspondência um-a-um e a necessidade de haver uma conectividade em paralelo entre os elementos que compõem os domínios da analogia; requer que as relações correspondentes possuam argumentos correspondentes, e a correspondência um a um limita qualquer elemento em um domínio a no máximo um elemento correspondente no outro domínio.
Similaridade semântica Favorece correspondências entre elementos que têm significados semelhantes; as semelhanças entre os objetos em correspondência devem estar condicionadas às semelhanças das relações em correspondência.	
	Sistematicidade Diz que as correspondências entre relações capazes de conectar outras relações estruturais nos domínios da comparação são mais interessantes e significativas para a analogia do que predicados isolados no seu mapeamento.
Centralidade pragmática Favorece correspondências pragmaticamente importantes para quem faz a analogia; o propósito da analogia influencia a seleção de uma fonte relevante e de aspectos específicos dessa fonte no contexto da analogia.	
	Foco relacional O foco de uma analogia deve estar nas relações e não nos atributos dos elementos que constituem cada domínio comparado.

Fonte: Ferry (2016, p. 64)

Embora os estudos sobre analogias tenham alcançado proporções satisfatórias a ponto de nos permitir compreender suas características, esses estudos também têm apontado que as analogias normalmente não apresentam correspondências integrais entre os dois domínios, como vimos anteriormente. É comum a identificação de divergências entre objetos e predicados no processo de mapeamento, as quais são classificadas como diferenças ou limitações.

Diante disso, além das potencialidades das analogias para o ensino, diversos autores desse campo de investigação frequentemente alertam sobre os riscos associados ao uso desse recurso mediacional. Um dos focos de preocupação é o modo como as limitações das analogias são abordadas em sala de aula. Segundo Mozzer e Justi (2015), as limitações de uma analogia podem ser compreendidas como sendo as "características

e propriedades não compartilhadas entre o análogo e o alvo e/ou as condições nas quais a analogia não se aplica". Para essas autoras, o "problema" não seria a existência de limitações inerentes a qualquer comparação, mas a não explicitação das mesmas. Nesse sentido, essas autoras reiteram as orientações de Glynn (1991), e Thiele e Treagust (1994) ao afirmaram que: "as limitações das analogias devem ser exploradas com os estudantes" (MOZZER e JUSTI, 2015, p. 137).

No contexto da Teoria do Mapeamento de Estruturas das comparações, de Gentner (1983), Markman e Gentner (1996) apresentam dois conceitos que, no entendimento do presente trabalho e da proposta de Ferry e Paula (2017), se aproximam, em certa medida, das limitações das analogias. Markman e Gentner (*idem*) trabalham os conceitos nomeados como diferenças alinháveis (*alignable differences*) e diferenças não-alinháveis (*nonalignable differences*). As primeiras estão relacionadas ou conectadas com as correspondências mapeadas entre os domínios comparados, enquanto as não-alinháveis são diferenças que não estão conectadas a tais correspondências de similaridade.

No mapeamento estrutural das comparações, Ferry (2016) distingue as diferenças alinháveis das limitações das analogias. Para o autor, fundamentado na teoria de Gentner (1983), as diferenças alinháveis, como aspectos conectados a correspondências de similaridades, são diferentes das limitações das analogias. Nesse sentido, em seu sistema de notações do mapeamento estrutural, enquanto as diferenças alinháveis são codificadas a partir dos códigos dados às correspondências a que se encontram conectadas, as limitações devem receber códigos inéditos, em função da condição para a qual a analogia não se aplica ou do aspecto para o qual não se encontra correspondente entre os dois domínios.

Em síntese, segundo Ferry (2018), pode haver três tipos de limitações em uma analogia: (1ª) um contexto ou uma condição na qual a analogia não se aplica; (2ª) elementos, características ou relações presentes no domínio alvo que não encontram correspondentes similares no domínio base; e/ou (3ª) elementos, características ou relações presentes no domínio base que não podem ser transpostos para o domínio alvo.

Já destacado neste capítulo, Gentner e Colhoun (2010) apresenta o mapeamento como o "coração" da TME, e foi a partir das enunciações sobre o mapeamento de estruturas que Ferry e Paula (2015, 2017) e Ferry (2016, 2018) propuseram um sistema

de notações para o desenvolvimento analítico do mapeamento estrutural. Tal sistema se configura como uma metodologia de sistematização das correspondências mapeáveis entre dois domínios em uma analogia favorecendo a identificação clara de sua estrutura relacional.

Segundo Ferry (2016), a partir do mapeamento da estrutura relacional de uma analogia, é possível identificar características capazes de revelar suas potencialidades ou fragilidades, por exemplo, como recurso didático para o ensino de conceitos ou modelos científicos. A análise feita a partir do mapeamento estrutural também nos permite categorizar o tipo de comparação em questão.

De acordo com Gentner e Kurtz (2006), a partir do mapeamento de uma analogia é possível conceber sua estrutura relacional comum. De acordo com a Teoria do Mapeamento das Estruturas das comparações, a efetividade de uma relação analógica depende, principalmente, do tamanho e da profundidade da estrutura relacional comum de uma analogia (GENTNER, 1983; GENTNER e MARKMAN, 1997; GENTNER e KURTZ, 2006).

Nesse contexto, Ferry (2016) diz que, embora o conceito de estrutura relacional de uma analogia seja um dos principais termos usados nos trabalhos sobre a Teoria do Mapeamento das Estruturas das comparações, a definição desse termo não aparece formalmente em nenhum desses trabalhos. Contudo, Gentner (1983) afirma que uma analogia pode ser representada por uma "estrutura na qual um predicado relacional de ordem superior rege as conexões entre os predicados de ordem inferior" (p. 162). Ferry (*idem*), ao citar essa afirmação da autora, também diz que tal concepção, aliada às restrições da consistência estrutural, do foco relacional e da sistematicidade das analogias nos permite conceber o conceito de estrutura relacional comum como um "conjunto de relações concatenadas que, uma vez presentes nos dois domínios, representa a estrutura de uma analogia" (FERRY, 2016, p. 58).

Dessa forma, Ferry (2016) propõe, a partir da codificação do sistema de notações simbólicas elaborado para representar as correspondências identificadas no mapeamento estrutural de uma analogia, uma forma de representar as estruturas relacionais desse tipo de comparação. Para o autor, a estrutura relacional comum de uma analogia pode ser representada por uma ou mais de uma expressão de concatenamento

das relações mapeadas. Tais expressões são constituídas por letras (R, r, A e E) que indicam a natureza das entidades colocadas em correspondência no mapeamento estrutural, e por outros sinais gráficos (chaves, colchetes e parênteses), típicos de expressões numéricas, que indicam uma espécie de "hierarquização" entre essas entidades e seus respectivos argumentos.

2.2. Analogias na Educação em Ciências

As analogias são um recurso recorrente no ensino de Ciências. Isso se dá pela necessidade de apresentar conceitos normalmente abstratos ou difíceis de serem compartilhados com a realidade cotidiana dos estudantes. Dessa forma, professores comumente buscam construir analogias e/ou outras comparações para explorar os conceitos científicos necessários para a apropriação do conhecimento nessa área. Dado esse contexto e a importância das analogias no ensino de Ciências, a nossa investigação também foi conduzida no sentido de compreender a influência de alguns de seus aspectos estruturais sobre as escolhas que professores de Ciências fazem sobre o uso de analogias como recurso didático.

Embora nosso objeto de estudos esteja inserido numa área mais profunda do campo de estudos sobre analogias, consideramos pertinente apresentar uma breve revisão sobre como as analogias são exploradas em contextos de ensino, uma vez que a sistematicidade tem papel importante nessas constatações. Seguimos, portanto, os mesmos passos de Ferry (2016) em sua tese.

Segundo Ferry (2016), os estudos que buscaram compreender o papel das comparações no ensino de Ciências foram realizados, principalmente, em pesquisa sobre analogias, orientadas a partir de inúmeros enfoques. Segundo esse autor, ainda há poucos trabalhos publicados sobre a construção e utilização de analogias por professores em sala de aula de Ciências. Contudo, alguns autores como: Dagher (1995), Ferraz e Terrazzan (2002), Duarte (2005), Mozzer e Justi (2015) (os principais citados por Ferry, 2016) têm contribuído para a caracterização do campo de estudos das analogias na Educação em Ciências.

Dagher (1995), por exemplo, faz uma revisão dos estudos sobre a efetividade das analogias instrucionais na Educação em Ciências. A autora, ao perceber um crescimento

no consenso entre psicologistas cognitivos de que o raciocínio por analogia é um componente central da cognição humana, buscou compreender como as analogias influenciam na efetividade do ensino de Ciências. Sua revisão foi orientada por três propósitos: (1) revisar estudos que tratam da efetividade de analogias no aprendizado de conceitos científicos; (2) explicar possíveis razões para encontrar e resumir pontos de consenso; e (3) identificar implicações para professores e pesquisadores (DAGHER, 1995).

Em sua conclusão, Dagher (1995) afirma que, segundo os estudos revisados, a aprendizagem significativa através de analogias instrucionais não acontece a partir do uso de uma analogia, mas de como ela é realmente usada (em textos, apresentações ou discussões), por quem, com quem e, consequentemente, como é avaliada. Segundo a autora, é na consideração detalhada da interação de todos esses fatores, e não apenas em alguns deles, que uma compreensão mais clara da contribuição da analogia para a aprendizagem da ciência poderia ser realizada.

Ferraz e Terrazzan (2002) já apontavam um crescente interesse de professores e pesquisadores pelo uso de analogias no ensino de Ciências e que esse interesse seria razoável, já que as analogias fazem parte do processo cognitivo humano e ainda auxiliam na compreensão dos conceitos científicos por aproximarem dois domínios distintos. Contudo, segundo os autores, havia poucos trabalhos que investigavam o uso espontâneo das analogias por professores em sala de aula.

Em sua investigação, Ferraz e Terrazzan (2002) procuraram avaliar se as analogias exploradas por professores em sala de aula coincidiam com as presentes nas coleções didáticas adotadas pelos mesmo. Eles também procuraram entender se os professores construíam analogias em sala espontaneamente ou se havia um planejamento prévio para essa prática.

Em suas conclusões, Ferraz e Terrazzan (2002) apontaram que os professores construíam analogias em sala de aula espontaneamente e que essas analogias eram provenientes de “insight”, da própria criatividade ou do improviso. Apesar dos autores considerarem positiva a exploração de analogias em sala, orientam que o professor deve possuir um conhecimento didático para mediar e reconhecer quais recursos adotados no ensino poderão contribuir para ajudá-lo, a ponto de permitir o uso estruturado de

analogias, considerando as vantagens e desvantagens das estratégias de ensino mediado por esse recurso..

Duarte (2005) buscou oferecer uma contribuição para uma melhor compreensão da utilização de analogias na Educação em Ciências, mas faz primeiro um resgate das origens das analogias e metáforas. Segundo a autora (p. 7), "as primeiras teorias sobre a analogia e a metáfora surgiram na Grécia clássica e são atribuídas a Aristóteles (séc. IV AC), para quem a metáfora era 'a marca dos gênios'". Neste contexto, Resende Filho (2008), ao tratar das analogias no campo da lógica aristotélica, diz que "o vocábulo analogia, tal como se emprega correntemente, significa relação entre duas ou mais coisas que portam algum traço comum", o que não difere do que empregam Gentner e Bowdle (2008) quando resgatam esse conceito dentro da Psicologia Cognitiva em que uma analogia é um mapeamento entre duas situações representadas, em que uma estrutura relacional comum é alinhada. Resende Filho (*idem*) complementa que "em seu sentido próprio, a analogia designa uma identidade de relações, como dizemos em matemática que a/b = c/d", ou seja, apesar das analogias protagonizarem teorias em diversas áreas do saber, seu significado apresenta-se sempre semelhante.

Em sua revisão, Duarte (2005, p. 12) elencou algumas vantagens sobre uso de analogias em salas de aula de Ciências: (a) levam à ativação do raciocínio analógico, organizam a percepção, desenvolvem capacidades cognitivas como a criatividade e a tomada de decisões; (b) tornam o conhecimento científico mais inteligível e plausível, facilitando a compreensão e visualização de conceitos abstratos, podendo promover o interesse dos alunos; (c) constituem um instrumento poderoso e eficaz no processo de facilitar a evolução ou a mudança conceptual; (d) permitem percepcionar, de uma forma mais evidente, eventuais concepções alternativas; e (e) podem ser usadas para avaliar o conhecimento e a compreensão dos alunos.

Por outro lado, Duarte (2005, p. 12) também faz menção a algumas desvantagens sore o uso de analogias: (a) a analogia pode ser interpretada como o conceito em estudo, ou dela serem apenas retidos os detalhes mais evidentes e apelativos, sem se chegar a atingir o que se pretendia; (b) pode não ocorrer um raciocínio analógico que leve à compreensão da analogia; (c) a analogia pode não ser reconhecida como tal, não ficando explícita a sua utilidade; (d) os alunos podem centrar-se nos aspectos positivos da analogia e desvalorizar as suas limitações. Embora a autora apresente os itens como

desvantagens, consideramos se tratar de cuidados que, inclusive, teóricos do campo das analogias já pontuaram a respeito do uso de analogia no ensino.

Duarte (2005), a partir de sua revisão, afirma que há um *corpus* de investigação, teórica e empírica, considerável no que diz respeito à utilização de analogias na Educação em Ciências, mas que é necessário que as analogias neste contexto devam envolver professores e alunos, uma vez que, mesmo com um vasto campo teórico já consolidado sobre o uso de analogias no ensino, pouco se aproveita na prática docente, o que corrobora com preocupação de Ferraz e Terrazzan (2002) sobre o uso apenas espontâneo de analogias em sala sem suporte analítico que permita a exploração desse recurso de forma estruturada.

Ferry (2016) apresentou em sua tese uma revisão que abarca os três trabalhos acima citados. Além deles, o autor também faz críticas ao trabalho de Mozzer e Justi (2015) e aponta algumas limitações que, embora indiquem discussões inadequadas acerca da Teoria do Mapeamento de Estruturas, considera ter contribuído "para a compreensão do papel das analogias na Educação em Ciências ao apresentar, discutir e exemplificar o uso de analogias, tanto em livros didáticos, quanto nas interações discursivas entre professores e estudantes".

Diante das revisões apresentadas neste capítulo, consideramos que as analogias são recursos úteis para favorecer a apropriação dos significados dos conceitos científicos na Educação em Ciências. Vimos que todas as revisões apresentadas apontam certa carência de trabalhos que investigam o uso de analogias por professores em sala de aula, além disso, como Ferraz e Terrazzan (2002) apontam, é necessário que os professores se apropriem dos conhecimentos didáticos sobre as analogias de forma a permitir o uso mais estruturado de analogias em suas práticas pedagógicas.

3. CONSTRUTO TEÓRICO

3.1. As Concepções da Sistematicidade

A sistematicidade, no contexto do estudo de analogias empregado por Dedre Gentner desde a década de 1980, objeto de estudo desta pesquisa, é uma das características estruturais a serem observadas nas analogias. Contudo, antes de tentar entender seus significados contextuais, é necessário que se busque compreender a concepção histórica deste termo e sua estrutura.

Para construção deste capítulo, fomos em busca das origens históricas da palavra sistematicidade, e compreender sua estrutura ortográfica (morfológica). Para tanto, o instrumento utilizado para iniciar essa busca foi o dicionário etimológico da língua portuguesa e da língua inglesa, já que, inicialmente, o principal referencial teórico apresenta o termo em inglês – *Systematicity*. Portanto, entende-se que, para esclarecer as informações apresentadas neste texto ao leitor, a justificativa da tradução do termo é fundamental. Em seguida, buscou-se entender o processo de formação de palavras que originou o termo estudado por meio de pesquisas em livros de Gramática das duas línguas e trabalhos científicos desenvolvidos na área da linguística. Essa etapa foi necessária para, justamente, justificar a tradução de *Systematicity* para Sistematicidade e encerramos a primeira seção com a contextualização histórica do termo. Em seguida , apresentamos as analogias como sistemas segundo a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) de Bertalanffy (2015) para que pudéssemos apresentar as concepções da sistematicidade na Teoria do Mapeamento de Estruturas de Gentner (1983).

3.2. A estrutura morfológica da palavra sistematicidade e sua origem

Em busca do significado da palavra *sistematicidade*, no contexto geral, foram utilizados dicionários das línguas inglesa e portuguesa na tentativa de compreender como o termo é apresentado segundo a sua definição nas duas línguas. Assim, 16 dicionários da língua inglesa, sendo 7 dicionários *online* e 9 impressos, e 18 dicionários da língua portuguesa, sendo 5 *online* e 13 impressos forma consultados. Encontramos em apenas 2 dicionários online – *Oxford Dictionary* e *Wiktionary*, da língua inglesa uma definição para

a palavra *Systematicity* que seria: a qualidade, estado ou condição de ser sistemático[1]. Vimos que, assim como no caso do inglês, apenas 2 dos dicionários *online* da língua portuguesa, *Infopedia* e *Priberam*, apresentaram definições para a palavra sistematicidade, que seria: "qualidade do que é sistemático".

Nos dois casos, nenhum dos demais dicionários, *online* ou impressos, apresentaram definições para o termo. Além disso, com exceção do dicionário de expressões informais da língua inglesa, todos os dicionários apresentaram definições para as palavras *system*/*sistema* e *systematic*/*sistemático* em seus respectivos idiomas. Entende-se assim, que o fato da palavra sistematicidade ter sua definição fortemente ligada à palavra Sistemático pode justificar a baixa frequência do termo nos léxicos[2] das duas línguas.

Segundo VICTÓRIA (1960, p. 728), a palavra sistema, que originou os termos sistêmico e sistematicidade, significa um "conjunto de elementos, materiais ou ideias, entre os quais, se possa encontrar ou definir alguma relação" e tem sua origem em 1810, advinda do francês '*système'*, derivado do latim, '*systema'*, que deriva do grego, '*sustema'*. Já a palavra sistemático, também originária do francês, aparece em 1813. Neste mesmo período, a palavra sistematicidade, aparece em meados do século XIX, onde, segundo o Dicionário Oxford, o uso mais antigo encontrado do termo (na sua forma inglesa), derivado de sistemátic(o) + ~(i)dade, foi durante o *The Musical World*, período musical britânico do século XIX, classificado por Richard Kitson (1996) como um proeminente período denominado: *The Musical World: um registro semanal de ciência, literatura e inteligência musical*, que fora publicado semanalmente em Londres de 1836 a 1865.

A palavra *Systematicity* é originária da derivação sufixal *Systematic* + -*ity*, sendo *Systemátic* algo que tenha sido cuidadosamente planejado, ou ainda, coisas que são ordenadas e eficientes (VOCABULARY). Já o sufixo -*ity*, segundo o ONLINE ETYMOLOGY DICTIONARY, é um elemento formador de palavras que transforma adjetivos em substantivos abstratos e dá o sentido de condição ou qualidade de ser[3], neste caso,

[1] Texto original: The quality or condition of being systematic; systematicness (OXFORD DICTIONARY) ou The state or quality of being systematic (WIKTIONARY)
[2] Conjunto de palavras de uma língua (TERRA, 2017, p. 54)
[3] O sufixo –*ity* do inglês é comumente comparado ao sufixo –*ness*, já que apresentam similaridades no processo de formação de palavras, para reforçar o significado atribuído à um substantivo terminado em –*ity* e –*ness*, Hamawand (2011, p. 14) cita o seguinte exemplo: "In The brutalness/brutality of Jill's remarks

sistemático. Porém, Riddle (1985 *apud* HAMAWAND, 2011, p. 14) acrescenta que o sufixo –*ity* tende a denotar entidades abstratas ou concretas. Arndt-Lappe (2014, p. 16) complementa que nas palavras terminadas em –*ity*, "se a descrição do significado contiver as palavras 'propriedade', 'qualidade', 'estado' ou 'condição', a derivação foi codificada para ser claramente transparente"[4].

Nesse mesmo sentido, o termo *sistematicidade* é um substantivo abstrato, produto da derivação sufixal do adjetivo *Sistemático* mais o sufixo –*dade*. O adjetivo *sistemático*, segundo o Dicionário Aurélio, significa "algo relativo a, ou que segue um sistema; algo que é ordenado, metódico". Já o sufixo –*dade*, de acordo com Terra (2017, p. 62), é um elemento utilizado para formar substantivos por meio de adjetivos. Sarmento (2000, p. 571) reitera que as palavras derivadas terminadas em –*dade* apresentam sentido de qualidade ou estado. Contudo, Simões (2009, p. 54-59) apresenta uma série de significados para o sufixo –*dade* baseados em informações retiradas de diversos dicionários da língua portuguesa:

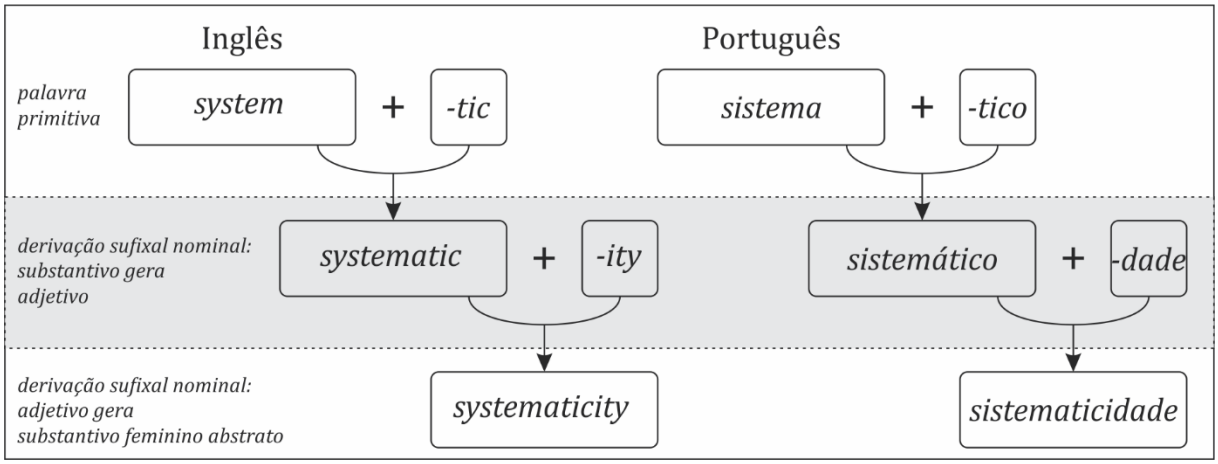
> "Desta forma, ao analisarmos as concepções que os dicionários (mesmo os estrangeiros) apresentam acerca do valor semântico do sufixo –dade, percebe-se que este carrega os sentidos de "qualidade abstrata"; "estado"; "condição"; "característica"; "atributo"; "essência"; "existência de um estado qualquer"; "admiração"; "apreço"; "amor"; "ato efetivo"; "efeito", "ideia de ação realizada"; "coleção", [...]" (SIMÕES, 2009, p. 58)

Vimos então, que a palavra Sistema e sua expressão correspondente do inglês, *System*, sofre dois processos de derivação sufixal nominal para originar o termo sistematicidade como demonstrado na Figura 2.

shocked us, [...]"A forma nominal que termina em –*ness* enfoca a natureza brutal das próprias observações, enquanto a forma nominal que termina em –*ity* se concentra em seu enunciado como sendo brutal.

[4] Texto original: *If the meaning description contained the words 'property', 'quality', 'state', or 'condition', the derivative was coded to be 'clearly transparent'*. (ARNDT-LAPPE, 2014, p. 16)

Figura 2 – Processo de derivação sufixal nominal da palavra *System*/Sistema



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Respaldados pela apresentação de informações sobre a estrutura e significado da palavra *systematicity*, podemos afirmar que a palavra *sistematicidade* é sua expressão correspondente na língua portuguesa. Assim, neste trabalho, ao se tratar do objeto de estudo desta pesquisa, recorreremos somente ao termo *sistematicidade*.

3.3. Analogias como sistemas

Antes de discorrer sobre a sistematicidade das analogias, concordamos que é necessário apresentar as analogias como sistemas organizados, pois, do ponto de vista lógico, apenas sistemas podem apresentar sistematicidade. Para tanto, recorremos à Teoria Geral dos Sistemas (TGS), desenvolvida principalmente, mas não exclusivamente, pelo biólogo austríaco, Ludwig von Bertalanffy, na primeira metade do século XX. Essa teoria nos forneceu argumentos que nos permitiram tratar as analogias, a partir das suas principais características, como sistemas.

Segundo Motta (1971), a TGS surgiu a partir da necessidade que alguns ramos do conhecimento, estranhos uns aos outros pela especialização extrema, levantaram em buscar bases comuns. O autor ainda indaga se esse novo movimento partiu da necessidade crescente de estudos interdisciplinares, capazes de analisar a realidade de ângulos diversos e complementares, ou da comunicação muito mais rápida e fácil entre especialistas em campos diferentes que teria começado a tomar consciência de que uma série de princípios desenvolvidos nos diversos ramos do conhecimento científico não passavam de mera duplicação de esforços, pois outras ciências já os havia desenvolvido.

Bertalanffy (2015) apresenta cinco motivos para justificar o desenvolvimento de uma teoria geral: (i) o crescente campo de estudos nos campos biológico, comportamental e social que instigou o desafio de lidar com fatores que estavam inseridos em áreas e problemas onde a aplicação da Física não era suficiente ou viável; (ii) a ausência de conceitos como organização, diretividade, teleologia, etc., no sistema clássico da ciência; (iii) a ineficiência da ciência clássica em resolver problemas multivariados; (iv) a ausência de ferramentas conceituais adequadas que sirvam à explicação e à predição nos campos da Biologia e das ciências comportamentais e sociais; e (v) a necessidade da expansão da ciência e introdução de novos modelos conceituais para lidar com aspectos fora da Física.

A TGS trouxe para o campo das ciências a quebra do paradigma do pensamento cartesiano, mecanicista. Ao questionar o olhar que as ciências imprimiam aos seus objetos de forma isolada, essa teoria propôs o olhar para o todo de forma a privilegiar, principalmente, as relações de interdependência. Essa corrente filosófica ficou conhecida como Pensamento Sistêmico que, segundo Gomes *et al*. (2014), teve sua origem no Movimento Romântico do final do século XVIII. O Pensamento Sistêmico se manifestou como antítese do mecanicismo cartesiano, propondo abordagens científicas mais gerais e menos fragmentadas.

Essa nova forma de observar o objeto de estudo ganhou força principalmente nas ciências sociais. Contudo, a área da educação, no Brasil, especificamente, não conseguiu incorporar facilmente esse pensamento, tanto que nos nossos modelos educacionais ainda impera o ensino tradicional e fragmentado. Morin (2003, p. 13, 14) ao criticar esse modelo afirmando que "a hiperespecialização impede de ver o global (que ela fragmenta em parcelas), bem como o essencial (que ela dilui), ora os problemas essenciais nunca são parceláveis, e os problemas globais são cada vez mais essenciais", nos leva a compreender o papel de uma abordagem mais sistemática nos processos de ensino e aprendizagem. Morin, em "A Cabeça Bem Feita", critica duramente a constituição curricular da escola. Para ele, a fragmentação do conteúdo é prejudicial à formação de uma sociedade que forma cidadãos menos capacitados a lidar com os problemas que, com a evolução tecnológica e a expansão das fronteiras territoriais, sociais e psicológicas, tornam-se mais complexos.

Diante do que foi minimamente exposto, entendemos que a TGS traz diversas contribuições para a compreensão sistêmica dos objetos observáveis e isso nos permite

conceber as analogias a partir do conceito de sistema que, segundo Bertalanffy (2015), não permaneceu na sua esfera teórica, mas se tornou central em certos campos da ciência aplicada.

Segundo Bertalanffy (*idem*), um sistema é um todo complexo organizado, composto por partes, denominadas subsistemas, que se relacionam de forma interdependente a contribuir para uma equifinalidade[5]. Portanto, ao apresentar as analogias como comparações que apresentam consistência estrutural, foco relacional e sistematicidade, Gentner (1983) nos autoriza a conceber as analogias como sistemas de conceitos, uma vez que essas comparações se organizam a partir de elementos e seus atributos (partes objetivas do sistema) e as complexas relações (partes subjetivas do sistema), estabelecidas no interior do que a autora chama de "sistema de relações mutuamente conectadas onde relações de ordem superior impõem restrições às relações de ordens mais baixas" (GENTNER, 1983, GENTNER e MARKMAN, 1997).

Consideramos importante ressaltar que buscamos na TGS um suporte na compreensão do que seria sistematicidade, afim de diversificar nossas fontes conceituais e enriquecer essa pesquisa com uma interpretação coerente, para que os possíveis equívocos fossem minimizados no decorrer do desenvolvimento deste trabalho. A seguir, discutimos a sistematicidade das analogias a partir da Teoria do Mapeamento de Estruturas, proposta por Gentner (1983) e ampliada em Gentner e Markman (1997).

3.4. A Sistematicidade no contexto da Teoria do Mapeamento de Estrutura (TME)

A TME foi desenvolvida no campo da Psicologia Cognitiva e publicada na revista científica *Cognitive Science,* em 1983, por Dedre Gentner, com a proposta de descrever a estruturação do raciocínio construído a partir da interpretação de uma analogia dada como o mapeamento do conhecimento de um domínio (domínio base) em outro (domínio alvo) seguindo regras específicas (GENTNER e TOUPIN, 1986).

Para a formulação dessa teoria, Gentner descreve o processo cognitivo desenvolvido na interpretação de uma analogia demonstrando em esquemas gráficos que

[5] Alcance de um mesmo estado final do sistema, mesmo que as condições no percurso mudem ou são indeterminadas (BERTALANFFY, 1950)

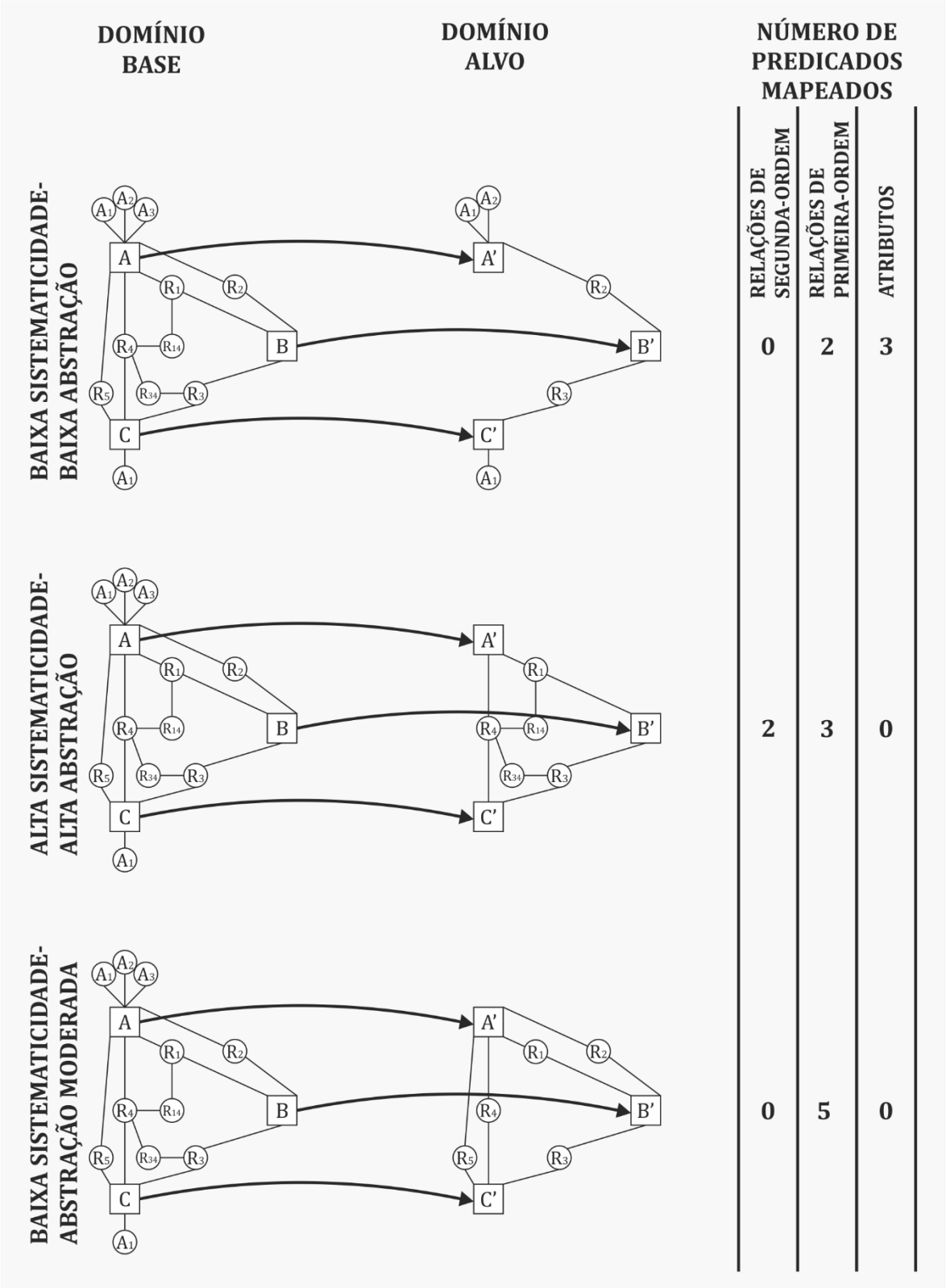
serão explorados neste capítulo. É importante deixar claro que, quando Gentner (1981) afirma que nas analogias os objetos do domínio conhecido são mapeados nos objetos do domínio investigado, entendemos que a esse processo se denomina o mapeamento de estrutura das analogias, ou seja, trata-se do processo cognitivo de transferir um conhecimento familiar, do domínio base, para o domínio alvo a partir do conhecimento a ser investigado. Portanto, ao nos referir ao mapeamento de estrutura neste capítulo, estaremos nos referindo ao raciocínio realizado no transporte de conhecimento de um domínio para outro e nas relações estabelecidas entre os componentes de cada domínico e suas respectivas correspondências, e não aos esquemas propriamente ditos ou às notações para o mapeamento estrutural desenvolvidas por Ferry e Paula (2015, p. 4-5; 2017, p. 35), Ferry (2016, p. 79; 2018, p. 111-112) ou, ainda, ao método de sistematização de uma analogia descrito em Mozzer e Justi (2009, p. 4). A essas estruturações, daremos atenção no capítulo 4 desta dissertação.

Gentner (1981) inicia fazendo observações sobre as naturezas das analogias que despertam o raciocínio analógico realizado por um indivíduo submetido a pensar sobre uma determinada comparação. A autora usa, como exemplo, duas comparações históricas, a analogia terra/navio de Galileu e a analogia apresentada no poema de T. S. Eliot (*The Hollow Men*) – voz/grama seca/pés de rato, para demonstrar dois tipos de analogias: as explanatórias que é o caso da analogia de Galileu (que explanam ou predizem conceitos) e as expressivas que é o caso do poema de T. S. Eliot, (que invocam ou descrevem conceitos). Ainda segundo Gentner (1981), as analogias explanatórias se diferem das expressivas pelos seguintes aspectos: maior especificidade do domínio base; maior claridade; melhor abstração; melhor riqueza; e maior sistematicidade. Em suma, 4 características de analogias são fundamentais para a análise de uma comparação: (1) claridade – o quão rigorosamente o mapeamento é especificado; (2) riqueza – quantos predicados são mapeados para cada "nó" do domínio alvo; (3) abstração – de qual ordem são os predicados mapeados; e (4) sistematicidade – o quanto os predicados mapeados são restringidos pelos outros. (GENTER, 1981). Assim, para tratar do objeto desta pesquisa, focaremos apenas na sistematicidade e daremos alguma visibilidade à abstração, já que a mesma é correlacionada ao nosso objeto de estudo como demonstrado na Figura 3 (GENTNER, 1981).

Para uma melhor compreensão do mapeamento de estrutura da analogia, é importante notar que há alguns critérios a serem observados sobre esse processo. Nesse sentido, são apresentas algumas suposições preliminares acerca do mapeamento: (a) os domínios são vistos como sistemas de objetos, atributos dos objetos e relações entre os objetos que devem ser entidades claras dentro da analogia estabelecida; (b) o conhecimento deve ser representado em uma rede de nós e predicados; (c) a primeira distinção sintática a ser observada deve ser entre os atributos dos objetos e seus relacionamentos, ou seja, os atributos são predicado que tomam apenas um argumento e as relações são predicados que tomam dois ou mais argumentos; (d) a segunda distinção sintática é entre predicados de primeira ordem, ou seja, relação que possuem apenas objetos e atributos como argumentos, e predicados de ordem superior que tomam proposições com argumentos; (e) essas representações são destinadas a refletir o jeito como as pessoas constroem a situação de acordo com o que é mais lógico possível (GENTNER, 1983).

Para esta pesquisa, o que nos importa é focar na sistematicidade como característica percebida nas comparações, as quais chamaremos de analogias. A Figura 3 a seguir apresenta um esquema que demonstra como a sistematicidade pode ser percebida em uma comparação estabelecida entre dois domínios distintos que podem apresentar relações correspondentes.

Figura 3 – Representação esquemática da distinção estrutural sobre abstração e sistematicidade.



Fonte: Gentner (1981, p. 13) – Redesenho Adaptado pelo Autor (2019) (recorte e tradução livre).

Legenda: B – (Domínio Base) nó mapeado de B; **B'** – (Domínio Alvo) nó mapeando de B em B'; $\mathbf{A_n}$ – Atributo do nó; $\mathbf{R_n}$ – relação entre dois nós; $\mathbf{R_{mn}}$ – relação entre duas relações.

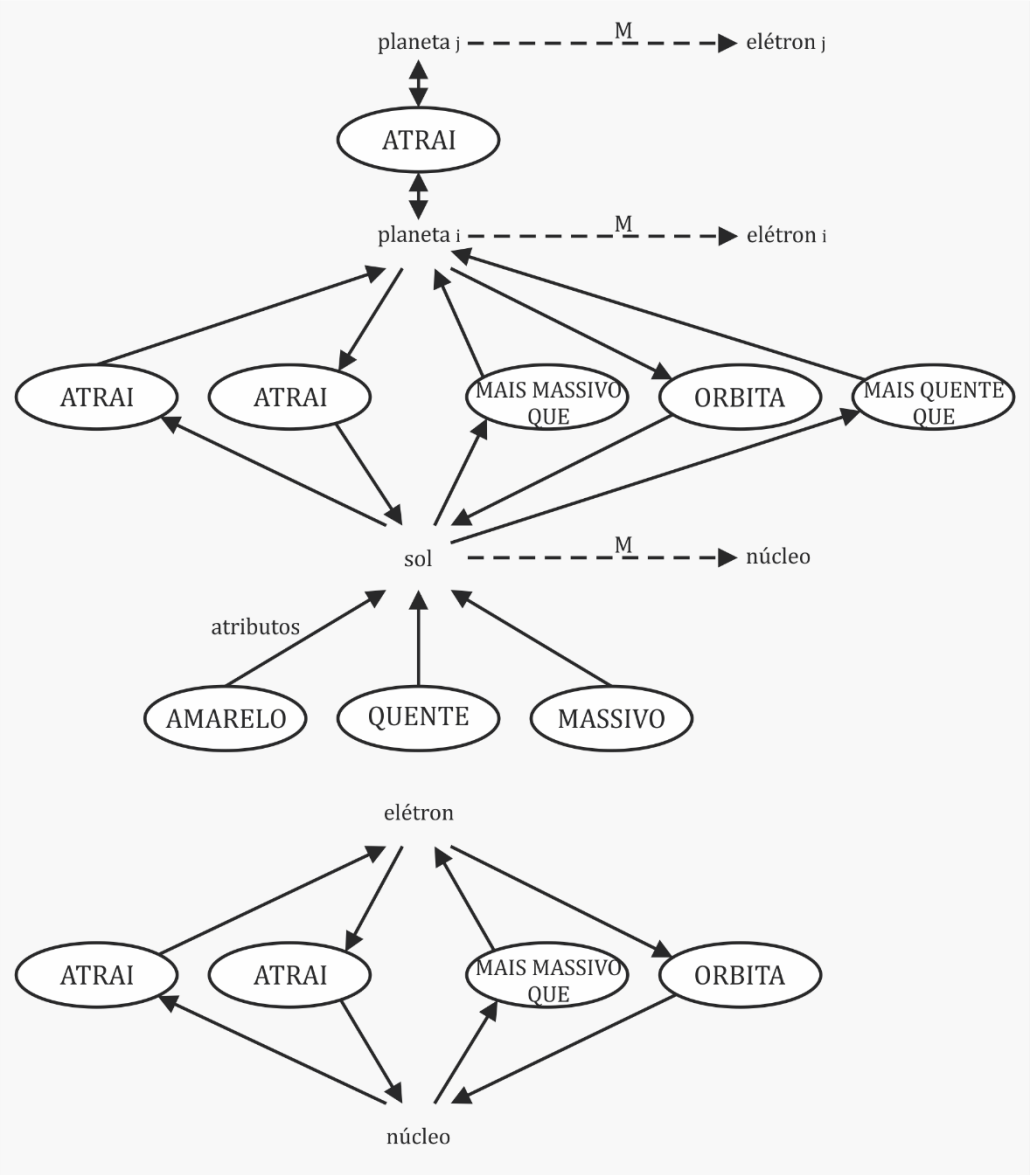
Para Gentner (1981), se uma analogia envolver muitas relações de alto nível, que são muito gerais para fornecer restrições em seus argumentos de nível mais baixo, ela seria abstrata e não sistemática, como demonstrado no terceiro esquema da Figura 3.

A sistematicidade, como pode-se perceber, é dada pelo estabelecimento de correspondência entre relações de relações nos dois domínios, ou seja, quanto maior o número de relações desse tipo ou mais fortemente as relações formam um sistema mútuo de inter-relações entre si, maior ou mais evidente é a sistematicidade. Contudo, essa percepção não é tão clara na prática. De acordo com Tversky (1977 *apud* GENTNER, 1983), a similaridade entre um domínio A e B é grande à medida que há mais correspondências de suas características entre A e B ($A \cap B$) e menos diferenças do tipo ($A - B$) ou ($B - A$). Entendemos, portanto, que as relações entre relações mapeadas na comparação devam estar inclusas no conjunto de similaridades correspondentes ($A \cap B$) e não nos conjuntos de diferenças correspondentes ($A - B$) ou ($B - A$) para que a analogia manifeste alta sistematicidade. A partir disso, podemos inferir que, talvez, as diferenças alinháveis[6] possam influenciar diretamente no grau de sistematicidade de uma analogia.

Notar o sistema de relações mutuamente conectadas pode não ser uma tarefa fácil já que, segundo Gentner (1983), apesar de as relações terem prioridade sobre os atributos dos objetos (elementos) nas analogias, nem todas as relações são igualmente interessantes de se preservar. Para demonstrar isso, a autora cita duas relações de primeira ordem mapeadas em uma mesma analogia, que seriam: "o sol é MAIS MASSIVO que o planeta assim como o núcleo do átomo é MAIS MASSIVO que o elétron" – uma relação relevante para a construção de significados sobre a estrutura dos átomos. Já a relação similar "o sol é MAIS QUENTE que o planeta" não contribui para esse objetivo, uma vez que essa relação não pode ser mapeada no domínio alvo, o átomo, segundo a teoria atômica de Rutherford, como pode ser observado na Figura 4. Compreendemos, assim, que encontrar relações relevantes mapeadas em uma analogia é fundamental para verificar a sistematicidade da mesma.

[6] Aquelas relacionadas à estrutura comum das analogias (GENTNER e MARKMAN, 1994, p. 152).

Figura 4 – Representação parcial da analogia entre o Sistema Solar e o átomo do elemento hidrogênio, mostrando o conhecimento presumido de uma pessoa sobre Sistema Solar e o mapeamento desse conhecimento para a estrutura do átomo.[7]



Fonte: Gentner e Toupin (1986, p. 281) – Redesenhada pelo Autor (2019) (tradução e interpretação livre).

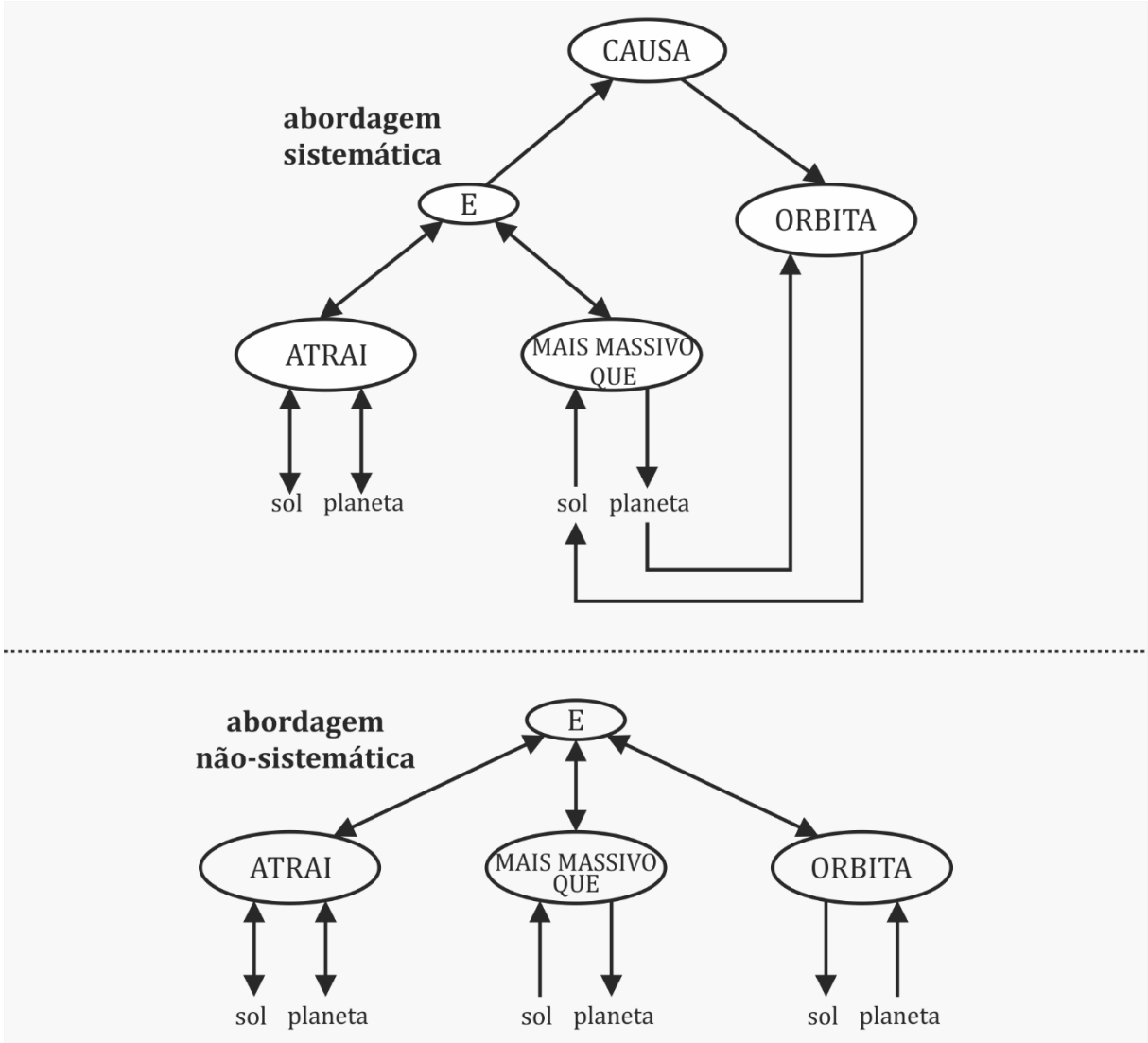
Ao apresentarem a Figura 4, Gentner e Toupin (1986, p. 280) fazem indagações sobre como uma pessoa, ao ouvir pela primeira vez a analogia de Rutherford entre o sistema solar e o átomo, formularia seu raciocínio para transferir seu hipotético

[7] A Figura 4 foi redesenhada, traduzida e interpretada livremente pelo autor desta dissertação, por isso, é importante destacar na figura original, há identificações com as seguintes letras: 'M' (mapping) foi mantida em sua posição original e indica a ocorrência de estabelecimento de correspondência de dos objetos nos dois domínios planeta/elétron e Sol/núcleo; 'S' (source) e 'O' (objetc) que indicam o fluxo da leitura do esquema. Optamos por retirar os indicadores 'S' e 'O' e reorganizar a direção das seta para facilitar a leitura do esquema. O mesmo ocorre na Figura 5, que além desses, apresenta indicadores 'A1', 'A2', ... e 'An' que indicam fluxo bidirecional da leitura.

conhecimento prévio do sistema solar para o átomo. Nessa indagação, as autoras sugerem que essa pessoa pensaria da seguinte forma: (1º) definiria a correspondências entre os objetos dos dois domínios (sol → núcleo e planeta → elétron); (2º) descartariam alguns atributos, como AMARELO (sol); (3º) mapeariam relações, como MAIS MASSIVO QUE (sol, planeta) → MAIS MASSIVO QUE (núcleo, elétron); (4º) observariam a sistematicidade e, a partir dela, descartaria relações isoladas, como MAIS QUENTE QUE (sol, planeta) que não tem, aparentemente, correspondência com o domínio alvo.

De acordo com Gentner e Toupin (1986), as relações particulares mapeadas em uma analogia são determinadas pela sistematicidade definida pela existência de relações de ordem superior formando relações as quais podem ser mapeadas por elas mesmas. Desta maneira, as autoras apresentam a analogia de Rutherford em duas abordagens, uma sistemática e outra não-sistemática, apresentadas na Figura 5, para uma demonstração mais clara de como a sistematicidade pode ser desenvolvida em uma comparação analógica.

Figura 5 – Representação mais detalhada do domínio base da analogia de Rutherford.



Fonte: Gentner e Toupin (1986, p. 283) – Redesenhado pelos Autor (2019) – tradução livre.

Para tal demonstração, as autoras sugerem a suposição de que dois estudantes que são submetidos, pela primeira vez, à analogia de Rutherford, estabeleçam erroneamente a relação MAIS MASSIVO QUE (elétron, núcleo) estando assim, em risco de assumir uma apropriação desse conhecimento de forma imprecisa. Além disso, os dois estudantes mapeariam corretamente a relação de primeira ordem ORBITA ENVOLTA (elétron, núcleo). Em seguida, simulando dois casos diferentes onde um estudante é submetido à uma abordagem sistemática da analogia e o outro à uma abordagem não sistemática:

(1) o estudante que foi submetido à *abordagem sistemática* do domínio base: nessa abordagem é possível notar uma relação de ordem superior causal que pode ser mapeada no domínio alvo, o que poderia levar o estudante a

repensar o erro, verificando que a relação MAIS MASSIVO QUE (elétron, núcleo) está errada, uma vez que a relação de ordem superior CAUSA [MAIS MASSIVO QUE (elétrons, núcleo), ORBITA ENVOLTA (elétron, núcleo)] não corresponderia a CAUSA [MAIS MASSIVO QUE (sol, planeta), ORBITA ENVOLTA (planeta, sol)]. Tendo o estudante conhecimento suficiente sobre o Sistema Solar, um raciocínio analógico poderia ser construído fazendo o transporte dessas relações mapeadas no domínio alvo. Assim, percebendo que no domínio base a relação estaria da seguinte forma - CAUSA [MAIS MASSIVO QUE (sol, planeta), ORBITA ENVOLTA (planeta, sol)], ou seja, o que faz com que o planeta orbite envolta do sol é o fato de que o sol é mais massivo que o planeta.

(2) O estudante que foi submetido à *abordagem não-sistemática* do domínio base: nesse caso não há nada que alerte o estudante ao erro inicial, já que essa abordagem não relaciona a causa do planeta orbitar envolta do sol. Assim, nessa abordagem, o estudante não conseguirá corrigir o erro apenas com a abordagem à que foi submetido.

Dada essa situação, Gentner e Toupin (1986) constatam que a sistematicidade é imprescindível na analogia, pois seu efeito será mais fortemente notado quanto mais difícil for o mapeamento analógico.

De fato, as analogias são um desafio para a cognição, já que, segundo Clement e Gentner (1991), quando se fala em analogias, pensa-se em uma similaridade parcial entre duas situações onde são elencadas, prioritariamente, relações comuns à ambas, contudo, nem sempre uma similaridade parcial pode ser vista como uma analogia e há uma dificuldade em perceber ou estabelecer relações em correspondência nos dois domínios. Talvez seja nesse ponto em que a sistematicidade determinará mutuamente quando o mapeamento analógico fará sentido quando aplicado a uma comparação.

A sistematicidade pode facilitar a exatidão do mapeamento analógico, como é demonstrado em Gentner e Shumacher (1986), Gentner e Toupin (1986) e Shumacher e Gentner (1988), e reafirmado em Clement e Gentner (1991). Um bom exemplo para enxergarmos melhor essa constatação é pensar novamente sobre a situação hipotética dos dois estudantes submetidos à analogia de Rutherford introduzida por Gentner e Toupin (1986) e apresentada anteriormente nesta seção.

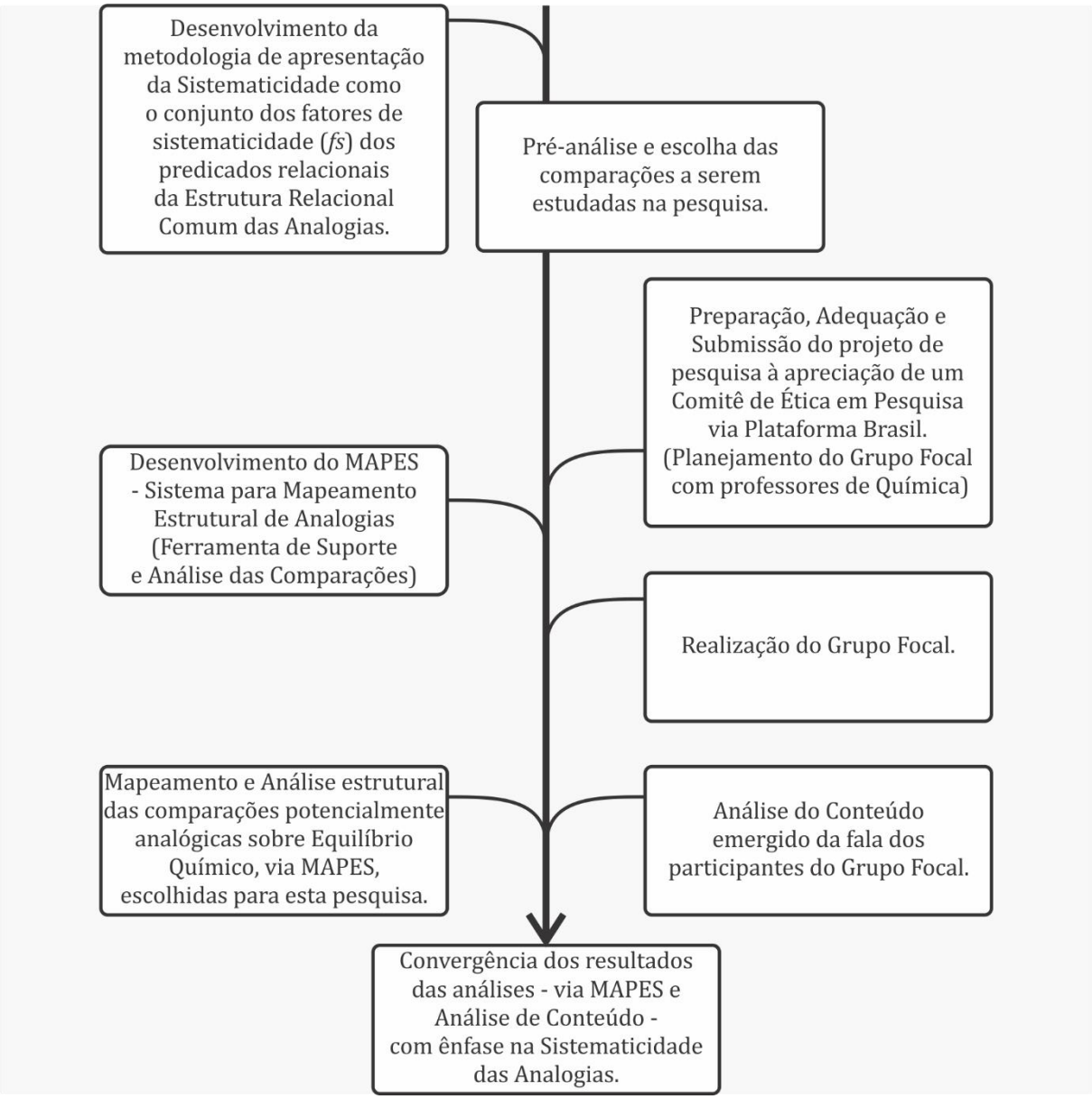
Como podemos constatar e, dado todo o conjunto de argumentos formulados e demonstrados ao longo dos estudos de Gentner e seus colaboradores, a sistematicidade se apresenta como uma importante característica a ser observada nas comparações analógicas e desenvolvida no mapeamento de estruturas, já que é vista como uma regra implícita para bons mapeamentos analógicos (GENTNER e TOUPIN, 1986).

A partir das informações levantadas por meio de nossas interpretações, propomos uma metodologia de análise da sistematicidade baseada num algoritmo matemático capaz de quantificar o potencial sistemático de uma analogia. A metodologia está apresentada, seu desenvolvimento e sua aplicação, nos capítulos a seguir.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir de duas sequências metodológicas paralelas e complementares, como podem ser vistas na Figura 6, que culminam na convergência de seus resultados.

Figura 6 – Percurso metodológico da pesquisa.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A primeira sequência da investigação, teórica, partiu do estudo bibliográfico, cuja discussão está apresentada no capítulo 3 desta dissertação, dos aspectos que

caracterizam a sistematicidade de uma analogia segundo os trabalhos de Gentner. Essa análise nos permitiu propor uma linguagem matemática capaz de mensurar a sistematicidade das analogias por meio da análise estrutural dos predicados relacionais mapeados em correspondência entre os dois domínios. Para demonstrar a análise da sistematicidade, escolhemos cinco comparações potencialmente analógicas[8], encontradas em artigos e livros didáticos, construídas para o ensino de Equilíbrio Químico que foram mapeadas e analisadas com o auxílio do Sistema MAPES que, apesar de ter iniciado seu desenvolvimento em 2016, teve a funcionalidade de análise da sistematicidade implementada durante a construção deste trabalho. Essa análise nos permitiu determinar parâmetros de comparação com fins de visualizar e compreender a estrutura dessas analogias e identificar seu potencial de abrangência em relação ao conteúdo de equilíbrio químico.

A segunda sequência da investigação, empírica, se concretizou pela realização de grupos focais com a participação de professores de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) que foram questionados sobre a prática docente em Química, especialmente sobre o ensino de Equilíbrio Químico e também foram questionados a respeito das cinco comparações sobre equilíbrio químico que tínhamos escolhido para análise da sistematicidade. Essa sequência iniciou-se com a adequação e submissão do projeto de pesquisa, do qual este trabalho se origina, a um Comitê de Ética em Pesquisa, via Plataforma Brasil. No processo de submissão, foi necessário o planejamento da dinâmica de realização dos Grupos Focais. Após a aprovação do projeto, realizamos os Grupos Focais que nos permitiu levantar e analisar os dados, segundo as orientações da Análise de Conteúdo.

Por fim, os resultados das análises foram convergidos com fins de buscar respostas para as questões levantadas e que guiaram os procedimentos deste trabalho. Os processos detalhados de cada sequência estão apresentados neste capítulo, bem como os demais procedimentos metodológicos e ferramentas utilizadas durante a construção da pesquisa.

[8] Embora nosso próprio referencial teórico coloque as analogias como um tipo de comparação e a diferencia de outros como as comparações por mera aparência, as anomalias e as similaridades literais, nos referimos, no decorrer do texto deste capítulo, às comparações potencialmente analógicas aqui analisadas como analogias ou simplesmente como comparações e não nos preocupamos, neste capítulo, em classificá-las como um tipo específico de comparação, embora isso tenha sido feito no capítulo de Resultados e Discussões.

4.1. Levantamento e análise de dados

A investigação empírica desta pesquisa consubstancia sua argumentação através dos dados obtidos com a participação de professores de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) em dois grupos focais, e se propôs a analisar as percepções, ideias e opiniões sobre o uso de analogias em situações de ensino, especificamente, as construídas para o ensino do conteúdo de equilíbrio químico.

4.1.1. Os cuidados éticos da pesquisa

Buscamos cumprir os critérios da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) que exige o acompanhamento de um Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) para assegurar os direitos de liberdade e garantir a dignidade dos sujeitos dentro dos processos de coleta de dados. Sendo assim, o projeto do qual esta pesquisa se origina foi submetido ao CEP, identificado com o CAAE: 98956718.7.0000.8507, via Plataforma Brasil no dia 18 de setembro de 2018, cujo parecer nº: 2.935.064 de aprovação e autorização da pesquisa foi liberado no dia 03 de outubro de 2018.

Para a submissão do projeto, construímos uma série de documentos, por exigência do processo, que contiveram a descrição os aspectos de abrangência da investigação, a descrição da participação dos sujeitos de pesquisa, as autorizações institucionais, os materiais metodológicos de apoio e os roteiros procedimentais.

O documento que comprovou a garantia da liberdade dos sujeitos na participação da pesquisa foi o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE **- Apêndice I**). Neste termo, estão apresentados os objetivos da pesquisa, a metodologia de participação (grupo focal), os riscos e as ações estratégicas para mitigá-los, os benefícios, as informações de consulta legal (resoluções e códigos penais) e os contatos do CEP, responsável pelo acompanhamento da investigação, e dos pesquisadores, para consultas posteriores dos sujeitos, caso entendam como necessário. O TCLE se configurou como documento mais importante deste processo. O termo foi lido antes da realização dos grupos focais e assinado pelos sujeitos, que ficaram, cada um, com uma cópia para si, e pelos pesquisadores, que garantiram serem os únicos a ter contato com o material produzido durante a atividade.

Além do TCLE, foram submetidos ao CEP outros documentos: (i) folha de rosto, gerada pela própria plataforma; (ii) Declaração de Anuência da Instituição onde foi realizado o levantamento de dados; (iii) os currículos dos pesquisadores extraídos da plataforma Lattes/CNPq; (iv) Ficha com as cinco comparações a serem analisadas pelos sujeitos de pesquisa; (v) o parecer de aprovação do projeto de pesquisa emitido pelo colegiado do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica, ao qual esta pesquisa está vinculada; (vi) o texto do projeto em documento separado; e (vii) o roteiro para realização do grupo focal.

Após a apreciação, aprovação e autorização do CEP, foi possível a realização do levantamento de dados junto aos sujeitos de pesquisa.

4.1.2. A escolha dos sujeitos de pesquisa

Tendo em vista a necessidade de uma análise mais profunda das comparações encontradas em livros didáticos de Química e em artigos científicos para fins de compreensão dos aspectos estruturais, buscamos, como sujeitos de pesquisa, professores de Química atuantes que em algum momento de seu exercício tivessem trabalhado com o ensino de Equilíbrio Químico.

O procedimento adotado para a reunião dos grupos focais consistiu na separação dos professores de acordo com sua disponibilidade, pois não foi possível reuni-los em apenas um encontro. Além disso, a decisão de formar dois grupos levou em consideração a possível dificuldade de gerir e tratar os dados produzidos por um grupo focal com muitos professores. Portanto, limitamos a composição dos grupos a 5 professores.

4.1.3. A realização dos grupos focais

Segundo Powell e Single (1996 *apud* GATTI, 2005, p. 7), "um grupo focal 'é um conjunto de pessoas selecionadas e reunidas por pesquisadores para discutir e comentar um tema, que é o objeto de pesquisa, a partir de sua experiência pessoal'", por isso, esse instrumento se apresentou como a ferramenta de coleta de dados mais adequada para os propósitos da investigação, uma vez que, orientados pelas questões norteadoras – (a) *como a sistematicidade, entendida como um aspecto estrutural das comparações, influenciaria ou atuaria sobre as escolhas de professores de Ciências a respeito de analogias a serem empregadas como recurso mediacional?* (b) *quais parâmetros seriam úteis para*

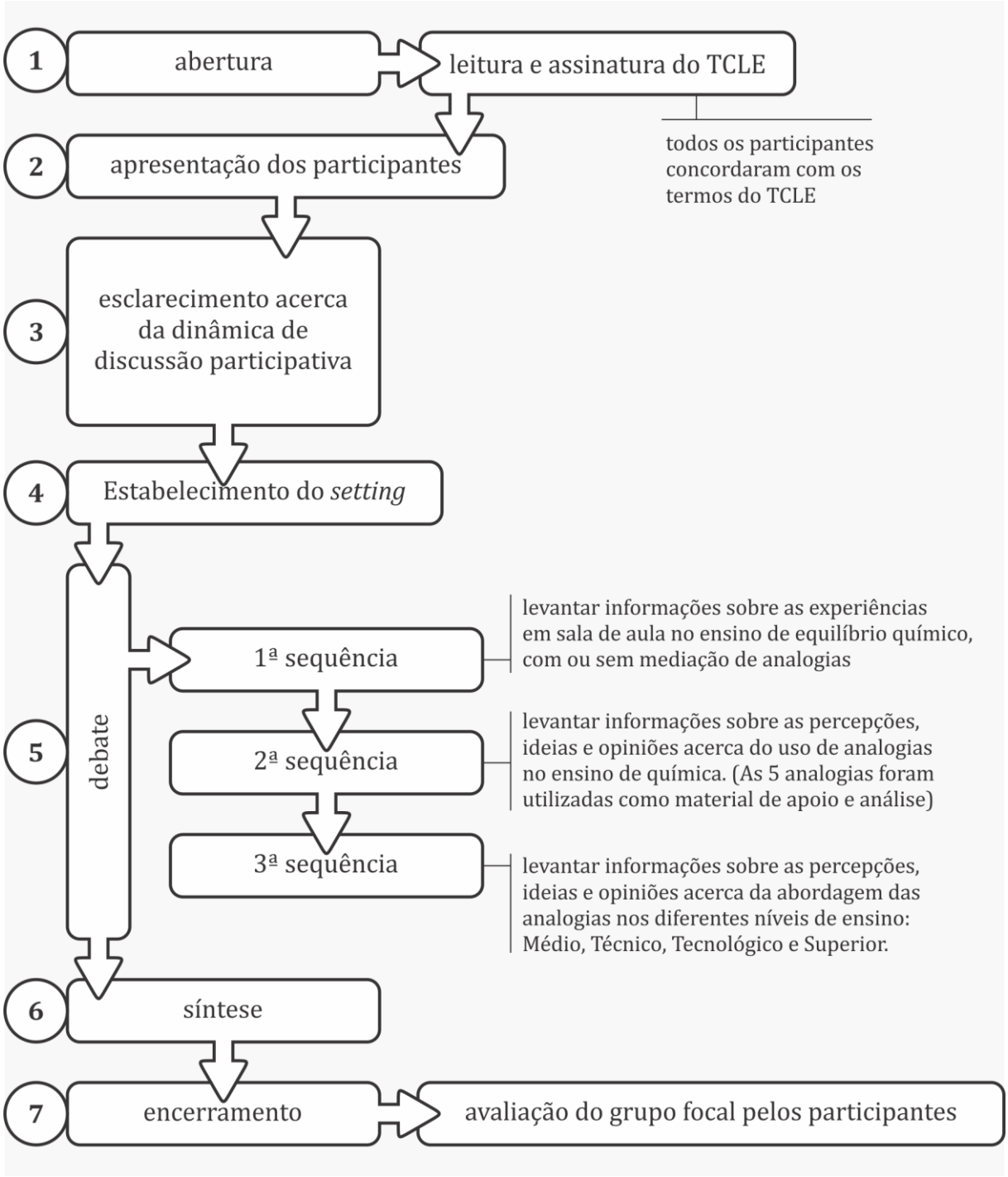
avaliar o poder inferencial de uma analogia?, buscamos compreender as percepções, ideias e opiniões de professores sobre o uso de analogias no ensino de Química, em especial, o conteúdo sobre Equilíbrio Químico. Por esse motivo, foram convidados a participar dos grupos focais 8 (oito) professores de Química distribuídos em dois grupos: o primeiro[9], com 3 participantes e duração de 92 minutos; e o segundo[10], com 5 participantes e duração de 109 min.

Para captação dos dados, nós pesquisadores, organizados como Mediador e Auxiliar/Operador de áudio, usamos os aplicativos de gravação de áudio de dois *smartphones*. Não foi necessária a gravação de vídeo[11], uma vez que as análises decorreram somente do conteúdo emergido da fala empregada pelos professores. Todo o áudio captado foi transcrito em detalhes para posterior análise de dados.

Após a reunião dos grupos[12], os professores receberam, cada um, duas cópias do TCLE, leram e assinaram após tirar dúvidas sobre os termos contidos no documento. Posteriormente, ligamos os gravadores para captura das falas. O mediador fez a abertura apresentando os propósitos da pesquisa e pediu que os participantes se apresentassem para fins de registro, em seguida, listou as diretrizes do funcionamento do grupo focal e, junto aos participantes, definiram algumas regras básicas como respeitar o turno de fala e respeitar o tempo que foi controlado pelo Mediador e o Auxiliar, a fim de facilitar a captura das falas e posterior transcrição. O grupo foi composto por 3 sequências de perguntas, como pode ser visto no **Apêndice II** relacionadas a: (i) experiência na docência; (ii) percepções, ideias e opiniões sobre o uso de analogias em sala, intermediadas pelas analogias analisadas nesta pesquisa; e (iii) percepções, ideias e opiniões sobre o uso de analogias em dois diferentes níveis de ensino, o da Educação Profissional e Técnica de Nível Médio (EPTNM) e o do Ensino Superior. A realização dos grupos focais ocorreu em 7 etapas: abertura, apresentação, esclarecimentos sobre a participação, *setting*[13], debate, síntese e encerramento, como mostra a Figura 7.

[9] Realizado no dia 18 de dezembro de 2018.
[10] Realizado no dia 21 de dezembro de 2018.
[11] A opção de não gravar os vídeos, também, se deu em razão de minimizar qualquer desconforto e constrangimento que os participantes pudessem apresentar durante a realização do grupo.
[12] Ambos realizados em salas nas dependências do Departamento de Química do CEFET-MG, campus I.
[13] Trata-se do momento em que o mediador estabelece regras de organização do andamento da atividade com os participantes como: aspectos relacionados à logística e dinâmica das sessões, pontualidade, horário de término, conversas paralelas, uso de equipamentos eletrônicos, etc. (KINALSKI *et. al.*, 2017).

Figura 7 – Fluxo de realização dos grupos focais.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Após o debate, o mediador, junto com os participantes, fizeram uma síntese sobre os assuntos discutidos. Por fim, o encerramento da atividade contou com a resposta dos participantes a um questionário avaliativo do grupo focal, como pode ser visto no **Apêndice III**.

4.1.4. Metodologia de transcrição das interações discursivas nos grupos focais

Para o processo de transcrição das interações discursivas ocorridas nos grupos focais, registradas em áudio, utilizamos metodologia adaptada dos padrões de transcrição presentes em Ferry (2016). O Quadro 3 apresenta os padrões utilizados para as transcrições das falas captadas durante os grupos focais.

Quadro 3 – Sinais gráficos adotados na transcrição das interações discursivas ocorridas nos grupos focais.

Sinal gráfico	Significado
/	Pausa breve
;	Finalização do turno de fala com aparente conclusão do raciocínio
/;	Finalização do turno de fala sem aparente conclusão do raciocínio
((hh mm' ss”))*	Tempo no áudio de referência da transcrição (**h**, **m** e **s** representam números inteiros e significam, respectivamente, hora, minuto e segundo)
[...]	Trecho inaudível ou irrelevante para a pesquisa
[[...]]	Omissão por categorização – Utilizado para omitir parte consideradas não importantes para a análise.
Participante | |	Fala de outro participante realizada por interrupção
(?)	Sinalização de uma aparente pergunta
(!)	Sinalização de uma aparente afirmação enfática.

(!?)	▪ indagação retórica;
	▪ quando um participante interrompe o falante para:
	  ▪ confirmar a informação dita anteriormente;
	  ▪ retomar algum raciocínio;
	  ▪ ou acompanhar o raciocínio dos demais participantes.

(*)	Indica incerteza na transcrição da palavra (pode ter sido transcrita uma palavra foneticamente similar).
./	Interrupção e/ou reorganização/redirecionamento do raciocínio feito pelo próprio falante.
.../	▪ quando precedido por uma palavra, indica extensão do fonema; ▪ quando precedido de “barra + espaço”, indica que o falante mudou o raciocínio no mesmo turno de fala
/...	Quando um falante é interrompido por um participante, mas continua seu turno de fala logo em seguida.
[sílaba]	Aparece como sílaba alternativa de uma palavra cujo áudio deixou dúvidas sobre a transcrição; a *tag* (indefinido) após o término da palavra será empregada em conjunto com esse sinal gráfico.

{ }	Descrição de aspectos relevantes que não puderam ser captados pelo gravador de áudio, mas que foram registrados em caderno de campo.
[inaudível]	palavra ou trecho não capturada(o) claramente.
* para a hora inicial são apresentados apenas minuto e segundos ((mm' ss"))	

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019) com base em Ferry (2016).

A transcrição dos áudios pode ser consultada no **Apêndice IV** desta dissertação. As partes que apresentam identificação dos participantes foram substituídas pela identificação **Professor A, B, C, ..., H** em cumprimento da garantia do anonimato do sujeito de pesquisa, termo previsto no TCLE.

4.1.5. Metodologia de análise dos dados

A análise dos dados empíricos gerados nos grupos focais, escolhida de acordo com os propósitos desta pesquisa, foi realizada tendo como referencial metodológico os pressupostos e orientações da Análise de Conteúdo. Segundo Bardin (2006), trata-se da reunião de técnicas de análise das comunicações estando em qualquer fonte (textos, imagens, áudios, vídeos, etc.) com a finalidade de obter indicadores quantitativos ou não que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção ou recepção, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição dos conteúdos. Portanto, consideramos que, para extrairmos significados úteis dos dados levantados para este trabalho, esse referencial apresentou-se como adequado para a análise pretendida.

Embora a fonte original dos dados seja gravações de áudios, optamos por transcrevê-los, pois, segundo Bauer e Gaskell (2008), os dados textuais são os mais analisáveis quando submetidos a uma análise de conteúdo.

Urquiza e Marques (2016) apontam que a análise de conteúdo, segundo Bardin (*idem*), segue quatro etapas: (i) organização da análise; (ii) codificação; (iii) categorização; e (iv) tratamento dos resultados, inferência em bruto e interpretação desses resultados.

Ainda segundo Urquiza e Marques (*idem*), a fase da organização se apresenta como uma análise exaustiva do material, sendo composta pelas fases de pré-análise[14], exploração do material, tratamento dos resultados em bruto e interpretação desses resultados.

Nesta pesquisa, a fase de organização da análise ocorreu concomitantemente com a fase de preparação e planejamento dos grupos focais. Não foi necessário realizar na íntegra os procedimentos da organização, uma vez que o material analisado foi produzido pelos pesquisadores que, exaustivamente, ouviram os áudios e o transcreveram de forma sistemática e objetiva, fazendo do documento de transcrição um *corpus*[15] pronto a ser analisado.

Para a codificação, optamos por recostes de trechos e expressões que nos levassem a classificá-los em alguma de nossas categorias (Quadro 4), que emergiram durante o processo de análise dos dados. Esses recostes nos permitiram identificar a nossa unidade de registro, ou seja, o tema. Essa unidade de registro nos guiou a encontrar no material, informações relacionadas às ideias, percepções e opiniões dos participantes acerca do tema estudado: as analogias aplicadas em contextos de ensino de Equilíbrio Químico com vistas para a sistematicidade.

Tomamos o cuidado de sistematizar e objetivar nossas categorias de análise. Para isso, recorremos às cinco regras[16] descritas por Carlomagno e Rocha (2016) para criação e classificação de categorias na análise de conteúdo, a saber: 1 – devem existir regras claras na inclusão e exclusão de categorias; 2 – as categorias precisam ser mutuamente excludentes; 3 – as categorias não podem ser muito amplas, sendo seu conteúdo homogêneo entre si; 4 – as categorias devem contemplar todos os conteúdos possíveis e a categoria "outro" precisa ser residual; e 5 – a classificação deve ser objetiva, não passível de ser codificada de forma diferente a depender a interpretação dos analistas (CARLOMAGNO e ROCHA, 2016). Embora esses autores afirmem que a análise de conteúdo é uma metodologia aplicável apenas a pesquisas quantitativas, já que seu referencial teórico é o norte-americano Lasswell, outros autores como Bardin (2006) e

[14] A pré-análise é composta pelas seguintes etapas: leitura flutuante, escolha dos documentos, formulação dos objetivos, referenciação dos índices e a elaboração dos indicadores e preparação do material (URQUIZA e MARQUES 2016).
[15] Qualquer material textual coletado (MOZZATO e GRZYBOVISKI, 2011, p. 735).

Bauer e Gaskell (2008) apresentam perspectivas de interpretação em abordagens qualitativas de conteúdos analisáveis. Em nossas pesquisas bibliográficas, encontramos três artigos, escritos por Campos (2004), Mozzato e Grzybovski (2011) e Câmara (2013), que abordam a análise de conteúdo do ponto de vista qualitativo, apresentando resultados consistentes em suas conclusões.

Quadro 4 – Categorias de análise dos dados empíricos.

1ª sequência de perguntas do grupo focal		
Categorias	**Subcategorias**	**Finalidade da categoria**
1. Aspectos relacionados às práticas de ensino de Equilíbrio Químico;	1.1. Dificuldades enfrentadas por alunos sobre equilíbrio químico, na percepção do professor; 1.2. Dificuldades em ensinar equilíbrio químico.	Compreender aspectos gerais das práticas de ensino da dinâmica das reações em equilíbrio químico, seja na EPTNM ou no Ensino Superior.
2. Emprego de analogias no ensino de Equilíbrio Químico	2.1. Uso espontâneo, não planejado 2.2. Uso planejado 2.3. Repertório dos professores sobre analogias para equilíbrio químico.	Identificar fatores que levam os professores a estabelecer analogias para ensinar Equilíbrio Químico
2ª sequência de perguntas do grupo focal		
Categorias	**Subcategorias**	**Finalidade da categoria**
1. Critérios de escolha ou rejeição de analogias para uso em sala	1.1 Pontos POSITIVOS das Analogias A, B, C, D e E, na percepção dos professores 1.2 Pontos NEGATIVOS das Analogias A, B, C, D e E, na percepção dos professores	Identificar características das analogias apresentadas ao grupo focal que sinalizam sua escolha ou a rejeição pelos professores.
2. Ressalvas acerca das analogias A, B, C, D ou E, feitas pelos professores	-	Identificar fatores relacionados aos aspectos estruturais das analogias que podem ser percebidos pelos professores como ressalvas a serem feitas em sala de aula.
3ª sequência de perguntas do grupo focal		
Categorias	**Subcategorias**	**Finalidade da categoria**

1. Abordagens das analogias em diferentes níveis de ensino (médio ou superior)	1.1. Diferenças nas abordagens que seriam feitas nos dois níveis de ensino. 1.2. Razões para o emprego das analogias nos dois níveis de ensino	Verificar se haveria diferenças nas abordagens das analogias em função dos níveis de ensino ou da complexidade dos conteúdos a serem ensinados, na percepção dos professores, e se essas diferenças estariam relacionadas com algum aspecto estrutural das analogias.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

O Quadro 4 apresenta sete categorias divididas de acordo com as sequências de perguntas realizadas aos participantes durante os grupos focais. Cada sequência apresentou um objetivo de levantamento específico de informações que nos orientou a definir as categorias acima. Consideramos importante ressaltar que, como nosso olhar para os resultados assume uma abordagem qualitativa, as enumerações[17] foram realizadas de forma subjetiva, uma vez que não focamos em frequências da ocorrência de determinadas palavras, mas sim a quantidade de expressões semanticamente equivalentes cujos significados fossem úteis para nossos propósitos.

O tratamento dos dados passou por duas etapas. A primeira foi a exaustiva classificação das transcrições das interações discursivas segundo as categorias definidas no Quadro 4. Essas classificações foram divididas em (1) visão geral do grupo sobre tema e (2) visão específica de cada professor. No grupo, solicitamos que os professores escolhessem uma ou mais analogias a(s) qual(is) usariam em sala, determinamos, a partir daí, uma análise sobre a comparação escolhida em comum ao grupo e uma análise sobre cada comparação com as potencialidades e fragilidades apontadas por cada professor participante.

A segunda etapa foi relacionar esses resultados com a análise técnica feita por meio do mapeamento estrutural de cada comparação dos livros didáticos, via o sistema MAPES. Com esse mapeamento, conseguimos levantar informações importantes e úteis sobre cada comparação. Nessa fase, o nosso objetivo foi identificar se as comparações mais sofisticadas, do ponto de vista estrutural, foram as mais atraentes ou as que mais agradaram os participantes dos grupos focais.

[17] "[...]o modo de se contar. Por exemplo, pode contar quantas vezes uma palavra aparece nas mensagens, ou, em que posição aparece nos textos do *corpus*, etc." (URQUIZA e MARQUES 2016, p. 120).

4.2. As analogias sobre Equilíbrio Químico escolhidas para análise

Consideramos que o estudo da sistematicidade, a princípio, poderia ser realizado em qualquer contexto de uso e investigação envolvendo analogias. Contudo, considerando os objetos de investigação da linha de pesquisa do Programa de Pós-graduação em Educação Tecnológica do CEFET-MG – Práticas Educativas em Ciência e Tecnologia, na qual a presente pesquisa foi desenvolvida, decidimos buscar analogias empregadas no ensino de Química – a área de formação inicial do orientador da investigação.

Propusemo-nos, portanto, encontrar e analisar, estruturalmente, analogias distintas (com diferentes domínios bases) estabelecidas em livros didáticos de Química para um mesmo domínio alvo, a fim de compará-las, especialmente, a partir das sistematicidades deduzidas por meio das estruturas relacionais comuns.

Dentre os diversos temas ou tópicos de conteúdo da Química explorados no Ensino Médio para os quais a literatura da área (p. ex., Monteiro e Justi, 2000 e Francisco Junior, 2011) indica ser frequente o emprego de analogias, como as teorias atômicas, cinética química, estequiometria e equilíbrio químico, encontramos, para esse último tópico, um número significativo de comparações potencialmente analógicas estabelecidas para um mesmo domínio alvo: a dinâmica das reações químicas em equilíbrio. Dentre essas comparações, escolhemos 5 (cinco) para análise, identificadas nesta dissertação, aleatoriamente, com as letras A, B, C, D e E. Os **Anexo I, II, III, IV e V** apresentam cópias das páginas dos livros didáticos ou artigos de pesquisa nos quais as cinco comparações escolhidas foram encontradas. O Quadro 5 apresenta os domínios bases dessas cinco comparações e as referências bibliográficas nas quais foram encontradas.

Quadro 5 – Domínios bases e referências bibliográficas das comparações potencialmente analógicas sobre a dinâmica das reações químicas em equilíbrio escolhidas para análise.

Código da comparação	Domínio base	Referência bibliográfica
A	Ocupação e desocupação de carros em um estacionamento de shopping	Fonseca (2016)[18]
B	Conservação do volume de água em um tanque por meio da contínua entrada e saída de água	Novais e Antunes (2016)[19]

[18] FONSECA, Martha Reis Marques da. *Química*: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.
[19] NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; ANTUNES, Murilo Tissoni. *Vivá*: química: ensino médio. v. 2. Curitiba: Positivo, 2016.

C	Deslocamento de moscas entre duas lixeiras abertas	Novais e Antunes (2016)
D	Deslocamento de peixes entre dois aquários interconectados	Novais e Antunes (2016)
E	Situação imaginária entre duas cidades vizinhas: uma que pinta e outra que remove a pintura da estrada que as conectam	Raviolo e Garritz (2008)[20]

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

4.2.1. Mapeamento do domínio alvo: Equilíbrio Químico

A fim de proceder a comparação das estruturas relacionais comuns e, posteriormente, das sistematicidades das cinco comparações potencialmente analógicas escolhidas, consideramos necessário levantar os elementos, atributos relevantes e relações que compõem o domínio alvo em comum – a dinâmica das reações em equilíbrio químico.

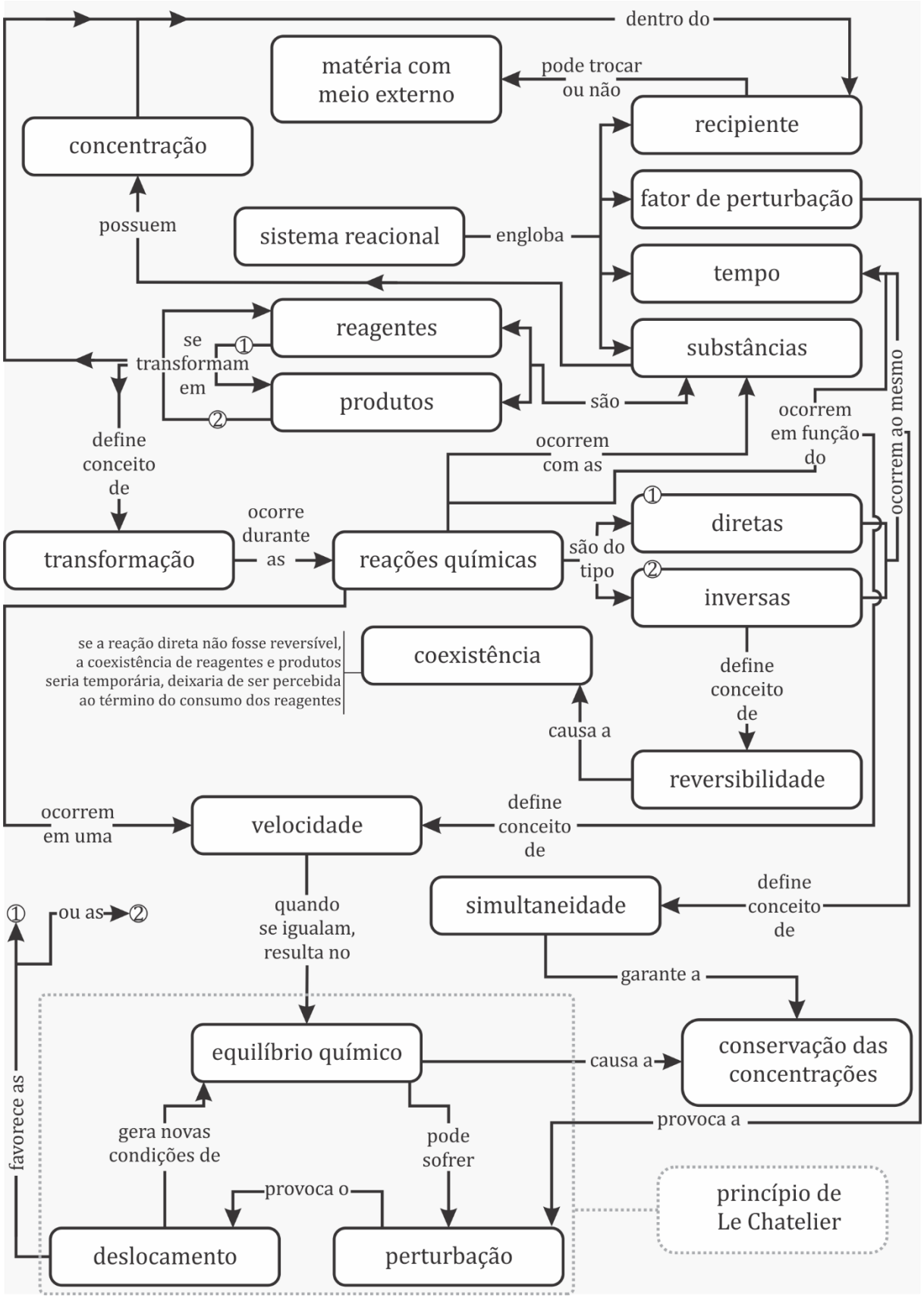
Para tanto, consideramos que o domínio alvo dessas analogias, estabelecidas no contexto do equilíbrio químico, engloba os conceitos de reagentes e produtos (substâncias), sistema reacional, transformação química, reações químicas direta e inversa, a reversibilidade, a simultaneidade e a velocidade das reações químicas, os conceitos de perturbação e de deslocamento do equilíbrio, e os fatores capazes de provocar essa perturbação (alterações da concentração de alguma espécie química participante, aumento ou diminuição da temperatura do sistema reacional, aumento ou diminuição da pressão sobre participantes gasosos) (Brown, LeMay e Bursten, 2005).

A partir desses conceitos relacionados à dinâmica das reações químicas em equilíbrio, elaboramos um quadro com a composição estrutural (elementos, atributos e relações) desse domínio alvo, utilizando as mesmas notações de Ferry (2018). Esse quadro encontra-se apresentado no capítulo dos resultados e discussão desta dissertação. O desenvolvimento do quadro foi orientado pelas relações entre os conceitos que permeiam a dinâmica das reações em equilíbrio e, para que pudéssemos compreender melhor o relacionamento entre esses conceitos, elaboramos um mapa conceitual que é apresentado na Figura 8.

[20] RAVIOLO, Andrés; GARRITZ, Andoni. Analogias no Ensino do Equilíbrio Químico. *Química Nova na Escola*. n. 27, fev 2008.

A organização dos conceitos nos termos do mapeamento estrutural foi útil para que pudéssemos estabelecer um padrão de comparação entre as 5 analogias. Para tanto, seguimos dois critérios importantes: (1º) considerar que todas as analogias foram construídas para ensinar o mesmo domínio alvo, e (2º) construir os mapeamentos a partir da mesma coleção de elementos e predicados relacionais do domínio alvo. Desta forma, conseguimos construir todos os mapeamentos a partir de uma estrutura única do domínio alvo.

Figura 8 – Mapa conceitual da dinâmica das reações em equilíbrio químico.

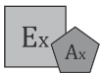
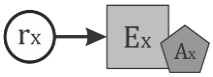
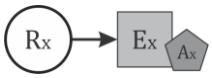
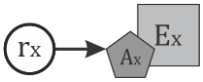
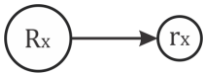


Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

4.2.2. Representação gráfica dos domínios

Para a apresentação dos domínios envolvidos nas analogias, propomos representar graficamente as estruturas relacionais de cada domínio. Utilizamos os seguintes símbolos como representantes dos códigos do sistema de notações para o desenvolvimento de mapeamentos estruturais de Ferry (2018), a fim de nortear a construção das representações apresentado no Quadro 6:

Quadro 6 – Simbologia utilizada na construção das representações gráficas dos domínios.

Simbologia	Significado **
	Elementos – $\mathbf{E_x}$
	Atributos – $\mathbf{A_x}$
	Relação de primeira ordem – $\mathbf{r_n\ (E_x/A_x,\ E_y/A_y,\ ...)}$
	Relação de ordem superior* – $\mathbf{R_x\ (R_m,\ R_n/r_m/E_n/A_m,\ ...)}$
	Atributo $\mathbf{A_x}$ (predicado descritivo do Elemento $\mathbf{E_x}$) – $\mathbf{A_x(E_x)}$
	Replicação de elementos e atributos para melhor organização dos concatenamentos das relações
	Elemento $\mathbf{E_x}$ como argumento da relação de primeira ordem $\mathbf{r_x}$
	O Elemento $\mathbf{E_x}$ é argumento da relação de ordem superior $\mathbf{R_x}$
	O Atributo $\mathbf{A_x}$ do Elemento $\mathbf{E_x}$ é argumento da relação de primeira ordem $\mathbf{r_x}$
	O Atributo $\mathbf{A_x}$ do Elemento $\mathbf{E_x}$ é argumento da relação de ordem superior $\mathbf{R_x}$
	A relação de primeira ordem $\mathbf{r_x}$ é argumento da relação de ordem superior $\mathbf{R_x}$
	A relação de ordem superior $\mathbf{R_y}$ é argumento da relação de ordem superior $\mathbf{R_x}$
*Embora no mapeamento tenhamos apontado o nível hierárquico das relações de ordem superior, optamos por não assinalar essa forma na representação estrutural gráfica, uma vez que o objetivo é uma	

apresentação meramente visual das estruturas mapeadas e sua abrangência das correspondências entre os domínios sem fins de análise profunda das características estruturais das comparações. ** O significado das codificações das entidades apresentadas nessa coluna estão expressos no Quadro 9 desta dissertação.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019).

4.3. Análise da sistematicidade das analogias

Para o desenvolvimento de um mecanismo que determina um valor para o grau de sistematicidade das analogias, seguimos os conceitos de Gentner e Toupin (1983) acerca do princípio da sistematicidade, que emerge de um sistema de relações referentes a uma estrutura de predicados mutuamente conectados em que predicados de ordem superior impõe restrições entre os predicados de ordem inferior.

Consideramos apropriado considerar, portanto, que é possível deduzir que a sistematicidade das analogias possa ser observada a partir da análise das relações de ordem superior mapeadas em correspondência entre os dois domínios e que é possível determinar um conjunto de valores que represente a sistematicidade de uma analogia a partir da estrutura relacional comum que, segundo Ferry (2016), é composta pelo conjunto das relações de ordem superior não concatenadas a outras relações.

Ao apontar a ordem das relações por meio de seus parâmetros, Gentner e Toupin (1986) nos permite interpretar a ordem de uma relação como sendo uma espécie de posicionamento hierárquico[21] no sistema de relações mutuamente conectadas de uma comparação. Cabe então, o acréscimo da ordem das correspondências ao sistema de notações para o mapeamento estrutural de Ferry (2018), o qual demonstraremos na seção 4.4 deste capítulo.

Optamos por chamar de nível hierárquico o posicionamento das relações e demais correspondências mapeadas ou mapeáveis no sistema interconectado, pois o termo ordem não se aplica aos elementos e atributos. O nível hierárquico demonstra

[21] O posicionamento hierárquico é um termo introduzido por nós pesquisadores como resultado da interpretação das proposições apresentadas por Gentner e Toupin (1986) acerca das relações de ordem superior, ou seja, quanto maior a ordem dos argumentos de uma relação, maior será sua ordem. Utilizamos, portanto, o termo para nos referir mais objetivamente à ordem de uma relação.

numericamente a influência das correspondências na sistematicidade das analogias, como veremos no item 4.3.1 desta seção.

Se interpretarmos os domínios como sistemas, segundo a visão de Bertalanffy (2015), compreendemos que os elementos e seus atributos são apenas partes do sistema que, isoladamente ou apenas reunidos como um conjunto, não são capazes de expressar a sua complexidade. Dessa forma, podemos deduzir que os elementos e seus atributos possuem posição nula na hierarquia do sistema interconectado de relações do domínio. Por isso, ao seu nível hierárquico, atribuímos o valor 0 (zero) como representação dessa nulidade.

Já as relações de primeira ordem, que possuem entre seus argumentos elementos e atributos mapeáveis, apresentam as influências que os elementos e atributos exercem uns nos outros, contudo, com baixa complexidade. A essas relações, atribuímos, arbitrariamente, porém, coerentemente, o valor 1 (um) ao seu posicionamento no sistema interconectado de relações do domínio.

As relações de ordem superior, como definem Gentner e Toupin (1986), possuem posicionamento hierárquico variado segundo seus parâmetros. Ao posicionamento hierárquico das relações de segunda ordem, que abrigam entre seus argumentos apenas elementos, atributos e relações de primeira ordem, atribuímos o valor 2 (dois). Em coerência com o nosso referencial teórico, para relações de ordem superior às de segunda ordem, o valor do posicionamento das correspondências é dado pelo nível hierárquico de seu parâmetro de maior ordem.

Desta forma, o nível hierárquico de uma relação de ordem superior pode ser calculado a partir da seguinte Equação:

$$nh(R) = nh(P^{+}) + 1 \qquad (1)$$

Na Equação (1), tem-se:

nh(R) – nível hierárquico da relação de ordem superior a ser calculado;

P^{+} – Parâmetro de maior ordem entre os argumentos da relação;

nh(P^{+}) – nível hierárquico do Parâmetro de maior ordem entre os argumentos de *R*.

Exemplo:

Suponhamos que uma relação de ordem superior ($^{nh}R_n$) qualquer possui como parâmetro o elemento E_1, a relação de primeira ordem r_3 e a relação de ordem superior $R_2(A_2, r_1)$, logo, a relação seria escrita da seguinte forma: $^{nh}R_n(E_1, r_3, R_2)$.

Sabemos que:

$nh(E_1) = 0$;

$nh(r_3) = 1$; e

$nh(R_2) = 2$, ou seja, $^2R_2$

Vimos então que o parâmetro de maior nível hierárquico é $^2R_2$, logo

$nh(R_n) = 2+1 = 3$, então ^3R_n é uma relação de terceira ordem, ou um relação de ordem superior de grau 3.

Para demonstrar esses cálculos a respeito do posicionamento hierárquico das correspondências e o desenvolvimento da análise da sistematicidade proposta nesta dissertação, optamos por utilizar uma analogia mapeada por Ferry (2016) e (re)mapeada pelo MAPES, sistema cujo desenvolvimento está apresentado na próxima seção deste capítulo.

A analogia em questão foi denominada por Ferry (2016) como "Comparação M", que basicamente trata de uma comparação feita por um professor em uma sala de aula de Química com a finalidade de "explicar um gráfico que trata do efeito da temperatura sobre a distribuição da energia cinética entre moléculas em um sistema reacional" (FERRY, 2016, p. 94). O professor, sujeito dessa pesquisa, utilizou como domínio base a distribuição das notas dos alunos em duas provas hipotéticas, uma na qual os estudantes teriam tido um desempenho ruim e outra na qual eles teriam tido um desempenho bom. O domínio alvo dessa comparação foi a distribuição da energia cinética de moléculas em reação química ocorrida em um sistema sob duas condições diferentes de temperatura.

O Quadro 7 apresenta o mapeamento produzido pelo sistema MAPES. Esse mapeamento repetiu fielmente os procedimentos realizados por Ferry (2016), contudo, apresenta o nível hierárquico das relações de ordem superior, o número (*nh*) sobrescrito antes da letra R no código da relação: ^{nh}**R**. Consideramos importante sinalizar que, embora

os elementos, os atributos e as relações de primeira ordem apresentem níveis hierárquicos, ainda que menores, optamos por omiti-los na apresentação dos mapeamentos, por serem níveis constantes, ou seja, não variantes de acordo com seus argumentos.

Quadro 7 – Mapeamento da comparação M da tese de doutorado de Ferry (2016)

Domínio Base	**Correspondência**	**Domínio Alvo**
Alunos	E_1 ↔	Moléculas
Nota	E_2 ↔	Energia cinética
Prova (instrumento de avaliação)	E_3 ↔	Sistema Reacional
Primeira aplicação de uma prova para avaliação dos alunos	E_4 ↔	Primeira condição de temperatura para ocorrência da reação química.
Aplicação de uma outra prova como uma nova oportunidade para aprovação dos alunos	E_5 ↔	Aumento da temperatura do sistema como nova condição para a ocorrência de uma reação química
Nota alta/baixa	$A_1(E_2)$ ↔	Energia cinética alta/baixa
Nota mínima para aprovação dos alunos ("média para aprovação")	$A_2(E_3)$ ↔	Ec mínima para ocorrência da reação química (energia de ativação)
Notas dos alunos em uma prova	$r_1(E_1, E_2, E_3)$ ↔	Energia cinética (Ec) das moléculas em um sistema reacional
Nem todos os alunos têm a mesma nota em uma prova	$r_2(E_1, E_2, E_3)$ ↔	Nem todas as moléculas têm a mesma energia cinética em um sistema reacional
Conservação do valor da nota mínima que serve de critério para a aprovação dos alunos	$r_3(E_5, A_2)$ ↔	Conservação do valor da energia de ativação para a ocorrência da reação química
Há alunos com bom desempenho (nota alta) e alunos com mau desempenho (nota baixa)	${}^2R_1(A_1, r_2)$ ↔	Há moléculas que se movimentam rapidamente e moléculas que se movimentam lentamente
Entre as notas dos alunos há uma média	${}^2R_2(r_1, r_2)$ ↔	Entre os valores de Ec das moléculas há uma média
Somente alunos com nota igual ou maior que a média para aprovação podem ser aprovados	${}^3R_3(A_2, {}^2R_1)$ ↔	Somente moléculas com energia cinética igual ou maior que a energia de ativação podem reagir
Nota média dos alunos na primeira prova aplicada	${}^3R_4(E_4, {}^2R_2)$ ↔	Ec média das moléculas na primeira condição de temperatura (temperatura mais baixa)
A nota média dos alunos, na primeira prova, foi inferior à nota mínima para aprovação	${}^4R_5(A_2, {}^3R_4)$ ↔	A Ec média das moléculas, na primeira condição de temperatura, foi inferior à energia de ativação da reação química
Na primeira prova houve uma pequena quantidade de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação	${}^3R_6(E_4, A_2, {}^2R_1)$ ↔	na primeira condição de temperatura houve uma pequena quantidade de moléculas com Ec igual ou superior à Ec de ativação

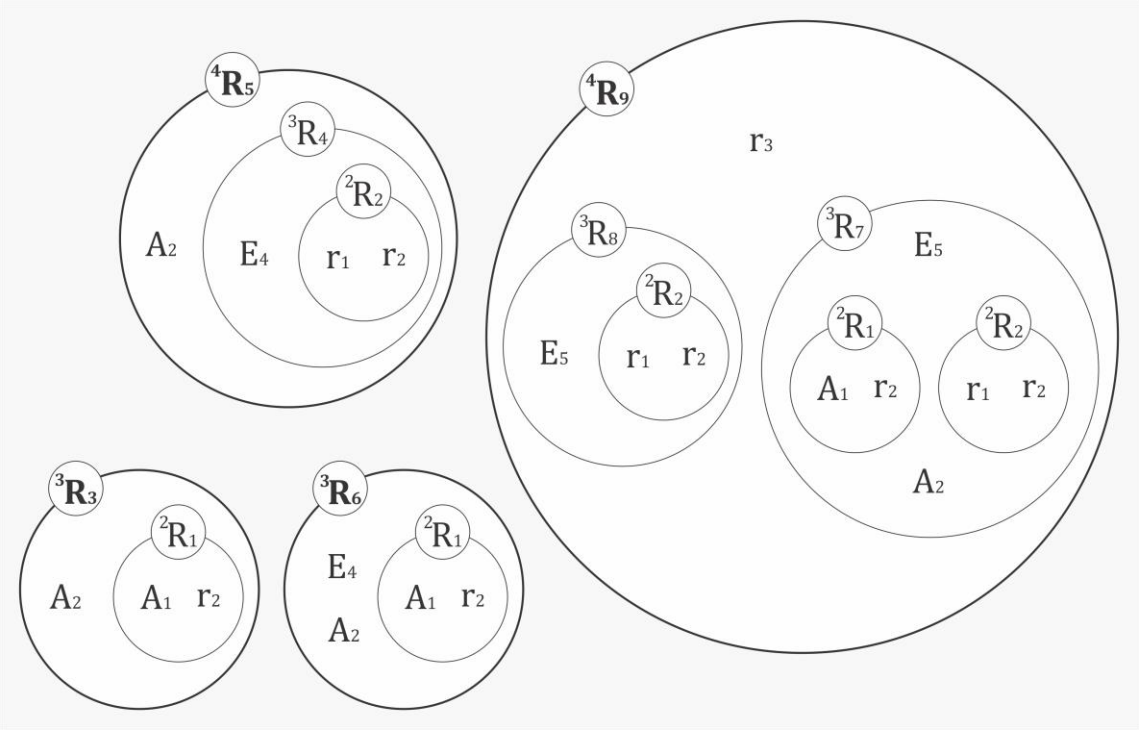
Redução na quantidade de alunos com notas inferiores à nota mínima, na segunda prova aplicada	$^{3}R_{7}(E_{5}, A_{2}, {}^{2}R_{1}, {}^{2}R_{2})$ ⟷	Redução na quantidade de moléculas com energia inferior à energia de ativação, na temperatura mais elevada
Aumento da nota média dos alunos na segunda prova	$^{3}R_{8}(E_{5}, {}^{2}R_{2})$ ⟷	Aumento da energia cinética média das moléculas, na temperatura mais elevada
Aumento da quantidade de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação	$^{4}R_{9}({}^{3}R_{8}, {}^{3}R_{7}, r_{3})$ ⟷	Aumento da quantidade de moléculas com energia cinética igual ou superior à energia de ativação

Fonte: Mapeamento construído pelo Sistema MAPES, extraído de Ferry (2016, p. 111)

Observando o mapeamento estrutural da Comparação M, podemos identificar que foram mapeadas nove relações de ordem superior: $^{2}\mathbf{R_{1}}(A_{1}, r_{2})$ | $^{2}\mathbf{R_{2}}(r_{1}, r_{2})$ | $^{3}\mathbf{R_{3}}(A_{2}, R_{1})$ | $^{3}\mathbf{R_{4}}(E_{4}, R_{2})$ | $^{4}\mathbf{R_{5}}(A_{2}, R_{4})$ | $^{3}\mathbf{R_{6}}(E_{4}, A_{2}, R_{1})$ | $^{3}\mathbf{R_{7}}(E_{5}, A_{2}, R_{1}, R_{2})$ | $^{3}\mathbf{R_{8}}(E_{5}, R_{2})$ | $^{4}\mathbf{R_{9}}(R_{8}, R_{7}, r_{3})$.

Na Figura 9 a seguir, organizamos, em forma de círculos concêntricos, as relações de ordem superior e sua abrangência de argumentos concatenados em um esquema de conjuntos. Por meio dessa figura, podemos perceber que as relações R_{3}, R_{5}, R_{6} e R_{9} não estão concatenadas, ou seja, não se constituem como argumentos de outras relações; R_{3}, R_{5}, R_{6} e R_{9} são relações de ordem superior independentes umas das outras. Consideramos importante também perceber que os posicionamentos das relações que compõem a estrutura relacional comum estão entre os mais altos hierarquicamente. Contudo isso não determina que todas as relações não concatenadas possuam os posicionamentos de maior nível. Veja, por exemplo que R_{3} e R_{6} possuem o mesmo nível hierárquico de R_{4}, R_{7} e R_{8}.

Figura 9 – Esquema representante da abrangência das relações não concatenadas R3, R5, R6 e R9 – Estrutura Relacional Comum da Comparação M



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Podemos dizer, portanto, que a Comparação M é constituída por um conjunto de correspondências entre quatro relações de ordem superior e que o maior nível hierárquico é consequência do "encadeamento" de relações que compõem os seus argumentos.

4.3.1. Análise da sistematicidade das analogias

Com base no princípio da sistematicidade, podemos entender que essa característica estrutural das analogias está intimamente ligada a dois aspectos fundamentais do mapeamento estrutural: (1º) a ordem das relações mapeadas em correspondência entre os dois domínios, ou seja, sua posição hierárquica no sistema de relações e (2º) a abrangência do concatenamento dessas relações. Propomos, portanto, que a sistematicidade seja observada a partir da estrutura relacional comum da analogia, definida, segundo Ferry (2016, p. 58), como o "conjunto de relações concatenadas que, uma vez presentes nos dois domínios, representa a estrutura de uma analogia".

O grande desafio, a partir dessa compreensão, foi formular um algoritmo que viabilizasse o cálculo do que denominamos de *fator de sistematicidade* (*fs*) de cada

correspondência mapeada entre os dois domínios. Contudo, foi possível inferir que uma representação matemática da sistematicidade poderia indicar sua possível análise, como será demonstrado no fim desta seção. Logo, essa representação partiu, então, de uma proposta de cálculo do fator de sistematicidade de uma correspondência através do produto entre o nível hierárquico (*nh*) da correspondência e o somatório dos *k* fatores de sistematicidade (*Pfs*) de seu conjunto de parâmetros mais (+) 1 (um)[22], como podemos ver no modelo representado pela Equação (2).

$$fs[c] = nh \times \left(1 + \sum_{i=1}^{k} Pfs_i\right) \tag{2}$$

Na Equação (2), tem-se que:

fs – fator de sistematicidade;

c[23] – objeto em correspondência (E_n, A_n, r_n, ${}^{nh}R_n$);

nh – ordem da correspondência (nível hierárquico);

Pfs[24] – fatores de sistematicidade dos respectivos parâmetros;

k – quantidade de parâmetros da correspondência;

i – índice de cada parâmetro da correspondência;

A partir da composição apresentada na Equação (2), podemos inferir a seguinte proposição: Se nh, k e Pfs_i, advindas de c, são representações numéricas contidas em ℤ, conjunto dos números inteiros, e a multiplicação e adição são as únicas operações da Equação (2), os resultados de fs também estão contidos em ℤ.

Além dessa primeira proposição, podemos deduzir outras que apresentam características de sistematicidade das correspondências mapeadas em uma analogia e

[22] A soma de 1 ao encadeamento dos fatores de sistematicidade dos parâmetros, na Equação, foi inserida com o objetivo de não anular a sistematicidade das relações de primeira ordem. Embora sua sistematicidade seja baixa devido a baixa complexidade no sistema relacional interconectado, ainda assim, essas relações apresentam sistematicidade, diferente dos Elementos e Atributos cuja sistematicidade é ausente.

[23] É importante observarmos que ***c*** não é um parâmetro numérico e que ***fs*[*c*]** não se configura como função matemática. Portanto, ***c*** é apresentado como uma entidade abstrata representante de uma correspondência mapeada entre os dois domínios da analogia e agrega todas as informações (*nh*, *k* e Pfs_i) necessárias para o desenvolvimento do cálculo do *fator de sistematicidade* da correspondência representada.

[24] Outra observação interessante a se fazer acerca do algoritmo é que esse modelo é recursivo, ou seja, o cálculo dos fatores de sistematicidade dos parâmetros (*Pfs)* também é realizado a partir da Equação (2).

que nos ajudaram a compreender o lugar que cada tipo de correspondência ocupa no sistema relacional interconectado. Demonstraremos, portanto, o desenvolvimento do cálculo dos fatores de sistematicidade utilizando algumas correspondências da Comparação M, de Ferry (2016), através das seguintes proposições:

(a) *Os fatores de sistematicidade dos elementos, atributos e relações de primeira ordem são equivalentes ao seu nível hierárquico.*

> **(a.1)** *O fator de sistematicidade de um elemento é nulo, devido seu nível hierárquico ser caracterizado pelo valor 0 (zero), demonstrada na aplicação (2.1) a seguir.*
>
> **(a.2)** *O fator de sistematicidade de um atributo é nulo, devido seu nível hierárquico ser caracterizado pelo valor 0 (zero), demonstrada na aplicação (2.2) a seguir.*
>
> **(a.3)** *O fator de sistematicidade de uma relação de primeira ordem é 1 (um), devido os fatores de sistematicidade de seus argumentos serem nulos, demonstrada na aplicação (2.3) a seguir.*

(b) *O fator de sistematicidade de uma relação de ordem superior é, no mínimo, 4 (quatro), uma vez que, uma relação de segunda ordem possui, ao menos, uma relação de primeira ordem cujo o fs é 1. Assim, a Equação (2) sugere que se multiplique o nível hierárquico, que neste caso é 2 (dois), pelo somatório dos fs dos parâmetros acrescido de 1 (um), ou seja, no mínimo 2 (dois) , demonstrada na aplicação (2.4) a seguir.*

A proposição (a) é decomposta em três proposições para fins de compreensão específica de cada tipo de correspondência. No caso dos elementos em correspondência, por estarem isolados e serem os itens em correspondência de nível hierárquico nulo, a proposição (a.1) pode ser demonstrada na aplicação (2.1):

$$fs[E_n] = 0 \times \left(1 + \sum_{i=1}^{k} Pfs_i\right) \rightarrow 0 \times (1 + [ausente]) = 0 \qquad (2.1)$$

Uma vez que um elemento mapeado não apresenta argumentos, seu fator de sistematicidade sempre será 0 (zero). O mesmo ocorre para o cálculo do fator de sistematicidade de um atributo, conforme mostra a aplicação (2.2). Consideramos que tais proposições (a.1) e (a.2) são coerentes com a Teoria do Mapeamento de Estruturas (GENTNER, 1983) para as analogias por duas razões: (1ª) o foco das analogias não é dado

sobre os elementos e nem sobre os atributos dos elementos; o foco é dado sobre as relações; (2ª) a sistematicidade das analogias é um aspecto estrutural relacionado ao modo como as relações se interconectam, e não sobre os elementos e seus atributos. Desta forma, a proposição (a.2) nos leva a Equação 2.2:

$$fs[A_n] = 0 \times \left(1 + \sum_{i=1}^{k} Pfs_i\right) \rightarrow 0 \times (1 + 0) = 0 \tag{2.2}$$

Os atributos são predicados descritivos que têm como argumento apenas um elemento, cujo nível hierárquico é nulo e seu fator de sistematicidade é igual a 0 (zero).

Já uma relação de primeira ordem, considerando que o valor do seu nível hierárquico é 1, terá como resultado do cálculo do fator de sistematicidade, segundo a proposição (a.3), o valor 1, como podemos ver na aplicação (2.3), que considera, como exemplo, a relação de primeira ordem $r_3(E_5, A_2)$, da Comparação M de Ferry (2016).

$$fs[r_3] = 1 \times \left(1 + \sum_{i=1}^{k} Pfs_i\right) \rightarrow \tag{2.3}$$

$$\sum_{i=1}^{2} Pfs_i = fs[E_5] + fs[A_2] \rightarrow 0 + 0 = 0, \rightarrow$$

$$fs[r_3] = 1 \times (1 + 0) = 1;$$

A partir dessas considerações a respeito dos fatores de sistematicidade de elementos (*fs[E] = 0*), atributos (*fs[A] = 0*), e relações de primeira ordem (*fs[r] = 1*), pudemos prosseguir para o cálculo do fator de sistematicidade de uma relação de segunda ordem ou superior, por meio da Equação (2) apresentada anteriormente.

Em nossa proposta, entende-se que o fator de sistematicidade de uma relação de ordem superior varia de acordo com seu nível hierárquico e com a quantidade de seus argumentos não nulos concatenados.

Para demonstrar o desenvolvimento do fator de sistematicidade de uma relação de ordem superior, consideramos a relação $^2R_1(A_1, r_2)$, também extraída da Comparação M de Ferry (2016). De acordo com o nosso referencial teórico e metodológico, R_1 é uma relação de segunda ordem (ordem 2), pois seu argumento de maior nível hierárquico é uma relação de primeira ordem que, consequentemente, apresenta nível hierárquico igual

a 1, como demonstrado anteriormente. A aplicação dos valores dos argumentos no cálculo do fator de sistematicidade da correspondência R_1 resulta em um valor igual a 4, conforme está demonstrado por meio Equação 2.4:

$$fs[\,^2R_1] = 2 \times \left(1 + \sum_{i=1}^{k} Pfs_i\right) \rightarrow \tag{2.4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} Pfs_i = fs[A_1] + fs[r_2] \rightarrow 0 + 1 = 1, \rightarrow$$

$$fs[R_1] = 2 \times (1 + 1) = 4;$$

Logo, uma relação de segunda ordem entre uma relação de primeira ordem, apenas, e um elemento ou atributo configura-se como a menor abrangência de concatenamento que uma relação de ordem superior pode assumir, com é o caso de $^2R_1$ da Comparação M. Demonstramos, portanto, a validade da proposição (b) pela aplicação (2.4) da Equação (2).

A partir dessa proposta de expressão e cálculo dos fatores de sistematicidade associados a todos os itens mapeados e colocados em correspondência em uma analogia, e considerando a sua estrutura relacional comum, neste trabalho, propomos que a sistematicidade (*S*) de uma analogia possa ser dada e compreendida como um conjunto composto pelos fatores de sistematicidade (*fs*) dos seus predicados relacionais (P_r), dados por meio das expressões de concatenamento que constituem a Estrutura Relacional Comum (*ERC*) da analogia. Tal proposição encontra-se simbolizada na notação de conjunto dada pela expressão, na qual se lê: O conjunto S é composto pelos fatores de sistematicidade (*fs*) dos Predicados relacionais (*Pr*), tal que *Pr* pertence à Estrutura Relacional Comum (*ERC*) da analogia. Em outras palavras, pressupomos que a sistematicidade das analogias pode ser apresentada como um conjunto dos fatores de sistematicidade de suas relações em correspondência.

$$\boldsymbol{S = \{fs[Pr] \mid Pr \in ERC\}}$$

Considerando o esquema da estrutura relacional comum da Figura 10, referente à analogia entre a distribuição de energia cinética de moléculas em um sistema reacional em diferentes condições de temperatura e a distribuição de notas de estudantes em duas provas escolares hipotéticas com diferentes desempenhos, analisada e mapeada por

Ferry (2016, 2018) e Ferry e Paula (2017), a sua sistematicidade poderia ser representada pelo seguinte conjunto de fatores de sistematicidade:

$$S = \{fs[R_9],\ fs[R_6],\ fs[R_5],\ fs[R_3]\}$$

Para fins de ilustração, se calcularmos todos os fatores de sistematicidade das correspondências da Comparação M (Quadro 7), temos os seguintes resultados apresentados no Quadro 8:

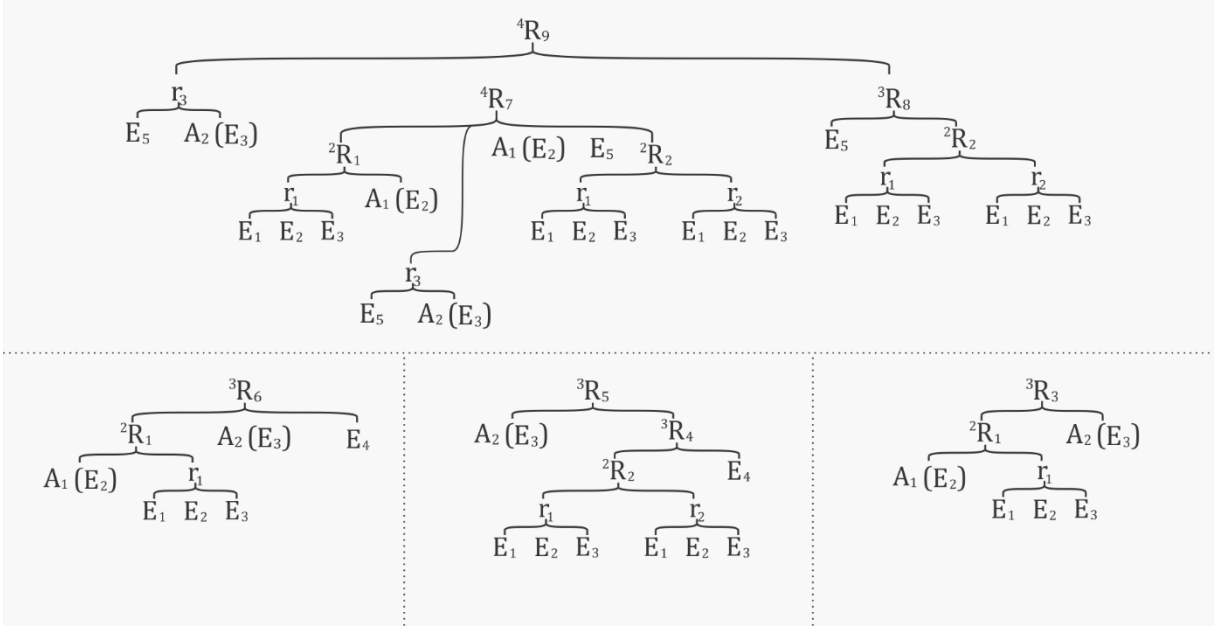
Quadro 8 – Relação dos fatores de sistematicidade da Comparação M, de Ferry (2016), calculados para as correspondências mapeadas.

Correspondência	**Fator de Sistematicidade (*fs*)**
E_1	0
E_2	0
E_3	0
E_4	0
E_5	0
$A_1(E_2)$	0
$A_2(E_3)$	0
$r_1(E_1, E_2, E_3)$	1
$r_2(E_1, E_2, E_3)$	1
$r_3(E_5, A_2)$	1
${}^2R_1(A_1, r_2)$	4
${}^2R_2(r_1, r_2)$	6
${}^3R_3(A_2, {}^2R_1)$	15
${}^3R_4(E_4, {}^2R_2)$	21
${}^4R_5(A_2, {}^3R_4)$	88
${}^3R_6(E_4, A_2, {}^2R_1)$	15
${}^3R_7(E_5, A_2, {}^2R_1, {}^2R_2)$	33
${}^3R_8(E_5, {}^2R_2)$	21
${}^4R_9({}^3R_8, {}^3R_7, r_3)$	224

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

A Figura 10, a seguir, apresenta um esquema das quatro expressões de concatenamento que compõem a estrutura relacional comum da analogia M.

Figura 10 – Expressões de concatenamento que compõem a Estrutura Relacional[25] Comum da Comparação M.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Assim, deduzimos que a sistematicidade da analogia analisada por Ferry (2016) e Ferry e Paula (2017) pode ser representada pelo seguinte conjunto de fatores de sistematicidade:

$$S = \{224, 15, 88, 15\}$$

A leitura do conjunto que define a sistematicidade de uma analogia parte de um olhar baseado nos conceitos de sistematicidade empregados por Gentner e Toupin (1986) relativos aos sistemas de relações interconectadas. Orientamos, portanto, a consideração de dois aspectos em sua interpretação: (1º) a quantidade de valores que compõe o conjunto que define a sistematicidade da analogia e (2º) os valores propriamente ditos.

O primeiro aspecto está diretamente ligado à quantidade de relações isoladas em correspondência entre os dois domínios. Essa quantidade é, a princípio, inversamente proporcional à sistematicidade, ou seja, quanto mais expressões de concatenamento possuir a ERC, menos sistemática é a analogia.

[25] Nota-se que as expressões de concatenamento estão estruturadas de forma diferente ao que se encontra em Ferry (2016), quando foram propostas pela primeira vez. Contudo, não há diferença entre as informações expostas nas duas formas de apresentação. Optamos por apresentá-las por meio de um esquema de chaves, pois acreditamos que essa forma facilita a visualização dos encadeamentos da(s) relação(ões) que compõe(m) a estrutura relacional comum da analogia.

O segundo aspecto diz respeito à complexidade e interconexão de cada relação da ERC. Temos como pressuposto que quanto maior o valor do fator de sistematicidade calculado, maior é a quantidade de concatenamentos entre relações regidos pela relação de ordem superior de maior nível hierárquico, e, consequentemente, maior é sua contribuição para a sistematicidade da analogia.

4.4. MAPES – Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias

O Sistema MAPES é uma ferramenta auxiliar de análise de analogias, concebido a partir da Teoria do Mapeamento de Estruturas de Gentner (1983) e das notações para o mapeamento estrutural de analogias desenvolvidas e publicadas por de Ferry e Paula (2015, 2017), Ferry (2016, 2018), apresentadas no Quadro 9, na próxima página.

O sistema foi desenvolvido com a finalidade de prestar suporte na construção do mapeamento estrutural das analogias, bem como favorecer a leitura dos processos de análise das analogias segundo suas características estruturais (BARBOSA e FERRY, 2018).

Em versões mais atualizadas, o MAPES apresenta um índice indicador do grau da sistematicidade aparente na analogia mapeada e também atribui uma ordem às relações de ordem superior. Segundo Gentner e Toupin (1986), a ordem das relações é determinada pela ordem de seus argumentos. Uma relação de primeira ordem é uma relação que tem como argumento apenas elementos e atributos. Já uma relação de segunda ordem, como também aponta Ferry (2018), tem, pelo menos, uma relação de primeira ordem entre os seus argumentos. Seguindo esse raciocínio, temos que uma relação de *enésima*-ordem, tem, pelo menos, uma relação de (n-1)º ordem entre os seus argumentos.

Quadro 9 – Tipologia de correspondências mapeadas e notações simbólicas empregadas nas representações das correspondências.

DOMÍNIO BASE (DB)	REPRESENTAÇÕES DAS CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO (DA)
Elementos da base	$\xleftrightarrow{E_n}$	**Elementos do alvo**
Elementos que compõem o DB	*Correspondências entre elementos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra **E***	Elementos que compõem o DA

Atributos dos elementos do DB	$A_n\ (E_x)$ ↔	**Atributos dos elementos do DA**
Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no DB.	*Correspondências entre atributos devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra **A**; Cada correspondência dessa natureza deve possuir um único argumento, ou seja, deve estar baseada em uma única característica.*	Predicados descritivos relevantes dos elementos mapeados no DA.
Relações de 1ª ordem do DB	$r_n\ (E_x/A_x, E_y/A_y, \ldots)$ ↔	**Relações de 1ª ordem do DA**
Relações entre dois ou mais elementos do DB ou entre suas características; relações de ordem estrutural que dizem respeito ao modo como os elementos do DB estão dispostos entre si.	*Correspondências entre relações de menor complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra **r** (minúscula); Cada correspondência dessa natureza deve possuir, no mínimo, dois argumentos.*	Relações entre dois ou mais elementos do DA ou entre suas características; relações de ordem estrutural que revelam como os elementos do DA estão disposto entre si.
Relações de 2ª ordem do DB	$R_n\ (r_x, r_y/E_y/A_y, \ldots)$ ↔	**Relações de 2ª ordem e/ou de ordem superior no DA**
Relações existentes entre relações previamente postuladas entre elementos do DB ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.	*Correspondências entre relações mais complexas que devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra **R** (maiúscula); Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 1ª ordem como um dos seus argumentos.*	Relações existentes entre relações previamente postuladas entre elementos do DA ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.
Relações de ordem superior do DB	$R_n\ (R_x, R_y/r_y/E_y/A_y, \ldots)$ ↔	**Relações de ordem superior do DA**
Relações existentes entre relações do DB, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.	*Correspondências entre relações de maior complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra **R** (maiúscula); Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 2ª ordem como um dos seus argumentos.*	Relações existentes entre relações do DA, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.
Determinados atributos ou relações do DB	D_n: [...] ↔ ✕	**Determinados atributos ou relações do DA**
Características ou relações presentes no DB, conectadas a pontos em correspondência, que	*Diferenças alinháveis As setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal*	Características ou relações presentes no DA, conectadas a pontos em correspondência, que

são diferentes nos respectivos pontos no DA.	*gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra **D***.*	são diferentes nos respectivos pontos no DB.
Atributos ou Relações do DB ausentes no DA	L_n: [...] ←✕→	**Atributos ou Relações do DA ausentes no DB**
Condições do DB para as quais a comparação não se aplica; ou, elementos, atributos ou relações do DB que não devem ser "transferidos" para o DA.	*Limitações da comparação As setas bidirecionais devem ser marcadas com um sinal gráfico semelhante à letra X, e devem ser acompanhadas pela letra **L****.*	Condições do DA para as quais a comparação não se aplica; ou, elementos, atributos ou relações do DA que não encontram correspondência no DB.
* - Os códigos das diferenças alinháveis devem, sempre, remeterem-se a alguma correspondência previamente codificada. ** - Os códigos das limitações identificadas referem-se a um novo elemento, atributo ou relação. Isto é, na lógica do mapeamento estrutural, as limitações são apresentadas com novos códigos.		

Fonte: Ferry (2018, p. 111, 112)

Sendo assim, adaptamos a notação (Quadro 10) das relações de ordem superior para uma representação que indicasse tanto o nível hierárquico de cada relação quanto a sua ordem no mapeamento estrutural. Concordamos que desta forma, a visualização do sistema interconectado de relações será favorecida.

Quadro 10 – Adaptação para nova notação das relações de ordem superior.

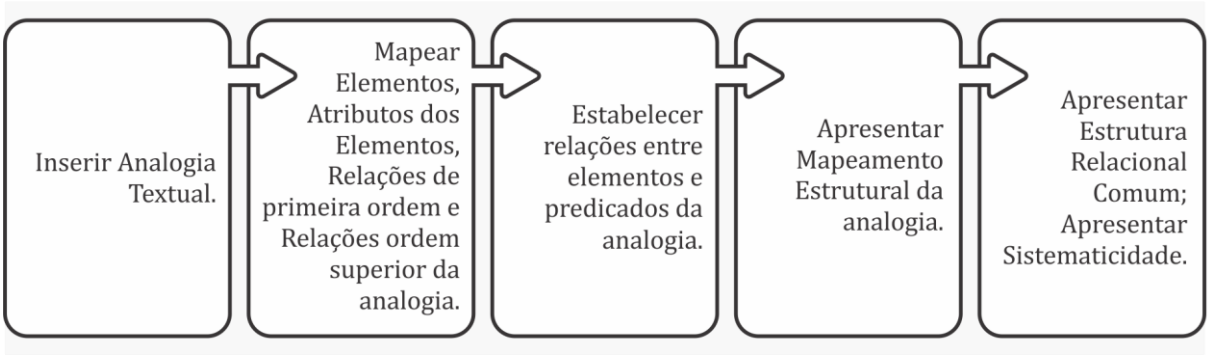
DOMÍNIO BASE (DB)	REPRESENTAÇÕES DAS CORRESPONDÊNCIAS	DOMÍNIO ALVO (DA)
Relações de 2ª ordem do DB	$^{2}R_n$ (r_x, r_y/E_y/A_y, ...) ←→	**Relações de 2ª ordem e/ou de ordem superior no DA**
Relações existentes entre relações de 1ª ordem previamente postuladas entre elementos do DB ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.	*Correspondências entre relações mais complexas que devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pelo código ^{2}**R**; Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 1ª ordem como um dos seus argumentos.*	Relações existentes entre relações de 1ª ordem previamente postuladas entre elementos do DA ou entre uma relação de 1ª ordem com outros elementos/atributos.
Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau '*nh*' do DB	$^{nh}R_n$ ($^{(nh-1)}R_x$, R_y/r_y/E_y/A_y, ...) ←→	**Relações de ordem superior de nível hierárquico ou grau '*nh*' do DA**
Relações existentes entre relações do DB, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.	*Correspondências entre relações de maior complexidade devem ser representadas por setas bidirecionais acompanhadas pelo código ^{nh}**R**; Cada correspondência dessa natureza deve possuir ao menos uma relação de 2ª ordem como um dos seus argumentos.*	Relações existentes entre relações do DA, das quais ao menos uma se configura como uma relação de 2ª ordem.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

4.4.1. Desenvolvimento do Sistema MAPES

O Sistema MAPES foi desenvolvido no contexto das discussões e atividades de uma disciplina sobre "Analogias e Metáforas no Ensino de Ciência e Tecnologia", ministrada no mesmo programa de pós-graduação no qual a presente dissertação foi produzida. O funcionamento desse sistema é simples e linear, como mostra a Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma do funcionamento do Sistema MAPES



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A Figura 11 apresenta fluxo de inserção das informações no Sistema MAPES para que seja possível a estruturação do mapeamento. Inicialmente, deve-se inserir uma analogia definindo o título, que aparece na tela principal (Figura 12) e uma descrição para orientar a análise. A partir da inserção do título da analogia, é possível iniciar o processo de mapeamento, isto é, a inserção e o alinhamento de elementos, atributos e relações constituintes de ambos os domínios comparados.

Figura 12 – Tela Principal do Sistema MAPES

Fonte: Sistema MAPES (2019)

A inserção dos itens em correspondência deve ser realizada na seguinte ordem, obrigatoriamente: (1°) mapear elementos; (2°) mapear atributos do elementos (não é possível inserir informações de atributos sem que haja um elemento cadastrado no sistema); (3°) mapear e estabelecer as relações – essa funcionalidade deve ser realizada em duas etapas, primeiro insere-se textualmente a correspondência de relações, e depois estabelece-se os argumentos das relações inserindo dois ou mais parâmetros que se relacionam em correspondência nos dois domínios.

A visualização do mapeamento independe do mesmo ter sido integralmente concluído. No entanto, há que se dizer que a análise estrutural da analogia, relacionada com a abrangência do seu mapeamento estrutural, depende da finalização da inserção de todas as correspondências similares nos dois domínios.

A Figura 13, na próxima página, apresenta o mapeamento estrutural da Comparação M, de Ferry (2016), que foi construído a partir do MAPES. Nessa figura, podemos perceber que foram acrescentadas mais três colunas ao mapeamento: *fs* (fator de sistematicidade), *Status* e *Ctrl* (*Controles*). Essas colunas foram acrescentadas com a

finalidade de favorecer a leitura dos processos de análise das analogias referentes às suas características estruturais.

Figura 13 – Mapeamento estrutural da Comparação M a partir do MAPES

mapes
Sistema para Mapeamento Estrutural de Analogias

CEFET-MG GEMATEC

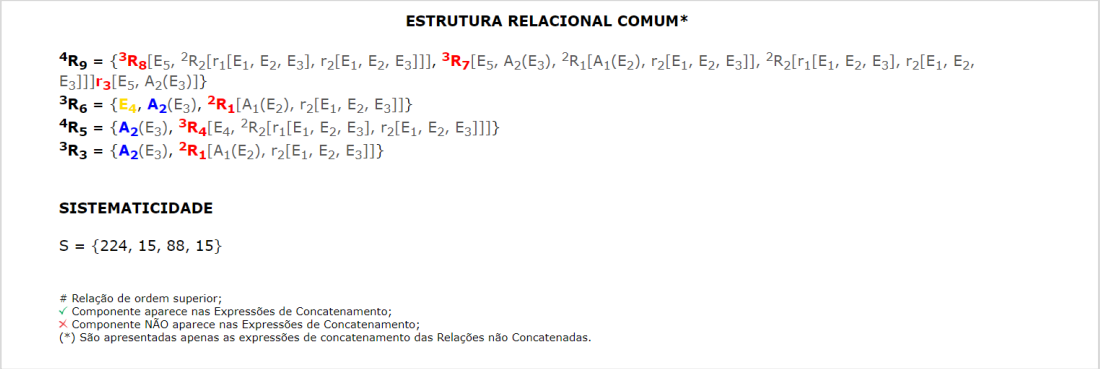
VOLTAR

Alunos e Moléculas
Analogia teste extraída da tese de doutorado do professor Alexandre Ferry. Na tese esta analogia é denominada como Comparação M. (Pag 111)

MAPEAMENTO

fs	Domínio Base	Correspondências	Domínio Alvo	Status	Ctrl
0	Alunos	E_1	Moléculas	✓	
0	Nota	E_2	Energia cinética	✓	
0	Prova (instrumento de avaliação)	E_3	Sistema Reacional	✓	
0	Primeira aplicação de uma prova para avaliação dos alunos	E_4	Primeira condição de temperatura para ocorrência da reação química.	✓	
0	Aplicação de uma outra prova como uma nova oportunidade para aprovação dos alunos	E_5	Aumento da temperatura do sistema como nova condição para a ocorrência de uma reação química	✓	
0	Nota alta/baixa	$A_1(E_2)$	Energia cinética alta/baixa	✓	
0	Nota mínima para aprovação dos alunos ("média para aprovação")	$A_2(E_3)$	Ec mínima para ocorrência da reação química (energia de ativação)	✓	
1	Notas dos alunos em uma prova	$r_1(E_1, E_2, E_3)$	Energia cinética (Ec) das moléculas em um sistema reacional	✓	
1	Nem todos os alunos têm a mesma nota em uma prova	$r_2(E_1, E_2, E_3)$	Nem todas as moléculas têm a mesma energia cinética em um sistema reacional	✓	
1	Conservação do valor da nota mínima que serve de critério para a aprovação dos alunos	$r_3(E_5, A_2)$	Conservação do valor da energia de ativação para a ocorrência da reação química	✓	
4	Há alunos com bom desempenho (nota alta) e alunos com mau desempenho (nota baixa)	${}^2R_1(A_1, r_2)$	Há moléculas que se movimentam rapidamente e moléculas que se movimentam lentamente	#	
6	Entre as notas dos alunos há uma média	${}^2R_2(r_1, r_2)$	Entre os valores de Ec das moléculas há uma média	#	
15	Somente alunos com nota igual ou maior que a média para aprovação podem ser aprovados	${}^3R_3(A_2, {}^2R_1)$	Somente moléculas com energia cinética igual ou maior que a energia de ativação podem reagir	#	
21	Nota média dos alunos na primeira prova aplicada	${}^3R_4(E_4, {}^2R_2)$	Ec média das moléculas na primeira condição de temperatura (temperatura mais baixa)	#	
88	A nota média dos alunos, na primeira prova, foi inferior à nota mínima para aprovação	${}^4R_5(A_2, {}^3R_4)$	A Ec média das moléculas, na primeira condição de temperatura, foi inferior à energia de ativação da reação química	#	
15	Na primeira prova houve uma pequena quantidade de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação	${}^3R_6(E_4, A_2, {}^2R_1)$	na primeira condição de temperatura houve uma pequena quantidade de moléculas com Ec igual ou superior à Ec de ativação	#	
33	Redução na quantidade de alunos com notas inferiores à nota mínima, na segunda prova aplicada	${}^3R_7(E_5, A_2, {}^2R_1, {}^2R_2)$	Redução na quantidade de moléculas com energia inferior à energia de ativação, na temperatura mais elevada	#	
21	Aumento da nota média dos alunos na segunda prova	${}^3R_8(E_5, {}^2R_2)$	Aumento da energia cinética média das moléculas, na temperatura mais elevada	#	
224	*Aumento da quantidade de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação	${}^4R_9({}^3R_8, {}^3R_7, r_3)$	Aumento da quantidade de moléculas com energia cinética igual ou superior à energia de ativação	#	

Figura 13 – Mapeamento estrutural da Comparação M a partir do MAPES (Continuação)



ESTRUTURA RELACIONAL COMUM*

$^{4}R_9 = \{^{3}R_8[E_5, {}^{2}R_2[r_1[E_1, E_2, E_3], r_2[E_1, E_2, E_3]]], {}^{3}R_7[E_5, A_2(E_3), {}^{2}R_1[A_1(E_2), r_2[E_1, E_2, E_3]], {}^{2}R_2[r_1[E_1, E_2, E_3], r_2[E_1, E_2, E_3]]]r_3[E_5, A_2(E_3)]\}$

$^{3}R_6 = \{E_4, A_2(E_3), {}^{2}R_1[A_1(E_2), r_2[E_1, E_2, E_3]]\}$

$^{4}R_5 = \{A_2(E_3), {}^{3}R_4[E_4, {}^{2}R_2[r_1[E_1, E_2, E_3], r_2[E_1, E_2, E_3]]]\}$

$^{3}R_3 = \{A_2(E_3), {}^{2}R_1[A_1(E_2), r_2[E_1, E_2, E_3]]\}$

SISTEMATICIDADE

S = {224, 15, 88, 15}

Relação de ordem superior;
✓ Componente aparece nas Expressões de Concatenamento;
✗ Componente NÃO aparece nas Expressões de Concatenamento;
(*) São apresentadas apenas as expressões de concatenamento das Relações não Concatenadas.

Fonte: Sistema MAPES (2019)

As três colunas acrescentadas ao mapeamento apresentam informações úteis para a análise de aspectos estruturais das analogias. A coluna denominada por **fs** apresenta os valores individuais dos fatores de sistematicidade de cada correspondência mapeada entre os dois domínios. A coluna **Status** auxilia na visualização das concatenações estabelecidas no mapeamento entre as correspondências sendo: (✓) para as correspondências que aparecem como argumentos das relações, (✗) para as correspondências que **não** aparecem como argumentos das relações, e (#) para as relações de ordem superior.

Uma correspondência que apresenta o sinal gráfico (✗) como status após a finalização do mapeamento deve ser analisada pelo usuário/pesquisador. Consideramos importante que seja avaliada a relevância de uma correspondência que não está concatenada ao sistema de relações da analogia para sua abordagem em um contexto de ensino, por exemplo.

A terceira coluna acrescentada, denominada **Crtl** (*Controles*), corresponde aos controles de manipulação das correspondências. A partir dessa coluna, é possível que o usuário edite, exclua, estabeleça uma diferença para uma determinada correspondência no mapeamento e ajuste o nível hierárquico das relações de ordem superior. Uma descrição mais detalhada dessas funcionalidades está presente no Quadro 11.

Tanto na tela principal (Figura 12) quanto na tela de apresentação do mapeamento (Figura 13), apresentadas anteriormente, há ícones funcionais para manipulação das funcionalidades disponíveis no MAPES. O Quadro 11 apresenta os ícones de controle e suas respectivas funcionalidades.

Quadro 11 – Relação dos ícones funcionais do MAPES e suas funcionalidades.

ÍCONE	NOME	FUNCIONALIDADE
TELA PRINCIPAL		
	Nova Analogia	Inserção de nova analogia no sistema. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela de cadastro que solicita um título e uma descrição da analogia a ser mapeada.
	Editar Analogia	Permite que os dados da analogia sejam editados. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela similar a de cadastro, permitindo que o usuário altere o texto integralmente ou parcialmente.
	Mapeamento	Quando acionado pelo usuário, direciona para a tela de apresentação do mapeamento, permitindo que o usuário execute as funções do processo de mapeamento ou apenas consulte com fins de análise.
	Excluir Analogia	Quando acionado pelo usuário, direciona para uma caixa de diálogo que pede a confirmação da exclusão da analogia. Uma vez confirmada, a analogia, junto ao seu mapeamento são excluídos permanentemente do MAPES.
TELA DE APRESENTAÇÃO DO MAPEAMENTO		
CONTROLES DO MAPEAMENTO		
	Download do Mapeamento	Permite ao usuário baixar o mapeamento para seu computador. Quando acionado pelo usuário, solicita que o mesmo selecione o diretório onde quer salvar o arquivo. Por padrão, o documento baixado está nomeado como “mapeamento.docx”, mas pode ser modificado pelo usuário.
	Inserir Elemento	Inserção de novo elemento no mapeamento. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela de cadastro que solicita as descrições do elemento no Domínio Base e no Domínio Alvo. Solicita que o usuário identifique a correspondência como Similar ou Limitação.
	Inserir Atributo	Inserção de novo atributo no mapeamento. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela de cadastro que solicita as descrições do atributo no Domínio Base e no Domínio Alvo e solicita que o usuário indique a qual elemento pertence o atributo. Solicita que o usuário identifique a correspondência como Similar ou Limitação.
	Inserir relação de primeira ordem	Inserção de nova relação de primeira ordem no mapeamento. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela de cadastro

		que solicita as descrições da relação no Domínio Base e no Domínio Alvo. Solicita que o usuário identifique a correspondência como Similar ou Limitação.
	Inserir Relação de ordem superior	Inserção de nova relação de ordem superior no mapeamento. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela de cadastro que solicita as descrições da relação no Domínio Base e no Domínio Alvo. Solicita que o usuário identifique a correspondência como Similar ou Limitação.
	Estabelecer relação	Permite que o usuário aponte as correspondências que serão argumentos da relação. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela que lista todas as relações cadastradas com botões que direcionam para o apontamento dos itens a serem concatenados às relações (Figura 14).
CONTROLE DAS CORRESPONDÊNCIAS		
	Editar Correspondência	Permite que as descrições da correspondência relativas aos Domínios Base e Alvo sejam editadas. Quando acionado pelo usuário, direciona para uma tela similar a de cadastro da correspondência permitindo que o usuário altere o texto integralmente ou parcialmente. Aparece para todas as correspondências.
	Excluir Correspondência	Quando acionado pelo usuário, direciona para uma caixa de diálogo que pede a confirmação da exclusão da correspondência. Uma vez confirmada, a correspondência é excluída* permanentemente do MAPES. Aparece para todas as correspondências.
	Inserir Diferença relacionada a uma Correspondência	Permite a inserção de uma diferença relativa à correspondência em questão. Aparece apenas para os Elementos, Atributos, relações de primeira ordem e Relações de ordem superior. Não é possível atribuir uma diferença para outra diferença já atribuída no mapeamento e nem para Limitações.
	Ajustar nível hierárquico	O nível hierárquico é calculado automaticamente pelo Sistema MAPES, porém, há casos em que o usuário atribui alguma relação de maior nível hierárquico como argumento de uma relação que já teve seu nível hierárquico calculado ou exclui a relação de maior nível hierárquico dentre os argumentos da relação em questão. Quando isso acontece é necessário que o usuário acione este botão para que o sistema

		(re)calcule o nível hierárquico. Aparece apenas para as relações de ordem superior que não se caracterizam como Limitações.
* - O processo de exclusão de uma correspondência é realizado em cascata, ou seja, quando uma correspondência é excluída, todas as relações estabelecidas à correspondência são automaticamente excluídas, isso significa que as relações de primeira ordem ou ordem superior não apresentarão a correspondência excluída no seu conjunto de argumentos.		

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

O estabelecimento de relação entre as correspondências mapeadas é uma funcionalidade de extrema importância para o MAPES, pois é a partir dela que o sistema poderá calcular os níveis hierárquicos das relações de ordem superior, construir as expressões de concatenamento que definem a estrutura relacional comum e apresentar o conjunto representante da sistematicidade da analogia mapeada.

O Sistema MAPES consegue prever várias possíveis inconsistências advindas de possíveis erros do usuário/pesquisador. Contudo, devido à existência de fragilidade nesse processo, consideramos importante ter atenção ao executá-la e, se possível, sempre estabelecer todas as relações entre as correspondência imediatamente após a inserção das relações.

Ao se clicar no ícone de "Estabelecimento de Relações", o sistema apresenta uma lista (Figura 14) com todas as relações inseridas até o momento.

Para as relações de primeira ordem, os ícones **+E** e **+A** referem à inserção de elementos ou atributos como argumentos da relação, já para as relações de ordem superior, um ícone adicional (**+R**) permite que sejam inseridas relações de qualquer ordem no conjunto de argumentos da relação.

Figura 14 – Tela de listagem das relações cadastradas para estabelecimento de relação.

RELAÇÃO

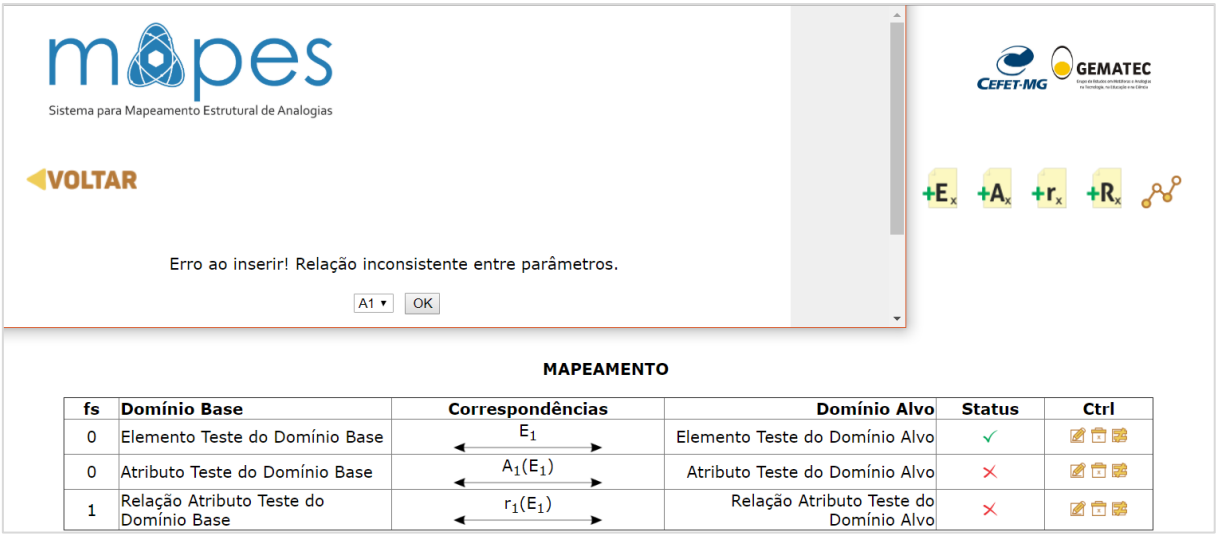
Domínio Base	Parâmetros	Domínio Alvo
Notas dos alunos em uma prova	$r_1()$ +E +A	Energia cinética (Ec) das moléculas em um sistema reacional
Nem todos os alunos têm a mesma nota em uma prova	$r_2()$ +E +A	Nem todas as moléculas têm a mesma energia cinética em um sistema reacional
Há alunos com bom desempenho (nota alta) e alunos com mau desempenho (nota baixa)	$R_1()$ +E +A +R	Há moléculas que se movimentam rapidamente e moléculas que se movimentam lentamente
Entre as notas dos alunos há uma média	$R_2()$ +E +A +R	Entre os valores de Ec das moléculas há uma média
Somente alunos com nota igual ou maior que a média para aprovação podem ser aprovados	$R_3()$ +E +A +R	Somente moléculas com energia cinética igual ou maior que a energia de ativação podem reagir
Nota média dos alunos na primeira prova aplicada	$R_4()$ +E +A +R	Ec média das moléculas na primeira condição de temperatura (temperatura mais baixa)
A nota média dos alunos, na primeira prova, foi inferior à nota mínima para aprovação	$R_5()$ +E +A +R	A Ec média das moléculas, na primeira condição de temperatura, foi inferior à energia de ativação da reação química
Na primeira prova houve uma pequena quantidade de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação	$R_6()$ +E +A +R	na primeira condição de temperatura houve uma pequena quantidade de moléculas com Ec igual ou superior à Ec de ativação
Redução na quantidade de alunos com notas inferiores à nota mínima, na segunda prova aplicada	$R_7()$ +E +A +R	Redução na quantidade de moléculas com energia inferior à energia de ativação, na temperatura mais elevada
Aumento da nota média dos alunos na segunda prova	$R_8()$ +E +A +R	Aumento da energia cinética média das moléculas, na temperatura mais elevada
Conservação do valor da nota mínima que serve de critério para a aprovação dos alunos	$r_3()$ +E +A	Conservação do valor da energia de ativação para a ocorrência da reação química
*Aumento da quantidade de alunos com nota igual ou superior à nota mínima para aprovação	$R_9()$ +E +A +R	Aumento da quantidade de moléculas com energia cinética igual ou superior à energia de ativação

CANCELAR

Fonte: Sistema MAPES (2019)

Ademais, uma importante restrição lógica a ser considerada no processo de estabelecimento de relações é a impossibilidade de se estabelecer uma relação direta entre um elemento e seu próprio atributo. O Sistema MAPES impede que esse tipo de relação seja desenvolvida no mapeamento e alerta sobre essa inconsistência (Figura 15). Vale dizer que o mesmo não ocorre quando o mapeamento é realizado manualmente.

Figura 15 – Restrição de estabelecimento de relação entre um Elemento e seu Atributo.



Fonte: Sistemas MAPES (2019)

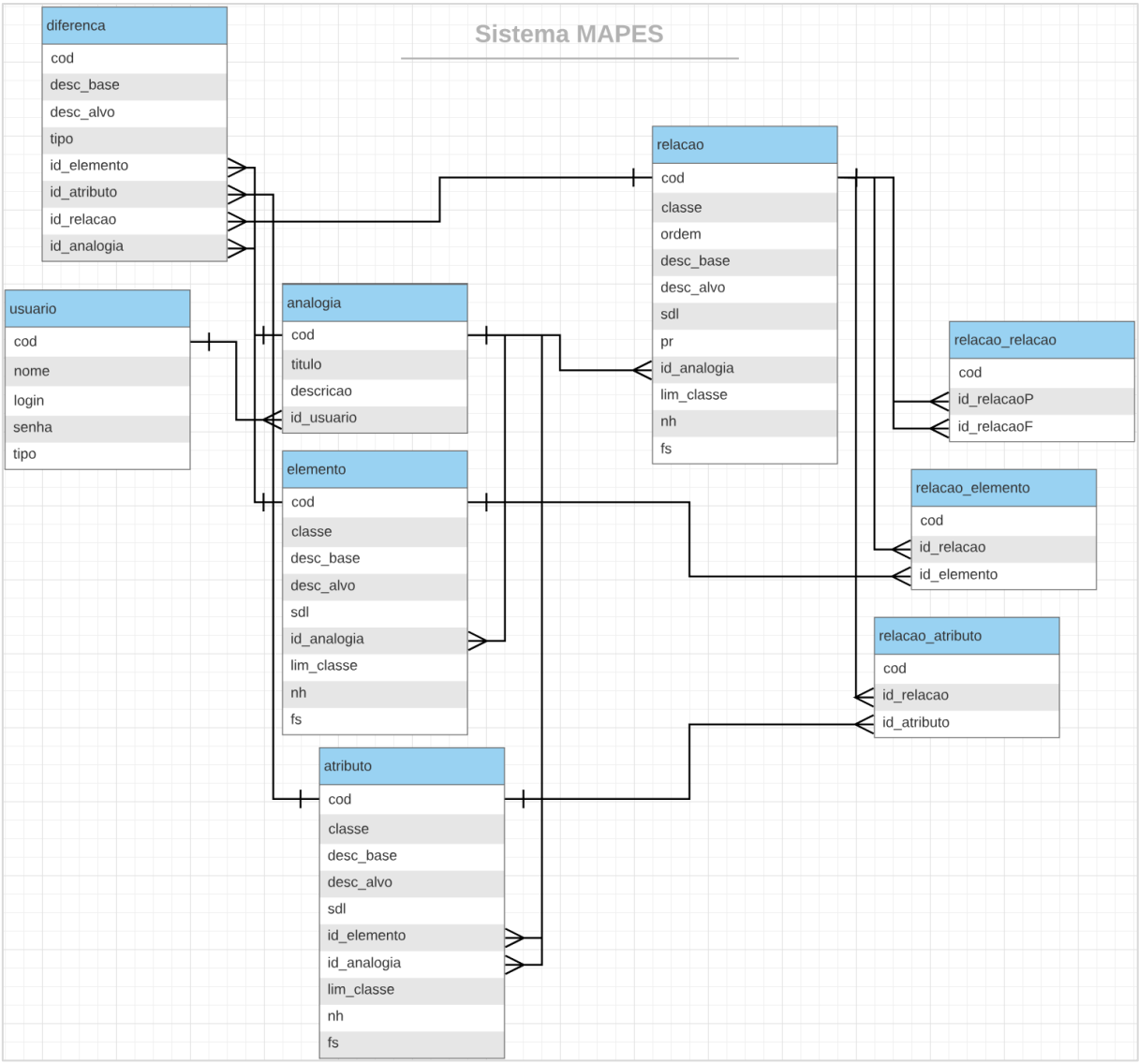
Repare que há uma tentativa de inserir o Atributo $A_1(E_1)$ no conjunto de argumentos de r_1 que já possui E_1 como argumento. O Sistema MAPES impede que essa relação direta seja estabelecida através do alerta "*Erro ao inserir! Relação inconsistente entre parâmetros*".

4.4.2. A base de dados do Sistema MAPES

A base de dados foi projetada para atender aos requisitos funcionais e não funcionais de forma a armazenar e permitir o processamento das informações para a construção adequada do mapeamento estrutural coerente com o que sugere o sistema de notações de Ferry e Paula (2017).

A Figura 16 apresenta o projeto de banco de dados construído para o Sistema MAPES.

Figura 16 – Projeto de Banco de Dados do Sistema MAPES



Fonte: Desenvolvido pela Autor em https://www.lucidchart.com

As tabelas "**analogia**", "**elemento**", "**atributo**" e "**relacao**" (sic) são tabelas principais na base de dados e armazenam as informações explicitas da comparação. As tabelas "**relacao_elemento**", "**relacao_atributo**" e "**relacao_relacao**" (sic) são tabelas auxiliares que armazenam o relacionamento entre elementos, atributos e relações mapeadas no sistema. A tabela "**diferenca**" armazena as diferenças relativas às correspondências principais do mapeamento (elementos, atributos ou relações). A tabela "**usuario**" armazena dados do usuário que constrói os mapeamentos.

4.4.3. Codificação do Sistema MAPES

A codificação do Sistema MAPES foi feita a partir de três linguagens: (1ª) o PHP, acrônimo para *Hypertext Processor* – uma linguagem de *script open source* de uso geral especialmente adequado para o desenvolvimento *web* e que pode ser embutido dentro do HTML; (2ª) o HTML, *Hypertext Markup Language* – uma linguagem baseada em marcação utilizada para o desenvolvimento de página *web*; e (3ª) o CSS, *Cascading Style Sheets* – uma "folha de estilo" composta por "camadas" e utilizada para definir a apresentação em páginas da internet que adotam para o seu desenvolvimento linguagens de marcação. Houve também pequenos trechos codificados em *java script*.

A escolha das linguagens foi orientada pelo objetivo de desenvolver de um sistema *web*, portanto, todas as linguagens utilizadas são direcionadas particularmente para o desenvolvimento de sistemas dessa natureza.

O desenvolvimento de um sistema exige várias etapas de planejamento, bem como uma equipe bem estruturada responsável pelas partes vitais do sistema. O MAPES foi desenvolvido apenas pelos pesquisadores desta investigação que cumpriram, na medida do possível, várias etapas de planejamento e desenvolvimento.

Há a possibilidade de apresentarmos outros documentos oriundos do planejamento e desenvolvimento do MAPES, contudo, como o desenvolvimento da ferramenta não é o foco principal deste trabalho, ao longo deste capítulo optamos por apresentar apenas as partes gerais que compuseram a implementação do Sistema.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o intuito de apresentar uma sequência lógica e facilitar a leitura das análises, este capítulo apresenta os resultados da pesquisa organizados em quatro seções: (1ª) o ensino de Equilíbrio Químico, na qual apresentamos as opiniões, ideias e percepções dos professores, participantes dos grupos focais, sobre a prática docente em química; (2ª) a análise estrutural unilateral do domínio alvo; (3ª) as análises estruturais e os dados dos grupos focais sobre as cinco analogias estudadas neste trabalho, organizadas nas seguintes subseções: (a) breve descrição do domínio base posto em comparação na analogia, (b) quadro do mapeamento estrutural, (c) apresentação e análise dos encadeamentos da estrutura relacional comum da analogia, (d) as potencialidades e fragilidades da analogia percebidas na análise estrutural e pelos participantes dos grupos focais, (e) a sistematicidade dada pelo algoritmo proposto nesta pesquisa; e (4ª) análise comparativa da sistematicidade das comparações.

Para evitar informações redundantes no cruzamento dos resultados, optamos por apresentar os dados obtidos nos grupos focais e nas análises estruturais simultaneamente, ao longo da discussão dos resultados.

5.1. O ensino de Equilíbrio Químico

A partir da categorização das falas transcritas dos áudios captados nos grupos focais e consideradas mais relevantes para esta pesquisa, foi possível identificar um perfil sobre as ideias, percepções e opiniões dos participantes dos grupos focais sobre o ensino de Equilíbrio Químico.

Participaram da pesquisa oito professores de Química, que foram divididos em dois grupos focais: o primeiro com três participantes e o segundo com cinco. A formação inicial dos professores varia entre licenciatura e/ou bacharelado em Química e bacharelado em Farmácia. Todos possuem pós-graduação na área de Química, tendo entre 6 a 20 anos de experiência docente com o ensino de Química. Além disso, todos os professores participantes atuam na mesma instituição de ensino, sendo que alguns atuam, predominantemente, em disciplinas técnicas do Curso Técnico em Química, oferecido pela

instituição tanto na modalidade integrada ao Ensino Médio quanto na subsequente ou concomitante, ou em disciplinas da graduação em Química Tecnológica, enquanto outros atuam no ensino de Química como componente curricular da formação geral de vários cursos técnicos da Educação Profissional Técnica de Nível Médio.

Em cumprimento dos cuidados éticos nas investigações que envolvem seres humanos, a fim de garantir o anonimato dos participantes, optamos por não apresentar informações mais precisas sobre os mesmos para evitar qualquer possibilidade de identificação. Nesse sentido, alteramos os textos que mencionam o nome ou o gênero dos participantes, fizemos referências aos mesmos, arbitrariamente, apenas no gênero masculino e identificamos cada professor com as letras A, B, C, D, E, F, G e H.

Os participantes foram questionados sobre as dificuldades existentes no ensino de Equilíbrio Químico, tanto sobre dificuldades do aluno em aprender, quanto sobre a dificuldade que o professor tem em ensinar. As principais dificuldades apontadas pelos grupos foram: reconhecer e prever as reações químicas, escrever as fórmulas químicas das substâncias envolvidas, identificá-las ou reconhecê-las, entender estequiometria, compreender a coexistência das espécies no mesmo recipiente, entender o deslocamento e princípio de Le Chatelier e compreender os cálculos referentes aos aspectos quantitativos da dinâmica das reações em equilíbrio.

Os professores demonstraram grande preocupação com conceitos importantes para o ensino de Equilíbrio Químico para os quais os alunos apresentam muita dificuldade, desde conceitos básicos iniciais, como cita o Professor B,

> ((04' 37"))**[[...]]** *então eu recebo alunos no quinto período com muita dificuldade/ os alunos chegam no quinto período/ com muita dificuldade em reconhecer as reações químicas/ e/ prever as reações químicas/* **[[...]]** *ele erra muito/ ele erra principalmente em reações químicas/...* (fala do Professor B)

até conceitos mais elaborados como aponta o Professor A:

> ((25' 36"))*o que eu já identifiquei/ o que eles têm mais dificuldade/ além da coexistência/ é o tal do deslocamento/* **[[...]]***/ a coexistência ali no deslocamento ainda fica mais evidente/ ou seja/ eles chegaram lá no conteúdo de/ princípio de Le Chatelier/ sem entender o que que era equilíbrio/ e aí/ quando vem a questão do deslocamento/ eles têm uma dificuldade/ assim/ gigante/ muito grande mesmo/ que eu já tenho identificado nos alunos/ o porquê que desloca/ por que que tem que deslocar/ eles ficam perguntando/;* (fala do Professor A)

Outras dificuldades foram levantadas a respeito dos desafios e dificuldades enfrentadas pelos professores ao ensinar Equilíbrio Químico, que vão ao encontro das dificuldades apresentadas pelos alunos, como aponta o Professor C:

> ((11' 59")) **[[...]]** *no ensino médio/ se no ensino superior/ isso é um pouquinho difícil/ pros meninos/ na percepção dos meninos/ no médio/ às vezes/ no primeiro momento/ é quase catastrófico/ então/ na representação das reações/ o/ a primeira coisa que você encontra é/ você mostra pro aluno/ como que é uma reação/ que uma coisa se transforma em outra/ aí/ quando você vai corrigir a avaliação/ a primeira coisa que você detecta é/ o reagente é igual ao produto/ na simbologia/...* (fala do Professor C)

Cada fala revelou a preocupação nos dois sentidos: na percepção dos professores, tanto os alunos apresentam barreiras para aprender os conceitos da Química escolar, quanto os professores encontram barreiras para tornar esses conceitos mais inteligíveis e acessíveis aos alunos. O Professor G, por exemplo, deu um depoimento no qual apresenta a dificuldade de encontrar suporte até nos materiais didáticos, como podemos ver em sua fala a seguir:

> ((01 14' 50")) **[[...]]** *a Química é uma ciência muito difícil/ aprender Química é muito difícil/ ensinar Química é muito difícil/ não existe nada fácil em Química/ se você falar assim/ olha/ vou ensinar hoje só uma reação de neutralização/ aí cê abre os livros/ todo mundo fala de forma errada neutralização/ confunde neutralização com salinificação/ é erro/ erro/ erro/ um atrás do outro/ então/ por isso que eu considero que ensinar Química é difícil/ ensinar Química é muito difícil/ fica mais fácil quando a gente vai no fenômeno/ diretamente no fenômeno/ agora/ por outro lado/ a gente nota que algumas pessoas têm muita dificuldade de compreender o fenômeno e querem sair/ outros/ são super curiosos e querem ficar exatamente porque é difícil/ porque estimulou/* **[[...]]** (fala do Professor G)

O Professor H apresenta outra necessidade no campo do ensino que é o domínio sobre o conteúdo ensinado:

> ((56' 59")) **[[...]]** *eu só acho que para a gente ensinar um assunto a gente tem que procurar entender ele bem primeiro/ e/ equilíbrio químico é um assunto muito difícil para a gente saber/ mais difícil ainda para a gente ensinar/ num é (?)/...* (fala do Professor H)

A partir das falas apresentadas até aqui e de outras proferidas durante os grupos focais, foi possível perceber a preocupação dos professores em relação às dificuldades dos alunos em aprender e a dificuldade de professores em ensinar Química, além de pontuarem uma certa ineficiência dos materiais didáticos que geralmente contém erros na apresentação dos conteúdos. Assim, as analogias, como mostrado ao longo dessa dissertação, podem ser uma alternativa de recurso mediacional didático que favoreça a forma de apresentação desses conceitos tidos como complexos e abstratos, uma vez que,

quando usadas adequadamente, são grandes aliadas no processo de ensino e aprendizagem.

5.2. Análise unilateral do domínio alvo: Equilíbrio Químico

Os mapeamentos estruturais das comparações analisadas nesta pesquisa foram desenvolvidos a partir da codificação unilateral[26] do domínio alvo que está apresentada no Quadro 12. Essa codificação foi guiada pelo mapa conceitual construído a partir da interpretação dos conceitos que compõem a dinâmica das reações em equilíbrio e são fundamentais para a compreensão do Equilíbrio Químico. Além disso, foram consideradas várias referências de artigos (p. ex.: RAVIOLO e GARRITZ, 2008) e de livros didáticos de Química para o Ensino Superior (p. ex.: BROWN, LeMAY e BURSTEN, 2005) que apresentam o conteúdo de Equilíbrio Químico para a composição desse quadro, como demonstramos no Capítulo 4 desta dissertação.

Quadro 12 – Quadro conceitual: composição estrutural do domínio alvo das analogias relacionada aos conceitos que permeiam a dinâmica das reações em equilíbrio químico.

CONCEITO		ITEM MAPEADO	CÓDIGO DO MAPEAMENTO DAS CORRESPONDÊNCIAS
Sistema reacional		Recipiente (meio reacional)	E_1
	Substâncias	Reagentes (A + B)	E_2
		Produtos (C + D)	E_3
		Tempo	E_4
		Fatores externos (variações de temperatura, adição de substâncias etc.)	E_5
		Concentrações dos reagentes	$A_1(E_2)$
		Concentrações dos produtos	$A_2(E_3)$
		Capacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente aberto)	$A_3(E_1)$
		Incapacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente fechado)	$A_4(E_1)$

[26] Chamamos de codificação unilateral a identificação dos conceitos fundamentais de Equilíbrio Químico associados às notações de Ferry (2018) para o mapeamento estrutural. Apontamos assim as possíveis correspondências a serem mapeadas entre o Equilíbrio Químico e os Domínios Base apresentados pelas comparações analisadas nesta pesquisa.

Transformação		As substâncias A e B interagem para se transformar nas substâncias C e D.	$r_1(E_2, E_3)$
		As substâncias C e D interagem para se transformar nas substâncias A e B.	$r_2(E_3, E_2)$
Reação química		***Reação química direta – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite A e B se transformarem em C e D (r_1).	${}^2R_1(E_1, r_1)$
	Reversibilidade	***Reação química inversa – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite as substâncias C e D reconstituírem A e B (r_2).	${}^2R_2(E_1, r_2)$
Simultaneidade		A reação química direta acontece ao mesmo tempo que a reação química inversa dentro do recipiente	${}^3R_3(E_1, E_4, {}^2R_1, {}^2R_2)$
Velocidade das reações		Velocidade da reação química direta (uma ocorrência em função do tempo)	${}^3R_4({}^2R_1, E_4)$
		Velocidade da reação química inversa (uma ocorrência em função do tempo)	${}^3R_5({}^2R_2, E_4)$
Coexistência*		Devido a reversibilidade das reações no sistema, todas as espécies químicas (reagentes e produtos) coexistem permanentemente.	${}^3R_6(E_1, {}^2R_1, {}^2R_2)$
Equilíbrio químico		Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no sistema reacional	${}^4R_7({}^3R_4, {}^3R_5)$
Conservação das concentrações		A ocorrência simultânea das reações com a mesma taxa de desenvolvimento (velocidade) garante a conservação das concentrações dos reagentes e dos produtos, que coexistem no sistema reacional.	${}^4R_8(A_1, A_2, {}^3R_3, {}^3R_4, {}^3R_5, {}^3R_6)$
		Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	${}^5R_9({}^4R_7, {}^4R_8)$
Perturbação		Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as velocidades das reações e a conservação das concentrações dos reagentes e produtos no sistema reacional.	${}^6R_{10}(E_5, {}^5R_9)$
		Uma perturbação pode favorecer a reação inversa (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos reagentes.	${}^7R_{11}({}^6R_{10}, {}^2R_2, A_1)$
		Uma perturbação pode favorecer a reação direta (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos produtos.	${}^7R_{12}({}^6R_{10}, {}^2R_1, A_2)$
Princípio de Le Chatelier**:		Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação	${}^8R_{13}$ (${}^7R_{11}$, ${}^3R_4$)

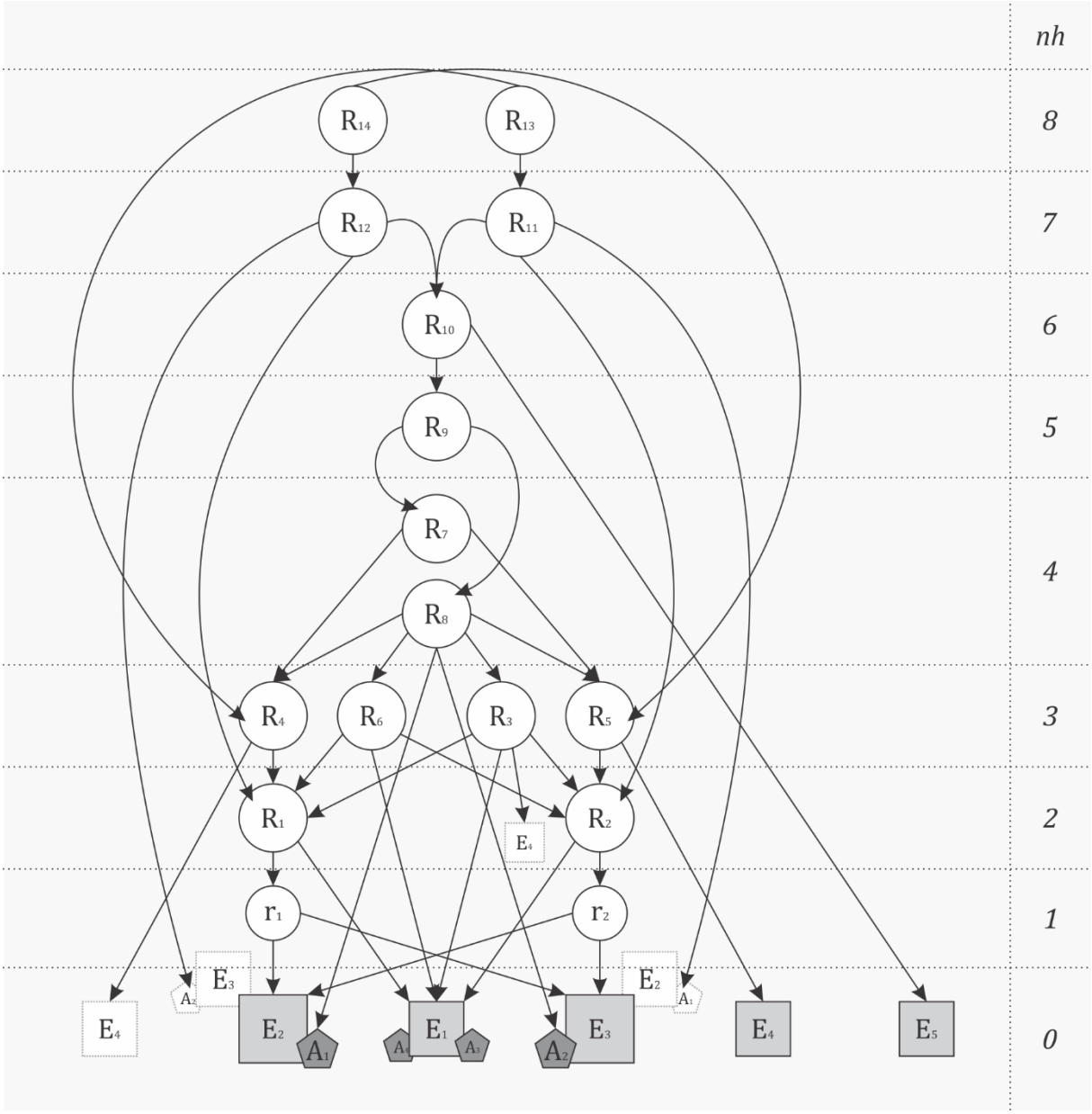
deslocamento do equilíbrio químico	inversa por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação direta.	
	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação direta por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação inversa.	$^{8}R_{14}$ ($^{7}R_{12}$, $^{3}R_{5}$)
* - Se a reação direta não fosse reversível, a coexistência de reagentes e produtos seria temporária, deixaria de ser percebida ao término do consumo dos reagentes. ** - ATKINS e JONES (2001, p. 495)[27]; BROWN, LeMAY e BURSTEN (2005, p. 549)[28] *** - As reações químicas direta e inversa forma apresentadas como conceitos associados a relações diferentes das relações associadas ao conceito de "transformação" a fim de evidenciar que as mesmas, na dinâmica do equilíbrio químico, se configuram como fenômenos que, no estabelecimento das analogias, podem ser colocados em correspondência com situações que também se constituem como processos, independentemente de envolverem transformações químicas.		

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

Para que fosse possível o desenvolvimento de critérios de comparação entre as análises estruturais das analogias sobre Equilíbrio Químico, foi necessária, antes, uma análise unilateral do domínio alvo comum a todas elas, para o qual projetamos estimativas de sistematicidade e estrutura do sistema de relações interconectadas que representam as interdependências dos conceitos fundamentais da dinâmica das reações em equilíbrio. Portanto, para o domínio alvo dessas comparações, exaustivamente mapeamos cinco elementos, quatro atributos de alguns desses elementos, duas relações de primeira ordem e quatorze relações de ordem superior, cuja estrutura relacional e os níveis hierárquicos dos elementos, atributos e relações estão apresentados na Figura 17.

[27] ATKINS, Peter; JONES, Loretta. *Princípios de química*: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ignez Caracelli [et al]. Porto Alegre: Bookman, 2001.
[28] BROWN, T. L.; LeMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. *Química, a ciência central*. Tradução: Robson Matos. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

Figura 17 – Representação gráfica da Estrutura Relacional do Domínio Alvo.

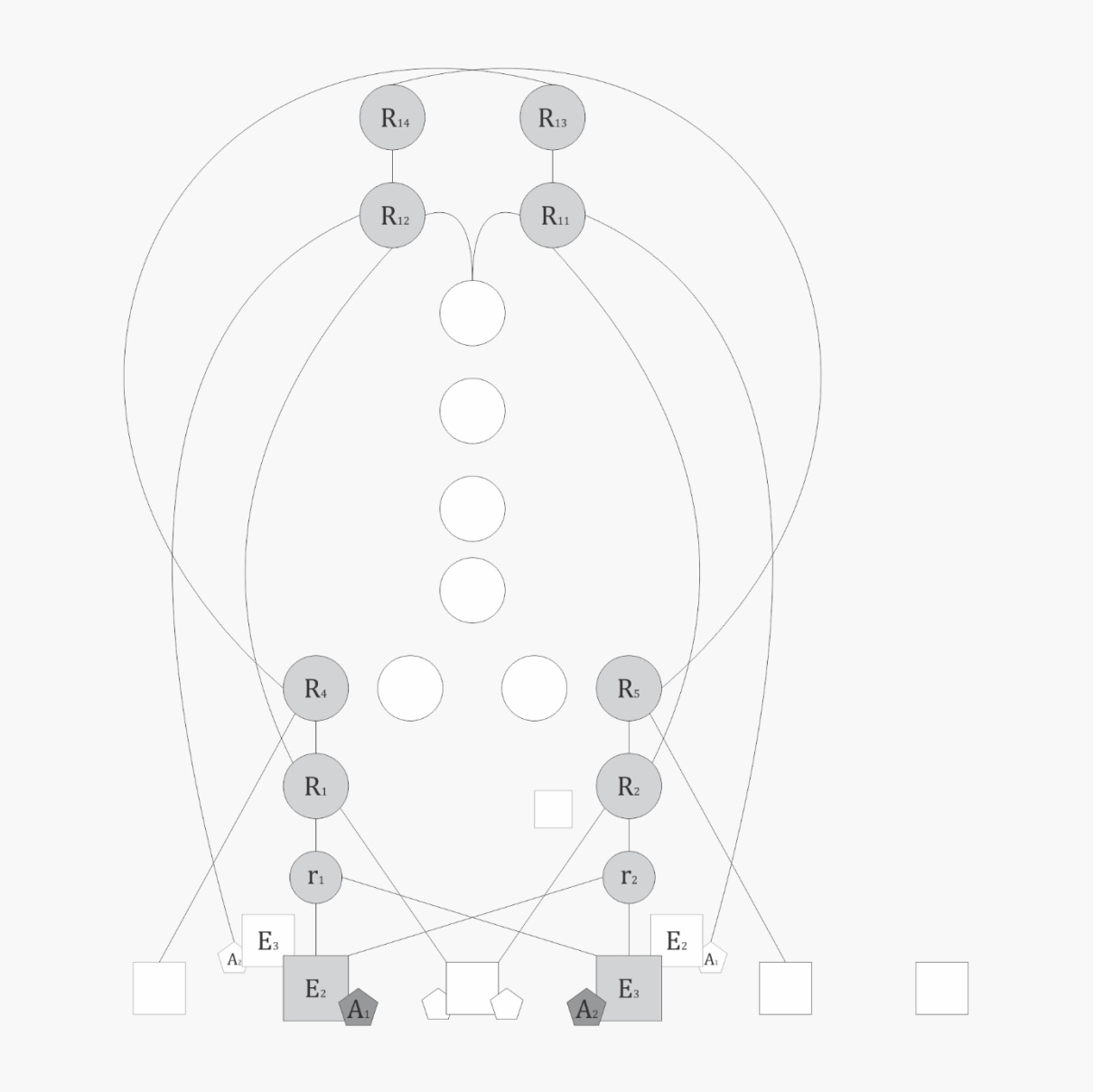


Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Consideramos importante notar que, devido a reversibilidade ser algo fundamental na dinâmica das reações em equilíbrio, algumas relações apresentaram simetria em relação aos reagentes (**E_2**) e produtos (**E_3**), ou seja, descrevem o mesmo processo, porém inversamente. Por exemplo, a relação **$^2R_1$** codifica o processo de transformação dos reagentes em produtos, denominado *reação direta*, já a **$^2R_2$** codifica o mesmo processo de transformação, porém inverso, onde os produtos restituem-se novamente em reagentes – a *reação inversa*. Portanto, identificamos cinco pares de relações simétricas: r_1 e r_2; $^2R_1$ e $^2R_2$; $^3R_4$ e $^3R_5$; $^7R_{11}$ e $^7R_{12}$; e $^8R_{13}$ e $^8R_{14}$, como podemos

ver na Figura 18. As relações simétricas partem direta ou indiretamente dos elementos **E2**, reagentes, ou **E3**, produtos.

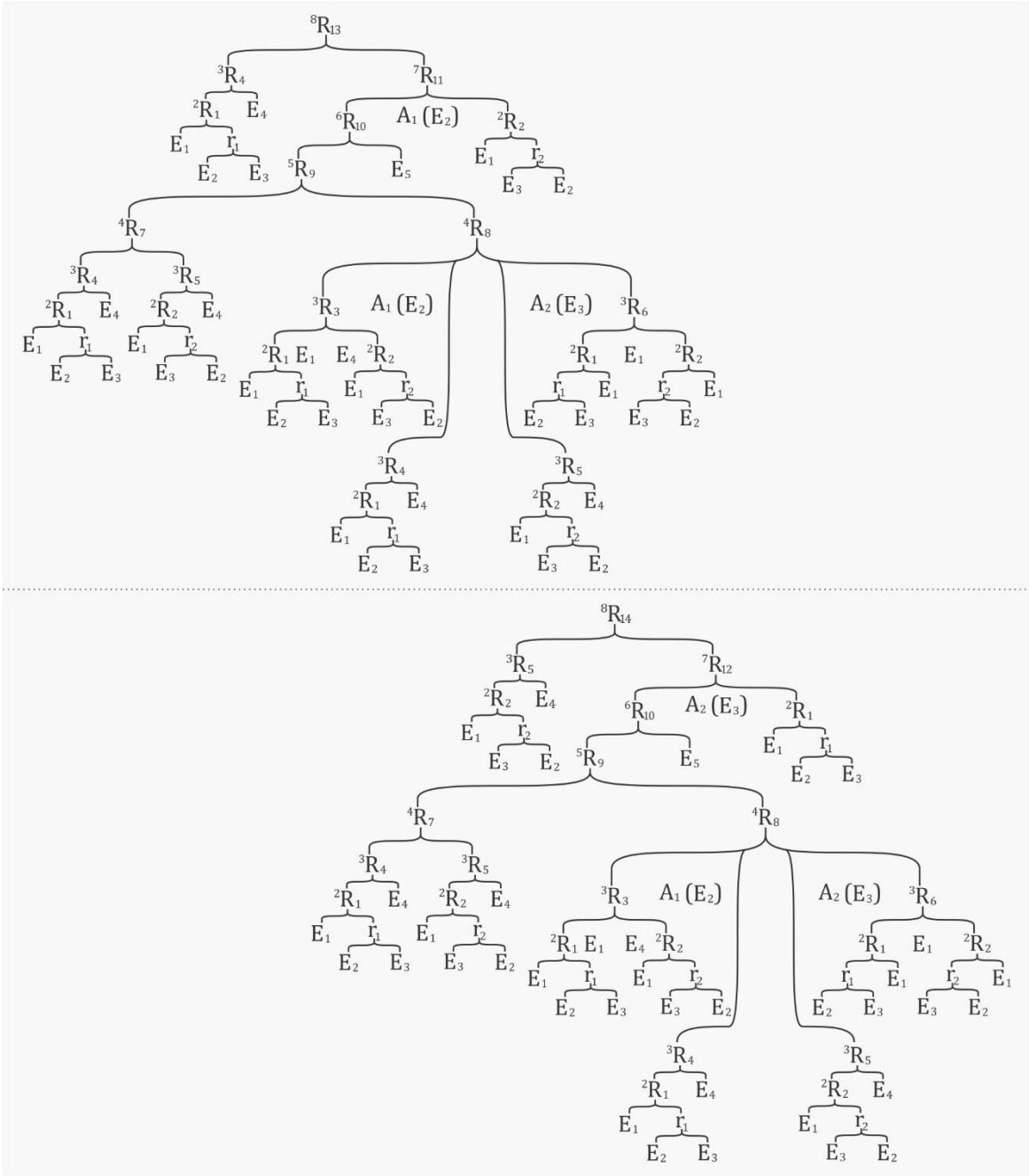
Figura 18 – Representação gráfica da simetria entre relações constituintes do Domínio Alvo: a dinâmica e as implicações de sistemas reacionais em equilíbrio químico.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A estrutura relacional do domínio alvo, apresentada na Figura 19 a seguir, é representada pelas relações simétricas **^{8}R13** e **^{8}R14**, relações de ordem superior que englobam, indiretamente, entre seus argumentos, todas as demais estruturas mapeáveis do domínio alvo. Essa estrutura relacional nos permite visualizar os encadeamentos possíveis entre todas as relações mapeáveis do domínio alvo – a dinâmica e as implicações de sistemas reacionais em equilíbrio químico.

Figura 19 – Estrutura Relacional do Domínio Alvo



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A partir da codificação das relações mapeadas no Domínio Alvo, foi possível estabelecer uma projeção dos fatores de sistematicidade de cada estrutura mapeada, calculados por meio do Sistema MAPES. Esses valores estão apresentados no Quadro 13.

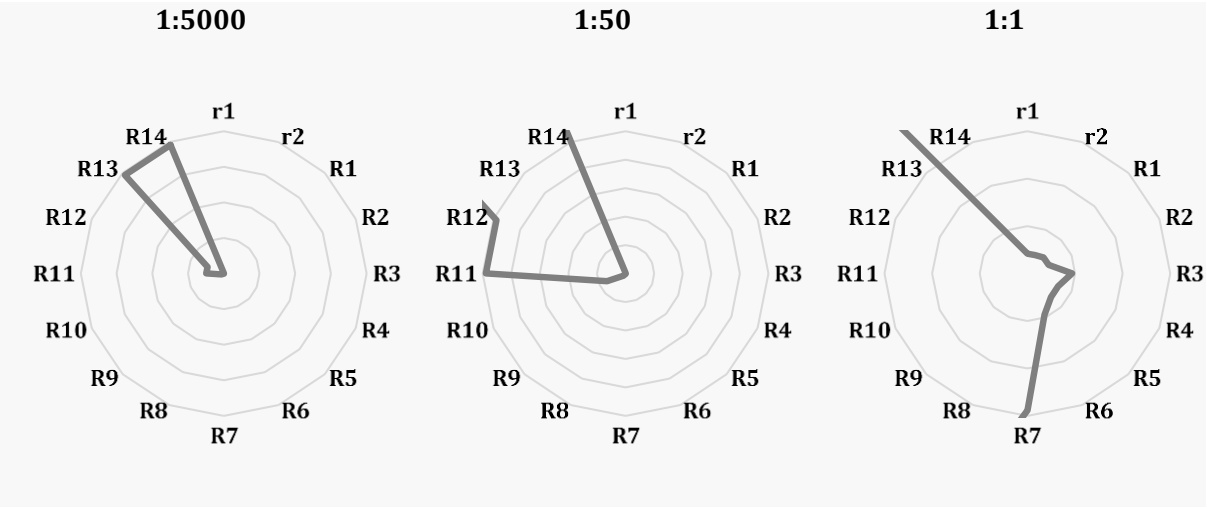
Quadro 13 – Projeção dos Fatores de Sistematicidade das relações mapeáveis no domínio alvo das comparações em estudo.

r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

A partir dos fatores de sistematicidade das relações mapeadas no domínio alvo, foi possível apresentar gráficos de radar que representam o que denominamos de *espectro da sistematicidade* do domínio alvo. A Figura 20 apresenta três representações desse espectro n as escalas: 1:5000, 1:50 e 1:1. Essas escalas foram necessárias para que pudéssemos comparar visualmente os espectros de sistematicidade das comparações/analogias que apresentaram menor sistematicidade do que a esperada para o domínio alvo.

Figura 20 – Projeção do Espectro de Sistematicidade do Domínio Alvo



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

O espectro de sistematicidade do domínio alvo nos mostra que o afastamento do eixo central do domínio se direciona para as relações $^{8}\mathbf{R_{13}}$ e $^{8}\mathbf{R_{14}}$ que, consequentemente, representam sua estrutura relacional. Assim, podemos dizer que a sistematicidade projetada para esse domínio é dada pelo seguinte conjunto:

$$S = \{781944, 781944\}$$

A análise estrutural do domínio alvo nos revelou que a dinâmica das reações em equilíbrio é um conteúdo de alta complexidade para ser ensinado, o que corrobora com a fala dos professores durante os grupos focais. Essa complexidade pode ser observada pela

interrelação entre os conceitos fundamentais do Equilíbrio Químico. Em outras palavras, por meio da dedução da estrutura relacional do domínio alvo e de sua representação gráfica (Figura 17), consideramos que esse tópico de conteúdo da Química escolar é essencialmente relacional, diferentemente de outros tópicos conteúdo que, aparentemente, apresentariam caráter mais descritivo.

5.3. As análises das Comparações

Nesta seção, apresentamos as análises estruturais feitas a partir dos mapeamentos estruturais elaborados com o Sistema MAPES, juntamente com os dados gerados na apreciação das comparações realizadas pelos professores participantes dos grupos focais.

5.3.1. Comparação A

A Comparação A (**Anexo I**) propõe explicar os conceitos de equilíbrio químico formulando uma analogia cujo domínio base é a rotina de um estacionamento de um centro de vendas nas vésperas do feriado de Natal. A seguir, no Quadro 14, apresentamos o mapeamento estrutural dessa comparação.

Quadro 14 – Mapeamento estrutural da Comparação A.

FS	DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIA	DOMÍNIO ALVO	STATUS
0	Estacionamento	E_1 ↔	Recipiente	✓
0	Carros fora de vaga	E_2 ↔	Reagente (A + B)	✓
0	Carros em vaga	E_3 ↔	Produtos (C + D)	✓
0	Tempo	E_4 ↔	Tempo	✓
0	Fatores externos	E_5 ↔	Fatores externos	✓
0	Quantidade de carros fora de vaga	$A_1(E_2)$ ↔	Concentração dos reagentes	✓
0	Quantidade de carros em vaga	$A_2(E_3)$ ↔	Concentração dos produtos	✓
0	Carros saem e entram no estacionamento	$A_3(E_1)$ ↔	Capacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente aberto)	✗
0	Não há atributo correspondente	$L_1:[A_4(E_1)]$ ↔	Incapacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente fechado)	✗

0	Os carros são guiados por seres vivos e podem apresentar comportamento inesperado.	L_2:[A_5(E_2/E_3)]* ↔	Não há atributo correspondente no DA.	✗
1	Carros entram, circulam no estacionamento e ocupam vagas	r_1(E_2, E_3) ↔	As substâncias A e B interagem para se transformar nas substâncias C e D.	✓
1	Carros desocupam as vagas, circulam no estacionamento e vão embora	r_2(E_3, E_2) ↔	As substâncias C e D interagem para se transformar nas substâncias A e B.	✓
4	Ocupação de vagas pelos carros	$^2R_1$(E_1, r_1) ↔	Reação química direta – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite A e B se transformarem em C e D (r1).	#
4	Desocupação de vagas pelos carros	$^2R_2$(E_1, r_2) ↔	Reação química inversa – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite as substâncias C e D reconstituírem A e B (r2).	#
27	A ocupação de vagas pelos carros acontece ao mesmo tempo que a desocupação de vagas no estacionamento	$^3R_3$(E_1, E_4, $^2R_1$, $^2R_2$) ↔	A reação química direta acontece ao mesmo tempo que a reação química inversa dentro do recipiente	#
15	Velocidade da ocupação de vagas pelos carros (uma ocorrência temporal)	$^3R_4$(E_4, $^2R_1$) ↔	Velocidade da reação química direta (uma ocorrência em função do tempo)	#
15	Velocidade da desocupação de vagas pelos carros (uma ocorrência temporal)	$^3R_5$(E_4, $^2R_2$) ↔	Velocidade da reação química inversa (uma ocorrência em função do tempo)	#
27	Devido a reversibilidade dos dois processos (ocupação e desocupação de vagas), no estacionamento há carros em vaga e carros fora de vaga.	$^3R_6$(E_1, $^2R_1$, $^2R_2$) ↔	Devido a reversibilidade das reações no sistema, todas as espécies químicas (reagentes e produtos) coexistem permanentemente.	#
124	Quando as velocidades dos processos de ocupação e desocupação de vagas se igualam, estabelece-se um equilíbrio dinâmico no estacionamento.	$^4R_7$($^3R_4$, $^3R_5$) ↔	Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no sistema reacional	#
340	A ocorrência de desocupação e ocupação de vagas com a mesma velocidade garante que a quantidade de carros em vaga e a quantidade de carros fora de vaga sejam constantes no estacionamento.	$^4R_8$(A_1, A_2, $^3R_3$, $^3R_4$, $^3R_5$, $^3R_6$) ↔	A ocorrência simultânea das reações com a mesma taxa de desenvolvimento (velocidade) garante a conservação das concentrações dos reagentes e produtos que coexistem no sistema reacional.	#
2325	Durante o estado de equilíbrio dinâmico, as quantidades de carros em vaga e fora de vaga se mantêm constantes, mas não são necessariamente iguais.	$^5R_9$($^4R_7$, $^4R_8$) ↔	Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	#
13956	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio	$^6R_{10}$(E_5, $^5R_9$) ↔	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio	#

	dinâmico, de modo a afetar as velocidades dos processos de ocupação e desocupação de vagas pelos carros no estacionamento.		dinâmico, de modo a afetar as velocidades das reações e a conservação das concentrações dos reagentes e produtos no sistema reacional.	
97727	Uma perturbação pode favorecer o processo de desocupação de vagas, de modo a provocar o aumento da quantidade de carros saindo do estacionamento (fora de vagas).	$^{7}R_{11}(A_1, {}^{2}R_2, {}^{6}R_{10})$ ⟷	Uma perturbação pode favorecer a reação inversa (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos reagentes.	#
97727	Uma perturbação pode favorecer o processo de ocupação de vagas provocando o aumento da quantidade de vagas ocupadas**.	$^{7}R_{12}(A_2, {}^{2}R_1, {}^{6}R_{10})$ ⟷	Uma perturbação pode favorecer a reação direta (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos produtos.	#
0	Mesmo após uma perturbação do estado de equilíbrio dinâmico, por meio do favorecimento do processo de desocupação de vagas, por um fator externo, o "sistema" não tende, por si só, a restabelecer a situação de equilíbrio, pois o aumento do número de vagas disponíveis não garante o aumento da taxa de ocupação.	L_3:[$^{8}R_{13}(^{3}R_4, {}^{7}R_{11})$] ⟷	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação inversa por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação direta.	#
0	Mesmo após uma perturbação do estado de equilíbrio dinâmico, por meio do favorecimento do processo de ocupação de vagas, por um fator externo, o "sistema" não tende, por si só, a restabelecer a situação de equilíbrio; o aumento da quantidade de vagas ocupadas pode se dar até a ocupação total do estacionamento.	L_4:[$^{8}R_{14}(^{3}R_5, {}^{7}R_{12})$] ⟷	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação direta por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação inversa.	#
-	Os carros que entram não se transformam em outros veículos	D_1:[$r_1(E_1, E_2)$] ⟷	Os reagentes são transformados em outras substâncias	-
-	Os carros que desocupam vagas não se transformam em outros veículos	D_2:[$r_2(E_1, E_3)$] ⟷	Os produtos são transformados em outras substâncias	-

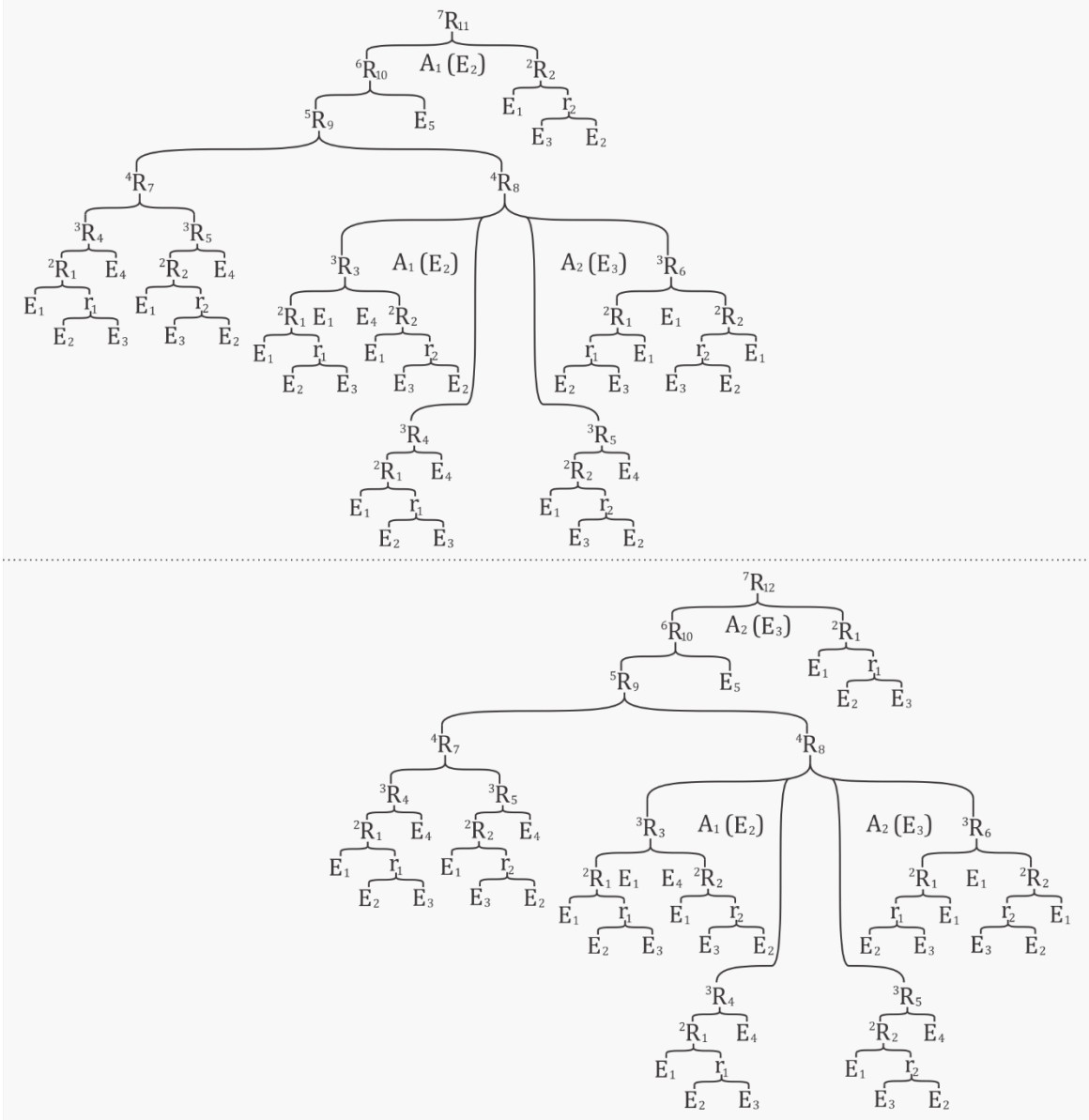
* O atributo A_5 do elemento E_1 recebeu essa numeração por ter sido um atributo mapeado após os quatro atributos provenientes da caracterização do domínio alvo no Quadro 12.
** Essa correspondência que trata da possibilidade do aumento do número de vagas ocupadas em decorrência de alguma perturbação na velocidade de ocupação das vagas somente faz sentido considerando que no estacionamento há muitas vagas disponíveis, ou seja, o estacionamento não está lotado.

Fonte: Desenvolvido pelo Autor via MAPES (2019)

Primeiramente, a partir do mapeamento estrutural apresentado no Quadro 14, foi possível constatar dois aspectos estruturais fundamentais: (1°) a Comparação A é estruturalmente consistente, pois entre todos os elementos e atributos similares há uma correspondência um a um e, entre todas as relações colocadas em correspondência, há uma conectividade em paralelo sobre seus argumentos/parâmetros; e (2°) a Comparação A possui foco relacional, haja vista a quantidade de relações em correspondência (2 relações de primeira ordem e 12 relações de ordem superior) ser bastante superior à quantidade de atributos em correspondência (3 atributos). Considerando apenas essas duas constatações, de acordo com o nosso referencial teórico, podemos afirmar que a Comparação A se configura como uma analogia.

Além disso, o mapeamento estrutural da Comparação A (ou Analogia A) nos mostra que as relações $^{7}\mathbf{R}_{11}$ e $^{7}\mathbf{R}_{12}$ são as de maior nível hierárquico em correspondência entre os dois domínios. Assim, a estrutura relacional comum dessa analogia é representada por essas duas relações de ordem superior (ou de sétima ordem), apresentada na Figura 21.

Figura 21 – Estrutura Relacional Comum da Comparação/Analogia A

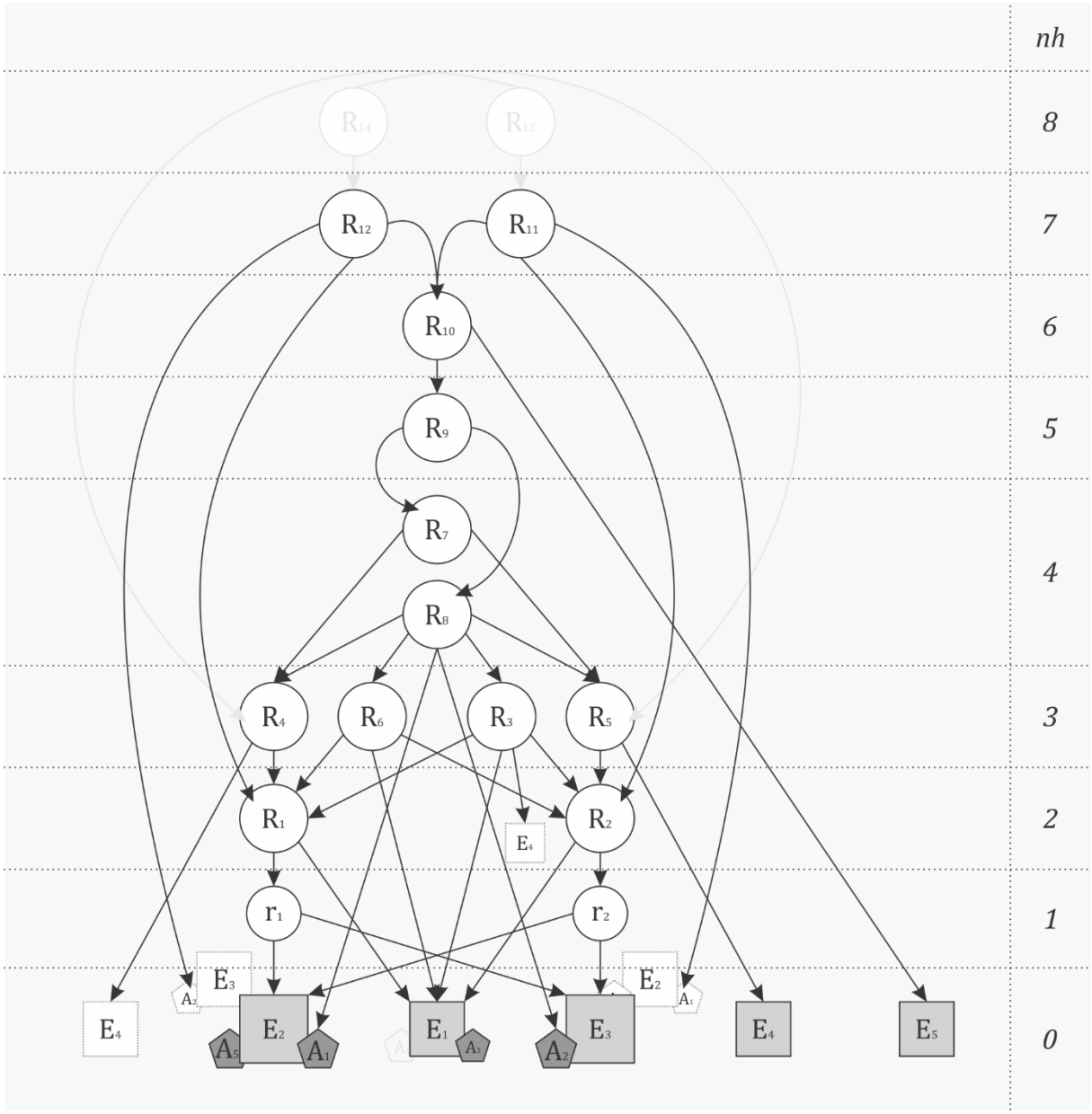


Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A Figura 22 a seguir apresenta a representação gráfica da estrutura relacional comum da analogia A, elaborada com o propósito de confrontá-la com a representação gráfica da estrutura relacional do domínio alvo (Figura 17). De modo complementar ao mapeamento estrutural do Quadro 14, essa representação gráfica evidenciou as limitações da Analogia A em apresentar relações correspondentes com as proposições decorrentes do Princípio de Le Chatelier, que está descrito nas relações simétricas $^{8}\mathbf{R}_{13}$ e $^{8}\mathbf{R}_{14}$ da estrutura relacional do domínio alvo. Isso, devido à ausência de um componente lógico que nos leve a visualizar um reestabelecimento espontâneo do equilíbrio descrito

na situação. Contudo, os professores não fizeram comentários pontuais sobre essas limitações.

Figura 22 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Analogia A.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

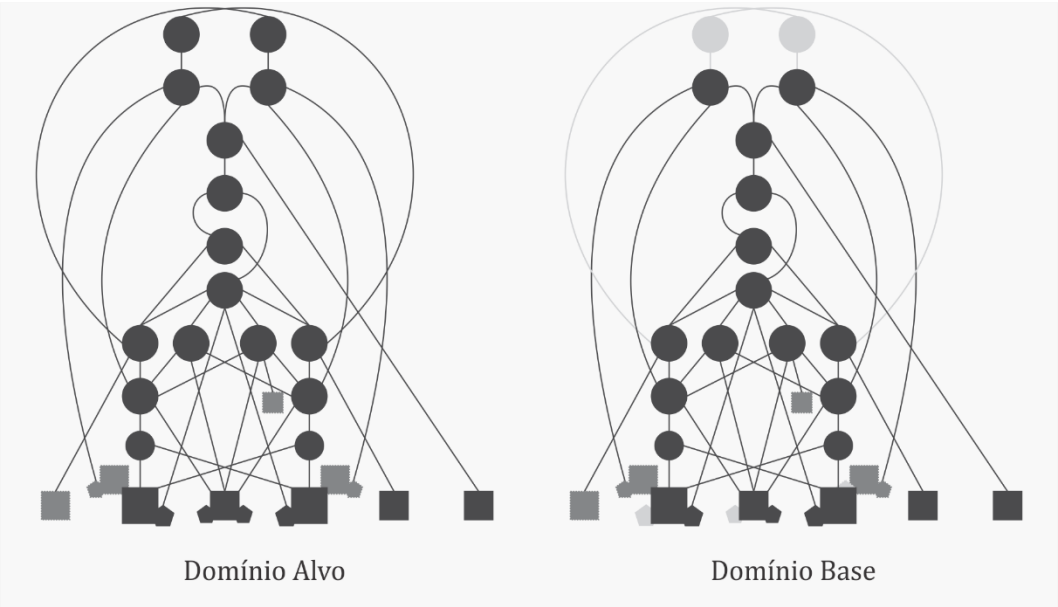
A representação gráfica da estrutura relacional comum da Analogia A nos permitiu, também, apresentar os domínios de forma a favorecer a visualização dos níveis hierárquicos das correspondências mapeadas.

Outra limitação presente na Analogia A, representada pelo atributo **A_5** de **E_2/E_3** e descrita como "carros são guiados por seres vivos e podem apresentar comportamento inesperado", foi apontada como uma limitação importante a ser tratada

em sala de aula, uma vez que há a interação de seres autônomos que não possuem comportamentos regulares. Embora essa limitação não tenha sido apontada pelos professores durante os grupos focais a respeito da Comparação A, os mesmos fizeram esse apontamento em outras comparações nas quais os seres vivos (peixes e moscas) estavam mais em evidência, como as Comparações C e D.

Para uma melhor visualização das diferenças estruturais existentes entre o domínio alvo e o domínio base da Analogia A, podemos observar a Figura 23 que apresenta as sombras da estrutura relacional do DA e da estrutura relacional do DB, respectivamente, num contraste de cinza mais claro, indicando as limitações apresentadas pela analogia.

Figura 23 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia A.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

5.3.1.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia A a partir da análise estrutural e dos grupos focais

A Analogia A demonstrou, por meio do mapeamento estrutural, limitações em apresentar correspondências para explicar o Princípio de Le Chatelier, como vimos anteriormente, e dificuldades em apresentar, de forma clara, os conceitos de transformação. Outro ponto que gerou certo incômodo nos professores durante a

discussão nos grupos focais foi o fato da situação apresentada na comparação sugerir um sistema aberto que troca constantemente matéria com o meio externo, como podemos ver nas falas de alguns professores.

> ((41' 58")) *é/ mas tem algumas/ por exemplo/ assim/ essa aqui tem uma mudança de matéria/ né(!?)/ a perda de matéria/ entra matéria nova e sai/ já é um exemplo que eu não gosto muito/* ((42' 05"))[...]/ ((42' 08"))*então assim/;* (fala do Professor B)
>
> ((50' 25")) **[[...]]** *mas por exemplo/ quando eu pego/ essa ideia de que sai um carro e chega outro/ isso não dá uma ideia para mim de equilíbrio químico/ porque o carro que tá saindo/ não é o outro carro que vai chegar/ por exemplo/ são coisas totalmente diferentes/ se eu tenho aqui o carro amarelo/ verde/ azul/ parece ter um monte de reagentes diferentes/ e aqui ele não comenta nada em relação as cores/ eu acho/***[[...]]** *talvez/ se ela fosse um pouco mais lapidada no sentido assim/ olha/ o amarelo e o vermelho estão atrelados de alguma maneira/ e o azul com o verde/ então sempre que sair./ entrar o verde/ vai formar/ vai sair o amarelo/ não sei/ tá estranho para mim essa ideia aqui/ qualquer um sai/ qualquer um chega/ é equilíbrio(!?)/ tem cores os carros aqui/...* (fala do Professor F)
>
> ((01 00' 51")) *mas/ é.../ se um sistema em equilíbrio químico ele não perde nem ganha massa/ então/ não pode ter carro saindo nem carro entrando/ né(!?)/ para começar/ o que poderia ter aqui é uma troca/ vamos supor assim/ lataria./ metade da vermelha troca com a verde/ naquela linha que cê tava (sic) trabalhando/ então a trans.../ aqui não tem transformação nenhuma/ aqui é mais um exemplo de fluxo/ igual o* ***[OMITIDO - Professor D]*** *mostrou ali/ tem carro que entra/ carro que sai/ carro que entra/ carro que sai/...* (fala do Professor H)

Alguns professores questionaram a situação de equilíbrio dessa comparação. Para eles, trata-se de um estado estacionário, fazendo referência à Comparação B, cuja análise está apresentada mais adiante, para exemplificar esse estado diferenciando-o do conceito de equilíbrio químico, como expressou o Professor D.

> ((53' 55")) *deixa eu só colocar o que eu penso aqui/ depois você vai definir exatamente/ ó./ aqui./ essa analogia do estacionamento é igual a analogia da água/ tá dizendo que o volume aqui permanece constante/ porque a velocidade./ a quantidade que entra é igual a quantidade que sai/ na mesma taxa/ né(!?)/ de velocidade/ isso não é equilíbrio químico/ isso se chama estado estacionário/ porque(?)/ mantém a mesma quantidade/ porque ao mesmo tempo que / a mesma quantidade que sai/ é igual a quantidade que entra/ se ocê (sic) imaginar uma reação química/ o equilíbrio químico/ ou o equilíbrio químico/ que é o que a gente tá tentando expressar aqui/ né(!?)/ equilíbrio/ ele não acontece assim/ o equilíbrio acontece./ mantém-se as concentrações das espécies em equilíbrio/ né(!?)/ A em equilíbrio com B/ tá certo(?)/ elas se mantém constantes/ porque(?)/ ao mesmo tempo./ a mesma velocidade que A é convertido em B/ B é convertido em A/ mas esse estado aqui indica o seguinte/ eu tenho./ que A fica constante/ porque(?)/ porque tem um X aqui/ que a mesma velocidade que B é convertido em C/ X é convertido em A/ tá certo(!?)/ então/ isso aqui permanece constante/ isso aqui não é equilíbrio/ isso é tudo num sentido só/ isso é um fluxo só;* (fala do Professor D)

A partir da análise estrutural e das discussões promovidas nos grupos focais, verificamos que, embora essa comparação não consiga abranger todos os conceitos fundamentais da dinâmica das reações em equilíbrio, e apresente algumas diferenças

alinháveis, alguns professores concordaram que a comparação A seria uma boa analogia para ser empregada em situações de ensino para a abordagem do Equilíbrio Químico no Ensino Médio, sendo uma "boa forma de introduzir o assunto", como podemos perceber nas falas a seguir.

> ((57' 13")) *e/ até aquele que você não gosta por estar aberto* {o Professor C se refere à comparação A}*/...* (fala do Professor C)
>
> ((53' 19")) *pra mim/ no meu público/ a A e a D* {o Professor A se refere às comparações A e D apresentadas pelo Mediador}*/ eu acho que seriam as melhores/ assim/...* (fala do Professor A)
>
> ((01 00' 38")) **[[...]]** *a A/ me ajudaria mais basal/***[[...]]**... (fala do Professor B)

Para o Professor F, a Analogia A permite explicar o equilíbrio dinâmico, mas não consegue explicar equilíbrio químico, devido ao fato dos carros não se transformarem em outros carros e nem conseguirem reverter essa transformação.

> ((50' 25")) *não/ pois é.../ eu falo o seguinte/ eu acho que é o problema de analogias desses tipo./ porque funciona muito bem pro cê (sic) entender a dinâmica no sentido que a reação direta é a mesma velocidade da inversa/ principalmente nesse caso/ aqui/ dos carrinhos/ que ele comenta aqui./ que se a velocidades dos carros chegando é igual a dos carros saindo/ então/ tende a ter um equilíbrio de número de carros ali no estacionamento/ então eu entendo a ideia da reação direta e inversa na mesma velocidade/***[[...]]** (fala do Professor F)
>
> ((53' 36")) *não tá em equilíbrio/ vamos supor* ***[OMITIDO - Professor E]****/ se todos os carros cinzas forem embora/ e chegarem todos os carros azuis/ mudou/ não tá em equilíbrio/* ((53' 43"))[...]/ ((53' 54")) (fala do Professor F)
>
> ((01 01' 20"))*e aí ó número de carros que está se permanecendo constante/ ele fala que é um equilíbrio dinâmico/ e aí/ a mesma coisa da vazão ali;* (fala do Professor F)

Consideramos importante observar que não é fácil encontrar domínios distintos que apresentem correspondências em suas totalidades e que, embora o estabelecimento de comparações entre conhecimentos aparentemente similares é uma manifestação natural do processo cognitivo, as analogias tendem a se apresentar como comparações parciais quando exploradas em contexto de ensino, pois, normalmente, são elaboradas espontaneamente pelos professores durante o processo de ensino. Portanto, é possível inferir que mesmo que uma comparação não consiga apresentar todas as correspondências necessárias para o devido compartilhamento de significados pretendido por meio da analogia, consideramos ser possível utilizá-la como recurso mediacional, ainda que parcial sobre o domínio alvo.

5.3.1.2. A sistematicidade da Analogia A

Os concatenamentos empregados na estrutura relacional comum da Analogia A, encabeçados pelas relações de ordem superior $^{7}\mathbf{R_{11}}$ e $^{7}\mathbf{R_{12}}$, já nos oferece uma ideia da sua alta sistematicidade, porém, menor do que a projetada inicialmente para o domínio alvo, em sua análise unilateral. É importante observar que os fatores de sistematicidade da Analogia A são coincidentes com os valores projetados (Quadro 15), com exceção de $^{8}\mathbf{R_{13}}$ e $^{8}\mathbf{R_{14}}$, e isso nos mostra que essa analogia, embora não abranja os conceitos da dinâmica e da implicações de um sistema reacional em equilíbrio químico, em sua totalidade, apresenta estrutura com alto grau de semelhança entre os dois domínios. Essa semelhança pode ser vista revisitando a Figura 23.

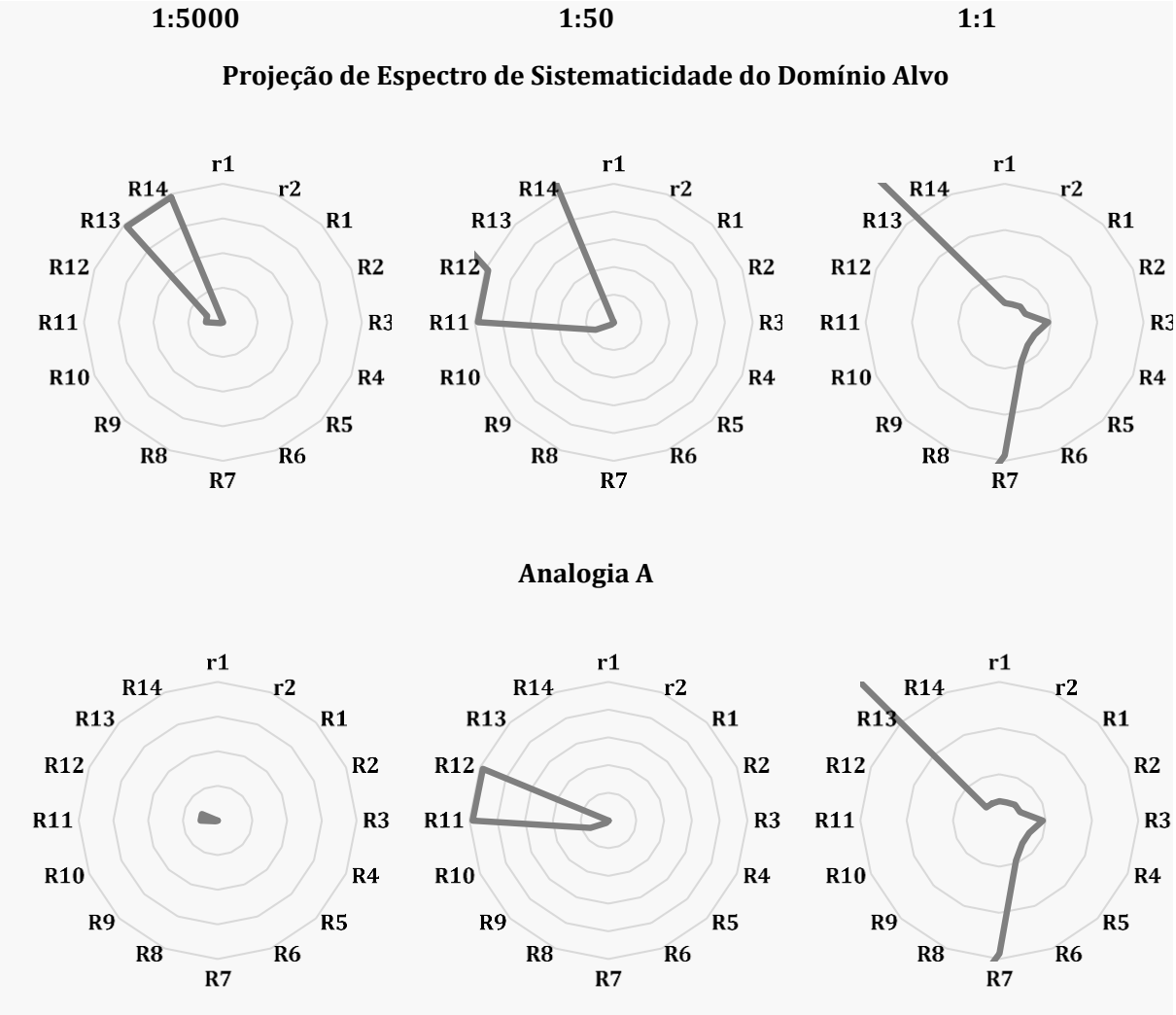
Quadro 15 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia A frente aos valores projetados sobre o domínio alvo.

	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
DA	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944
Comp. A	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	0	0

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

Os valores apresentados no Quadro 15 nos permitiram uma análise visual comparativa sobre o comportamento da sistematicidade dessa analogia com relação à que foi projetada para o domínio alvo, de acordo com seus espectros, como podemos ver na Figura 24.

Figura 24 – Espectro de Sistematicidade da Comparação A



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

O espectro de sistematicidade da Analogia A, comparado à projeção do domínio alvo, nos mostra uma tendência da sistematicidade direcionada às relações $^{7}\mathbf{R}_{11}$ e $^{7}\mathbf{R}_{12}$, que compõem a estrutura relacional comum dessa comparação, tendo, portanto, sua sistematicidade dada por:

$$S = \{97727, 97727\}$$

A partir dessas considerações, concluímos que essa comparação sobre a rotina de um estacionamento em um centro de vendas nas vésperas de um feriado, apesar de apresentar quatro limitações e duas diferenças alinháveis, pode ser explorada como um bom recurso mediacional, sendo uma analogia de alta sistematicidade para o processo de compartilhamento de significados a respeito da dinâmica e das implicações de um sistema reacional em equilíbrio químico, desde de que suas "fragilidades" sejam devidamente

explicitadas e ponderadas durante as situações de ensino em sala de aula pelos professores.

5.3.2. Comparação B

A Comparação B (**Anexo II**), no contexto da introdução ao equilíbrio químico, apresenta como domínio base o nível volumétrico de água em um tanque que, continuamente, recebe água de uma torneira aberta e, ao mesmo tempo, escoa água por um ralo. A seguir, no Quadro 16, apresentamos o mapeamento estrutural dessa comparação elaborado por meio do Sistema MAPES.

Quadro 16 – Mapeamento estrutural da Comparação B

FS	DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIA	DOMÍNIO ALVO	STATUS
0	Tanque	E_1 ↔	Recipiente	✓
0	Água que entra	E_2 ↔	Reagente (A + B)	✓
0	Água que sai	E_3 ↔	Produtos (C + D)	✓
0	Tempo	E_4 ↔	Tempo	✓
0	Fatores externos	E_5 ↔	Fatores externos	✓
0	Volume (nível) de água dentro do tanque	$A_1(E_2)$ ↔	Concentração dos reagentes	✓
		$A_2(E_3)$ ↔	Concentração dos produtos	✓
0	Água no tanque é trocada constantemente	$A_3(E_1)$ ↔	Capacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente aberto)	✗
0	Não há atributo correspondente	$L_1:[A_4(E_1)]$ ↔	Incapacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente fechado)	✗
0	A água que sai é a mesma que entra no tanque; não há transformação química	$L_2:[r_1(E_2, E_3)]$ ↔	As substâncias A e B interagem para se transformar nas substâncias C e D.	✓
0	Embora a água que entra no tanque não seja a mesma que sai pelo ralo, a composição química é a mesma, ou seja, não há transformação.	$L_3:[r_2(E_3, E_2)]$ ↔	As substâncias C e D interagem para se transformar nas substâncias A e B.	✓
2	Entrada de água no tanque (fornecimento de água pela torneira)	$^2R_1(E_1, r_1)$ ↔	Reação química direta – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite A e B se transformarem em C e D (r1).	#

2	Saída de água no tanque (escoamento pelo ralo)	$^{2}R_{2}(E_{1}, r_{2})$ ↔	Reação química inversa – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite as substâncias C e D reconstituírem A e B (r2).	#
15	A entrada de água ocorre ao mesmo tempo que a saída de água do tanque.	$^{3}R_{3}(E_{1}, E_{4}, {}^{2}R_{1}, {}^{2}R_{2})$ ↔	A reação química direta acontece ao mesmo tempo que a reação química inversa dentro do recipiente	#
9	Velocidade de entrada de água; a entrada ocorre a uma determinada taxa temporal	$^{3}R_{4}(E_{4}, {}^{2}R_{1})$ ↔	Velocidade da reação química direta (uma ocorrência em função do tempo)	#
9	Velocidade da saída de água: a saída ocorre a uma determinada taxa temporal	$^{3}R_{5}(E_{4}, {}^{2}R_{2})$ ↔	Velocidade da reação química inversa (uma ocorrência em função do tempo)	#
0	Os dois processos não são, de fato, reversíveis, pois a água que entra não volta para a torneira e a água que sai não volta para o tanque. Além disso, não há relação correspondente para a coexistência de reagentes e produtos.	$L_{4}:[{}^{3}R_{6}(E_{1}, {}^{2}R_{1}, {}^{2}R_{2})]$ ↔	Devido a reversibilidade das reações no sistema, todas as espécies químicas (reagentes e produtos) coexistem permanentemente.	#
76	Quando as velocidades dos processos de entrada e saída de água se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico dentro do tanque	$^{4}R_{7}({}^{3}R_{4}, {}^{3}R_{5})$ ↔	Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no sistema reacional	#
136	A ocorrência simultânea dos processos de entrada e de saída de água do tanque, com a mesma velocidade, garante a conservação do volume (nível) de água dentro do tanque	$^{4}R_{8}(A_{1}, A_{2}, {}^{3}R_{3}, {}^{3}R_{4}, {}^{3}R_{5}, {}^{3}R_{6})$ ↔	A ocorrência simultânea das reações com a mesma taxa de desenvolvimento (velocidade) garante a conservação das concentrações dos reagentes e produtos que coexistem no sistema reacional.	#
1065	Durante o estado de equilíbrio dinâmico, o volume de água dentro do tanque se mantém constante.	$^{5}R_{9}({}^{4}R_{7}, {}^{4}R_{8})$ ↔	Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	#
6396	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as velocidades dos processos e a manutenção do volume de água dentro do tanque.	$^{6}R_{10}(E_{5}, {}^{5}R_{9})$ ↔	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as velocidades das reações e a conservação das concentrações dos reagentes e produtos no sistema reacional.	#
0	Uma perturbação pode favorecer a saída de água e, consequentemente, provocar a diminuição do volume de água dentro do tanque (p. ex: o aumento do tamanho do ralo).	$L_{5}:[{}^{7}R_{11}(A_{1}, {}^{2}R_{2}, {}^{6}R_{10})]$ ↔	Uma perturbação pode favorecer a reação inversa (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos reagentes.	#

44793	Uma perturbação pode favorecer a entrada de água e, consequentemente, provocar o aumento do volume de água dentro do tanque (p. ex: o aumento da abertura da torneira).	$^{7}R_{12}(A_2, {}^{2}R_1, {}^{6}R_{10})$ ↔	Uma perturbação pode favorecer a reação direta (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos produtos.	#
0	Após uma perturbação do estado de equilíbrio dinâmico dentro do tanque, por meio do favorecimento da saída de água por um fator externo, o sistema, por si só, não consegue restabelecer o estado de equilíbrio; essa perturbação não afeta a velocidade da entrada de água no tanque.	L_6:[$^{8}R_{13}(^{3}R_4, {}^{7}R_{11})$] ↔	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação inversa por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação direta.	#
358424	Após uma perturbação do estado de equilíbrio dinâmico dentro do tanque, por meio do favorecimento da entrada de água por um fator externo, o sistema pode restabelecer o estado de equilíbrio por meio do aumento do fluxo de saída, minimizando o efeito da perturbação.	$^{8}R_{14}(^{3}R_5, {}^{7}R_{12})$ ↔	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação direta por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação inversa.	#
-	Não há possibilidade de se pensar em volumes distintos, pois o volume de água no tanque é um atributo correspondente aos dois atributos do DA ao mesmo tempo	D_1:[$^{5}R_9(^{4}R_7, {}^{4}R_8)$] ↔	Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e produtos não são necessariamente iguais.	-

Fonte: Desenvolvido pelo Autor via MAPES (2019)

O mapeamento estrutural da Comparação B evidenciou uma inconsistência estrutural ao afetar a restrição da correspondência um a um entre alguns atributos mapeados: o "volume (nível) de água dentro do tanque" está mapeado como um atributo da água em correspondência a dois atributos do domínio alvo – a concentração dos reagentes (**A_1**) e a concentração dos produtos (**A_2**). Além disso, essa dupla correspondência tem como consequência a origem da diferença alinhável associada à relação de ordem superior **$^{5}R_9$**, diferença codificada como **D_1:[$^{5}R_9$]**. No entanto, consideramos que tal inconsistência afeta muito pouco a estrutura relacional comum (Figura 25) dessa comparação, embora não seja possível, nesta pesquisa, entender a extensão dessa inconsistência durante a construção dessa comparação em sala de aula.

Portanto, de acordo com o nosso referencial teórico, podemos afirmar que a Comparação B se configura como uma analogia.

Todavia, considerando as outras correspondências mapeadas e o foco relacional que poderia ser dado por professores ou por autores de livros didáticos na construção dessa comparação como forma de compartilhar significados sobre a dinâmica das reações químicas em equilíbrio, apesar das inconsistências mapeadas, concluímos que a Comparação B se configura como uma analogia sujeita a diversas ressalvas.

Ainda sobre as correspondências mapeadas na Analogia B, embora a correspondência $^{7}\mathbf{R}_{11}$ pareça ser uma diferença alinhável, trata-se, de fato, de uma limitação da analogia, no sentido de ser uma condição na qual a mesma não se aplica. Ressaltamos que para os dois atributos correspondentes – volume de água/concentração dos reagentes, as consequências do favorecimento dos respectivos processos são diferentes: enquanto o favorecimento da saída de água provocaria a diminuição do volume dentro do tanque, o favorecimento da reação inversa provocaria o aumento da concentração dos reagentes.

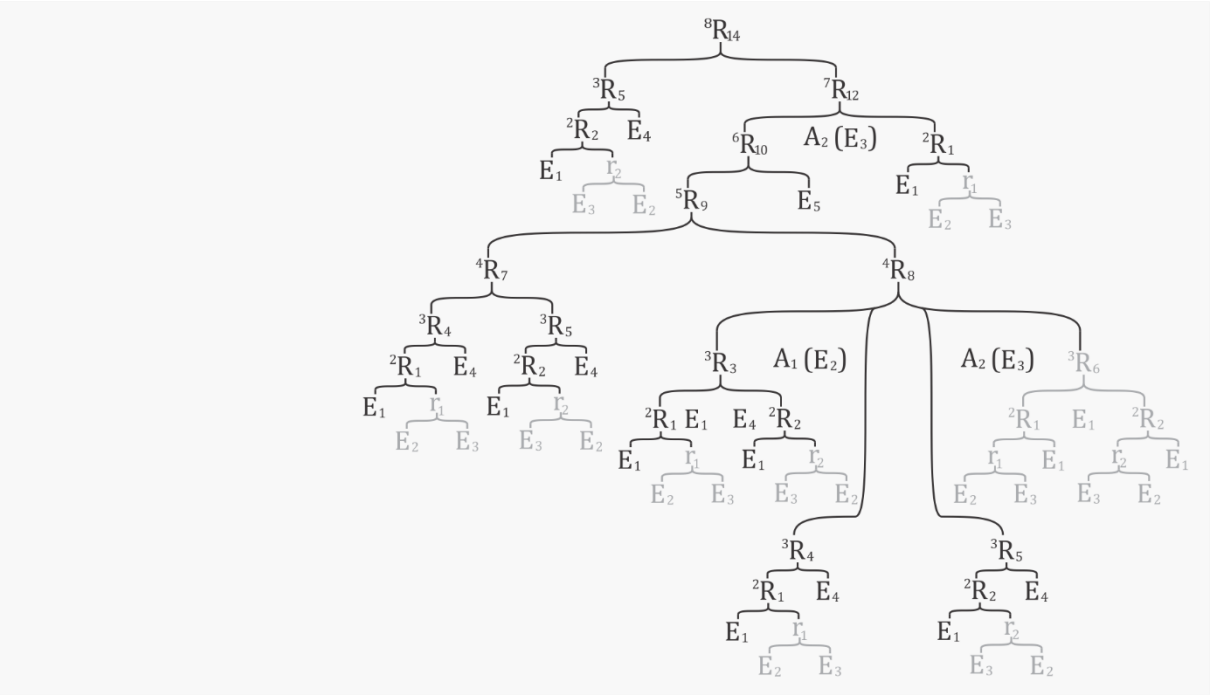
No caso da correspondência codificada como $^{7}\mathbf{R}_{12}$, encontramos uma condição similar entre os dois domínios: o favorecimento dos processos (entrada de água/reação direta) provoca o aumento dos respectivos argumentos (volume de água/concentração dos produtos). Concluímos que essa aparente contradição com a limitação $\mathbf{L_5:[^{7}R_{11}]}$ deve-se à inconsistência estrutural identificada na dupla correspondência entre o volume de água no tanque e as concentrações de reagentes e de produtos.

A assimetria do domínio base entre as relações $^{8}\mathbf{R}_{13}$ e $^{8}\mathbf{R}_{14}$ levou-nos a reconhecer a correspondência $^{8}\mathbf{R}_{13}$ como uma limitação da analogia e a correspondência $^{8}\mathbf{R}_{14}$ como uma similaridade que pode ser explorada na construção dessa analogia para explicar o Princípio de Le Chatêlier. Essa assimetria se deve à limitação mapeada anteriormente como $\mathbf{L_4:[^{3}R_6]}$, isto é, está relacionada ao fato dos dois processos não serem reversíveis, como as reações químicas, mas serem meros processos opostos, pois a água que entra não volta para a torneira e a água que sai não volta para o tanque.

Além disso, o mapeamento da Analogia B nos mostra que a relação $^{8}\mathbf{R}_{14}$ é a de maior nível hierárquico em correspondência entre os dois domínios e não concatenada.

Assim, a estrutura relacional comum dessa analogia é representada por apenas essa relação, conforme os encadeamentos apresentados na Figura 25.

Figura 25 – Estrutura Relacional Comum da Analogia B[29]

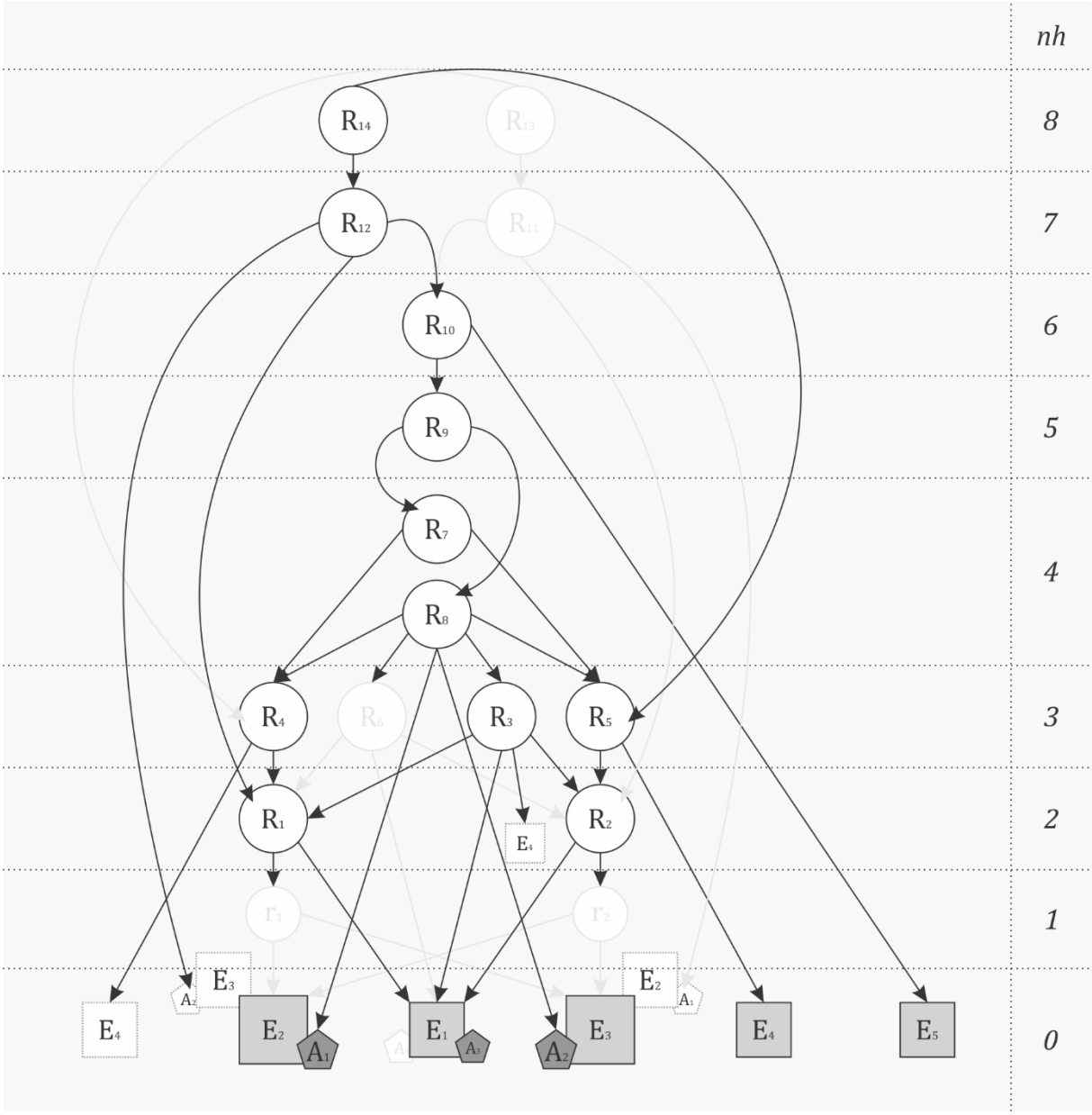


Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A partir da representação gráfica da estrutura relacional comum da Analogia B, apresentada na Figura 26 a seguir, percebemos que essa comparação, embora apresente, aparentemente, uma alta abrangência sobre o domínio alvo (como pode ser visto na seção 5.4 deste capítulo), apresenta problemas sobre o modo como o domínio base se corresponde às relações simétricas previstas na análise unilateral do domínio alvo.

[29] As relações apresentadas em tom de cinza são relações classificadas como Limitações no Mapeamento Estrutural.

Figura 26 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Analogia B.



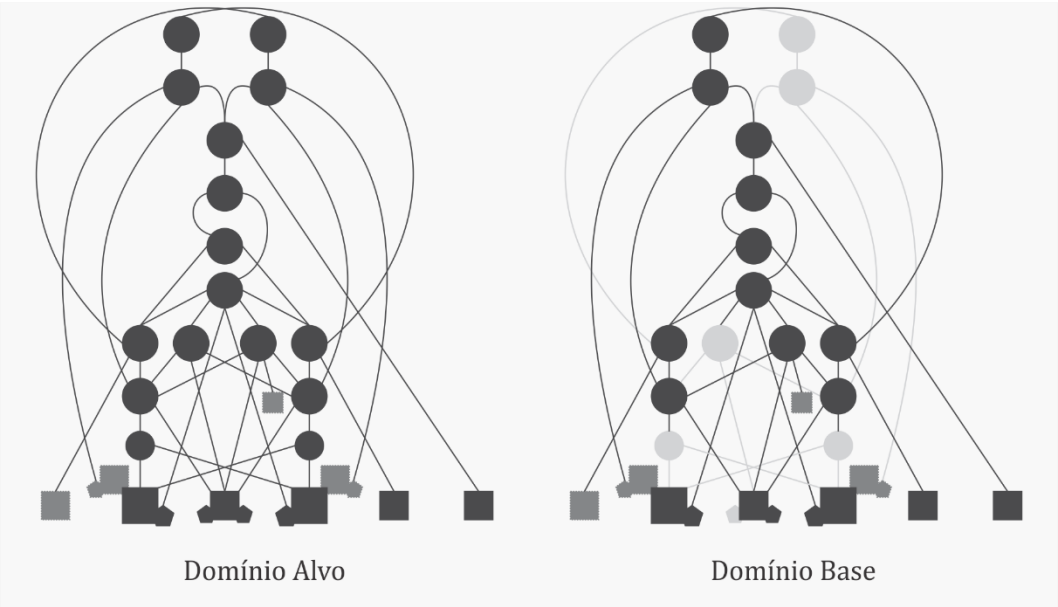
Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A Figura 26, assim como o mapeamento estrutural do Quadro 16, evidencia a ausência de relações importantes, como as de primeira ordem $\mathbf{r_1}$ e $\mathbf{r_2}$, e as de ordem superior $^{3}\mathbf{R_6}$, $^{7}\mathbf{R_{11}}$ e $^{8}\mathbf{R_{13}}$, quebrando a simetria relacional que se demonstrou importante para o domínio alvo, o que impactou significativamente na sistematicidade da analogia B como um todo A impossibilidade do mapeamento dessas relações se deu pelo fato de que o domínio base não se configura como um sistema constituído por dois processos reversíveis, de modo a corresponder à reversibilidade das reações, um aspecto químico condicionante para o estabelecimento do equilíbrio químico em sistemas reacionais e,

consequentemente, um aspecto conceitual fundamental para a compreensão da dinâmica dos processos químicos em equilíbrio.

Para uma melhor visualização das diferenças estruturais existentes entre o domínio alvo e o domínio base da Analogia B, elaboramos a Figura 27 que apresenta as sombras da estrutura relacional do DA e a estrutura relacional do DB, respectivamente, num contraste de cinza mais claro indicando as limitações apresentadas pela comparação.

Figura 27 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia B.



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

5.3.2.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia B a partir da análise estrutural e dos grupos focais

Como mostrado anteriormente, o domínio base da Analogia B não abrange simetricamente as relações constituintes do domínio alvo. Esse aspecto foi levantado pelos professores participantes da pesquisa durante as discussões nos grupos focais. Observamos que o fato de a comparação não apresentar processos reversíveis que pudessem ser colocados em correspondência entre os dois domínios gerou certo incômodos aos professores, como podemos ver na fala do Professor F:

> ((01 21' 03")) *é.../ eu não usaria a B de jeito nenhum/ porque eu acho/ concordo com o* ***[OMITIDO - Professor D]****/ que ela é mecanisticamente (sic.) errada/ porque o equilíbrio não tem nada de oposto/ a única coisa que é oposto/ entrando e saindo/ mas é um fluxo num único sentido/ se tivesse entrando aqui/ e entrando aqui/ aí seria o contrário/* ((01 21' 19")); (fala do Professor F)

Já o Professor D afirmou que a comparação B não se constitui como um sistema em equilíbrio, mas um estado estacionário. O Professor B, por sua vez, afirmou que se sentia inseguro com a analogia, pois ela se baseia na troca constante de matéria e isso não aconteceria nos sistemas reacionais em equilíbrio químico:

> ((49' 07")) *então/ mas pareceria infantil/ o.../ então/ por exemplo/ eu fiz./ eu pensei aqui comigo/ qual que eu iria escolher/ pra eu apresentar(?)/ eu tenho dificuldade com o tanque/ porque é matéria nova que entra e matéria nova que sai/ a água não é a mesma/ então/ é a ideia de aberto/...* (fala do Professor B)

A partir do mapeamento estrutural, vimos que a Analogia B, embora apresente a possibilidade de mapear correspondências para as reações químicas, não apresenta relações que correspondam à transformação, pois o fluxo da água é contínuo e unidirecional, o que impossibilita a visualização e compreensão dos processos reversíveis. Este fato impõe restrições no estabelecimento de correspondências para a coexistência, já apontada pelos professores ao criticarem a troca constante de matéria no tanque e, mesmo com a possibilidade de exemplificar o conceito de perturbação e reestabelecimento do equilíbrio, ou estado estacionário, não é possível estabelecer exemplificação para os casos inversos, resultando na ausência das relações que representem parte desses conceitos. Essa observação também foi apontada pelo Professor E que classificou a Comparação B como a única que não apresenta o contexto de reversibilidade.

> ((51' 53")) *todas as situações/ sabe aquela/ um pouquinho que trabalha reversibilidade/ aliás/ embora todos dá para ter ideia de reversibilidade/ menos a do tanque/ é pro aprendiz ter uma noção do que que é o equilíbrio dinâmico/ isso é difícil/ porque o papel é parado/...* (Fala do Professor E)

Contudo, o Professor C acredita que é possível aproveitar essa comparação em algum contexto de ensino, como expressa em sua fala:

> ((57' 19")) *não/ a da água/ do tanque {comparação B}/ até esse que você não gosta/ eu acho que ele tem algo de produtivo/ por quê(!?)/ não é só estabilizar/considere que isso daqui {o Professor C sinaliza para a ilustração na comparação B}/ é uma fase no seu sistema/ não uma fase física/ mas/ sei lá/ equivale ao reagente/ ou produto/ tanto faz/ então/ ele mostra que a composição daquele reagente/ está mudando o tempo todo/ então ele é limitado/ porque tá saindo coisa do sistema/ mas se você pensar isso/ como sendo o reagente/ só o reagente/ ele mostra/.../ que a composição do reagente tá mudando/ aqui tá mudando para ir embora/ mas lá/ ele pode mudar para virar produto;* (fala do Professor C)

Semelhantemente ao que dissemos anteriormente, logo após a apresentação do mapeamento estrutural dessa comparação, embora a Analogia B possua muitas limitações

que demandam cuidado ao serem abordadas em situações de ensino, consideramos que há a possibilidade de explorá-la em um momento inicial do processo de compartilhamento de significados em sala de aula sobre equilíbrio químico, pois os conceitos que permeiam a dinâmica das reações em equilíbrio são complexos e abstratos.

Pela estrutura da apresentação dessa comparação no material didático, aparentemente revela-se a intenção de explicar a diferença de equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico, uma vez que Machado e Aragão (1996) nos mostram que "as concepções de equilíbrio (dos alunos) aparecem associadas à ideia de igualdade, apresentando também dimensões relacionadas às características estáticas que envolvem esses tipos de equilíbrio". Portanto, tornar claro o conceito de equilíbrio dentro do contexto da Química é fundamental para que os alunos possam ampliar sua apropriação dos conceitos sobre a dinâmica das reações em equilíbrio.

Em síntese, consideramos que, embora a comparação B seja uma analogia possível de ser construída em sala de aula, ou de ser apresentada em livros didáticos para introduzir a noção de equilíbrio dinâmico, posteriormente transposto para as reações químicas, essa analogia apresenta algumas inconsistências estruturais, não abrange simetricamente as relações do domínio alvo e, por não apresentar correspondências similares para o aspecto da reversibilidade das reações, constatamos que a mesma não possibilita, integralmente, a construção de inferências sobre aspectos e implicações mais abstratos e complexos do domínio alvo, como a perturbação do equilíbrio e o deslocamento descrito pelo Princípio de Le Chatelier. Como vimos no mapeamento estrutural e na representação gráfica da estrutura relacional comum da Comparação B, enquanto essa analogia é pragmaticamente adequada para explicar a relação de ordem superior $^{7}\mathbf{R}_{12}$, é inadequada para a relação simétrica $^{7}\mathbf{R}_{11}$; do mesmo modo, é adequada para a relação $^{8}\mathbf{R}_{14}$, mas não satisfaz a relação simétrica $^{8}\mathbf{R}_{13}$.

5.3.2.2. A sistematicidade da Analogia B

Os concatenamentos empregados na estrutura relacional comum da Analogia B ($^{8}\mathbf{R}_{14}$) sinaliza sua alta sistematicidade, porém, menor do que a projetada para o domínio alvo em sua análise unilateral. Consideramos importante observar que os fatores de sistematicidade dessa analogia não são coincidentes com os valores projetados, conforme o Quadro 17, e isso nos mostra que a Comparação B, devido à abrangência parcial sobre

as relações de maior complexidade do Equilíbrio Químico, não é tão sistemática quanto a analogia A, analisada anteriormente, ou tão sistemática quanto aparentava ser para nós.

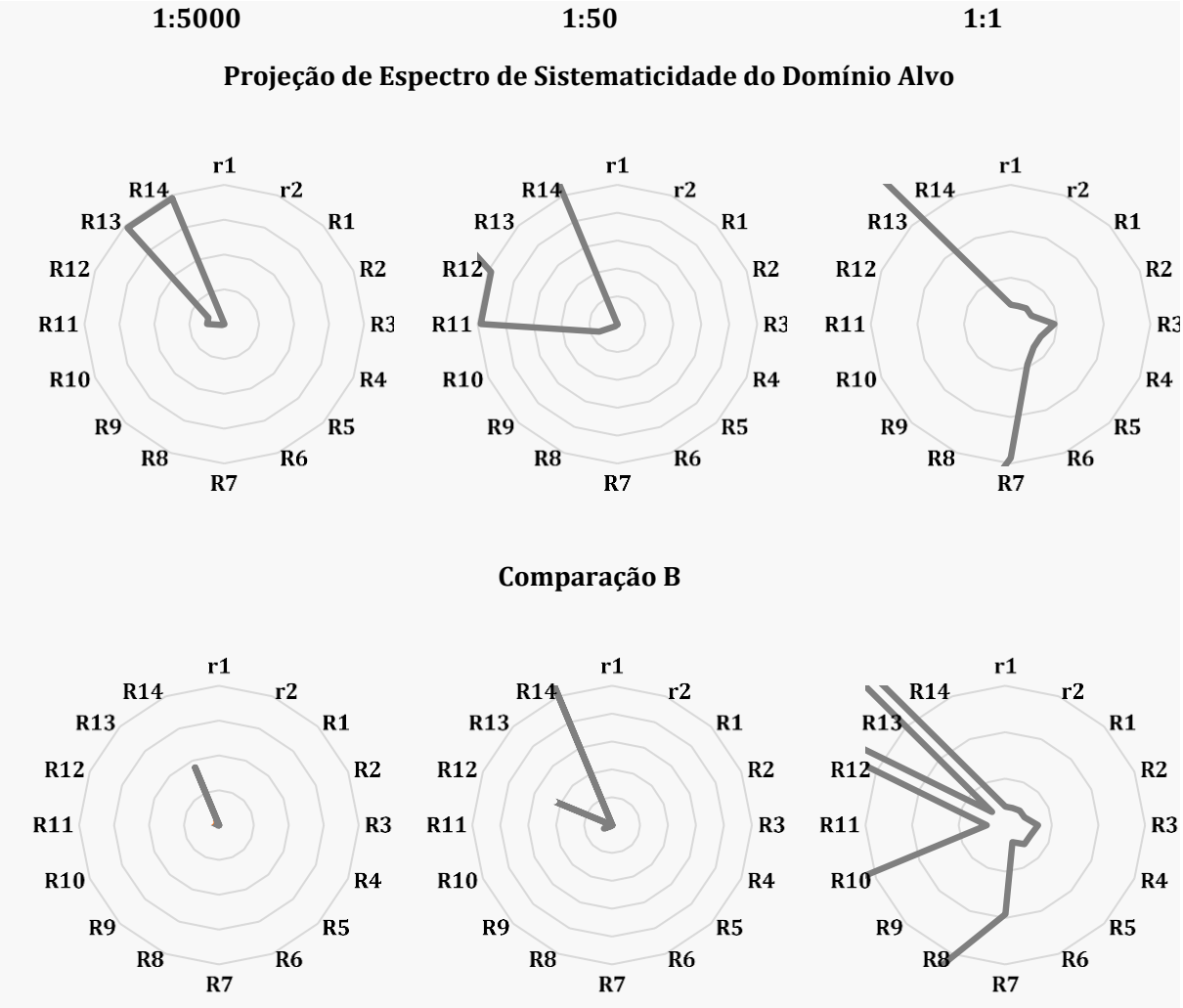
Quadro 17 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia B frente aos valores projetados sobre o domínio alvo.

	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
DA	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944
Comp. B	0	0	2	2	15	9	9	0	76	136	1065	6396	0	44793	0	358424

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

Os valores apresentados no Quadro 17 nos permitiram uma análise visual comparativa sobre o comportamento da sistematicidade dessa analogia com relação à que foi projetada para o domínio alvo de acordo com seus espectros, como podemos ver na Figura 28.

Figura 28 – Espectro de Sistematicidade da Analogia B



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

O espectro de sistematicidade da Analogia B, comparado à projeção do domínio alvo, revela uma tendência da sistematicidade direcionada à relação $^{8}\mathbf{R}_{14}$**,** que representa a estrutura relacional comum dessa analogia, tendo, portanto, sua sistematicidade dada por:

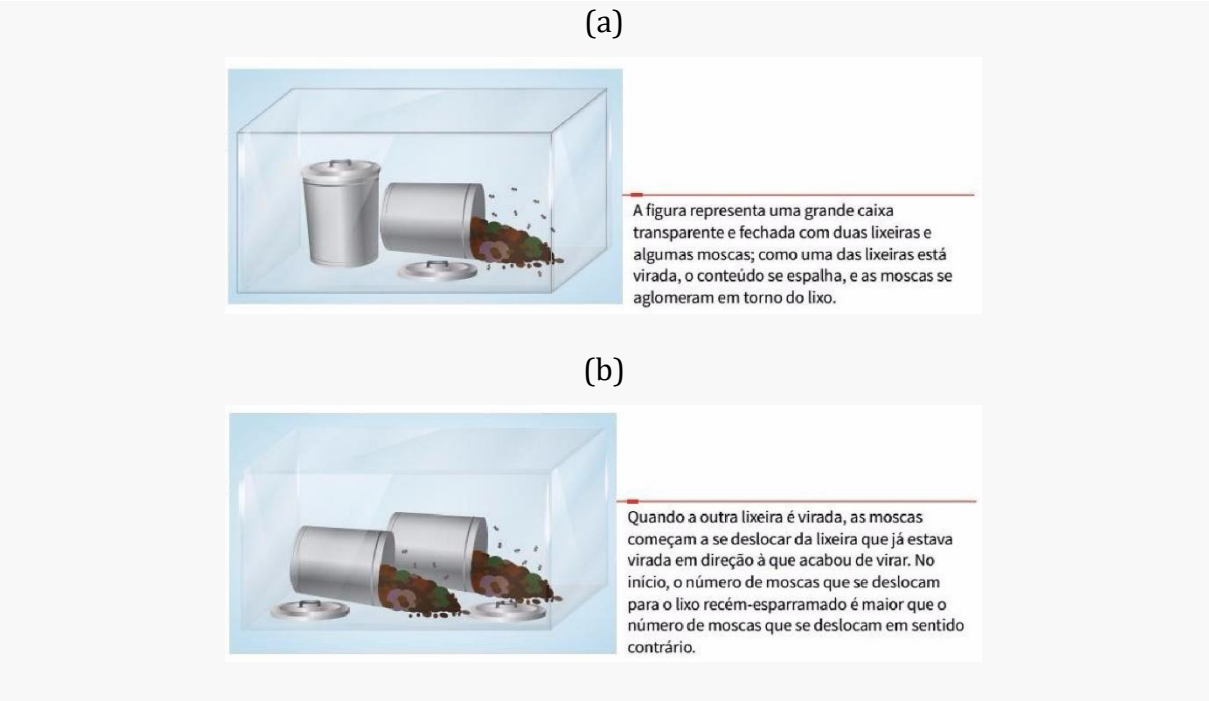
$$S = \{358424\}$$

Percebemos, portanto, que essa comparação, apesar de alcançar, relativamente, alta abrangência conceitual sobre o domínio alvo, apresenta problemas graves em sua estrutura. Assim, a Analogia B pode ser explorada em contextos de ensino de Equilíbrio Químico desde que se tome os cuidados na exploração de conceitos mais elaborados como a Perturbação e Deslocamento, uma vez que essa analogia possibilita inferências parciais sobre esses dois conceitos.

5.3.3. Comparação C

A Comparação C (**Anexo III**) foi proposta para abordar os conceitos de equilíbrio químico por meio de um domínio base constituído por uma caixa de vidro transparente capaz de formar um sistema aparentemente fechado sobre duas latas de lixo, na qual uma foi estaria deitada e aberta no chão e a outra estaria inicialmente tampada, e moscas sobrevoando o lixo. Em outra ilustração, os autores do livro didático que elaboraram essa comparação, propõem o tombamento e a abertura da tampa da segunda lata. A Figura 29 apresenta as duas ilustrações feitas para a construção da Comparação C.

Figura 29 – Ilustrações da Comparação C: (a) configuração inicial das latas de lixo; (b) configuração final



Fonte: Novais e Antunes (2016)

O Quadro 18 apresenta o mapeamento estrutural elaborado via Sistema MAPES para essa comparação.

Quadro 18 – Mapeamento estrutural da Comparação C

FS	DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIA	DOMÍNIO ALVO	STATUS
0	Caixa transparente	E_1 ⟷	Recipiente	✓
0	Moscas na primeira lixeira tombada	E_2 ⟷	Reagente (A + B)	✓

0	Moscas na segunda lixeira tombada	E_3 ↔	Produtos (C + D)	✓
0	Tempo	E_4 ↔	Tempo	✓
0	Fatores externos	E_5 ↔	Fatores externos	✓
0	Quantidade de moscas na primeira lixeira	$A_1(E_2)$ ↔	Concentração dos reagentes	✓
0	Quantidade de moscas na segunda lixeira	$A_2(E_3)$ ↔	Concentração dos produtos	✓
0	Não há atributo correspondente no DB.	L_1:[$A_3(E_1)$] ↔	Capacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente aberto)	✗
0	As moscas não podem sair da caixa transparente.	$A_4(E_1)$ ↔	Incapacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente fechado)	✗
0	As moscas são seres vivos e podem apresentar comportamento inesperado.	L_2: [$A_5(E_2/E_3)$]* ↔	Não há atributo correspondente no DA.	✗
1	As moscas sobrevoam a primeira lixeira podendo ir para a segunda lixeira dentro da caixa transparente	$r_1(E_2, E_3)$ ↔	As substâncias A e B interagem para se transformar nas substâncias C e D.	✓
1	As moscas sobrevoam a segunda lixeira podendo ir para a primeira lixeira dentro da caixa transparente	$r_2(E_3, E_2)$ ↔	As substâncias C e D interagem para se transformar nas substâncias A e B.	✓
4	Voo das moscas da primeira lixeira tombada para a segunda	${}^2R_1(E_1, r_1)$ ↔	Reação química direta – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite A e B se transformarem em C e D (r1).	#
4	Voo das moscas da segunda lixeira tombada para a primeira	${}^2R_2(E_1, r_2)$ ↔	Reação química inversa – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite as substâncias C e D reconstituírem A e B (r2).	#
27	As moscas voam para a segunda lixeira ao mesmo tempo que outras moscas voam de volta para a primeira lixeira	${}^3R_3(E_1, E_4, {}^2R_1, {}^2R_2)$ ↔	A reação química direta acontece ao mesmo tempo que a reação química inversa dentro do recipiente	#
15	Velocidade do voo das moscas da primeira para a segunda lixeira (ocorrência temporal)	${}^3R_4(E_4, {}^2R_1)$ ↔	Velocidade da reação química direta (uma ocorrência em função do tempo)	#
15	Velocidade do voo das moscas da segunda para a primeira lixeira	${}^3R_5(E_4, {}^2R_2)$ ↔	Velocidade da reação química inversa (uma ocorrência em função do tempo)	#
27	Além da possibilidade dos voos das moscas ocorrem em ambos os sentidos, as moscas da	${}^3R_6(E_1, {}^2R_1, {}^2R_2)$ ↔	Devido a reversibilidade das reações no sistema, todas as espécies químicas (reagentes e	#

	segunda lixeira coexistem com as moscas da primeira lixeira		produtos) coexistem permanentemente.	
124	Quando as velocidades dos voos das moscas em ambos sentidos se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico dentro da caixa transparente.	$^{4}R_{7}(^{3}R_{4}, ^{3}R_{5})$ ↔	Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no sistema reacional	#
340	A ocorrência simultânea das transições de moscas entre as duas lixeiras com a mesma taxa de desenvolvimento garante que haja a mesma quantidade de moscas sobrevoando as duas lixeiras coexistindo na caixa transparente	$^{4}R_{8}(A_{1}, A_{2}, ^{3}R_{3}, ^{3}R_{4}, ^{3}R_{5}, ^{3}R_{6})$ ↔	A ocorrência simultânea das reações com a mesma taxa de desenvolvimento (velocidade) garante a conservação das concentrações dos reagentes e produtos que coexistem no sistema reacional.	#
2325	Durante o estado de equilíbrio dinâmico, as quantidades de moscas em ambas as lixeiras se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	$^{5}R_{9}(^{4}R_{7}, ^{4}R_{8})$ ↔	Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	#
0	Não há fatores externos capazes de perturbar, significativamente, o estado de equilíbrio dinâmico entre os voos das moscas em ambos sentidos.	$L_{3}:[^{6}R_{10}(E_{5}, ^{5}R_{9})]$ ↔	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as velocidades das reações e a conservação das concentrações dos reagentes e produtos no sistema reacional.	#
0	Não havendo fator externo capaz de perturbar os voos das moscas, não há relação correspondente no DB.	$L_{4}:[^{7}R_{11}(A_{1}, ^{2}R_{2}, ^{6}R_{10})]$ ↔	Uma perturbação pode favorecer a reação inversa (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos reagentes.	#
0	Não havendo fator externo capaz de perturbar os voos das moscas, não há relação correspondente no DB.	$L_{5}:[^{7}R_{12}(A_{2}, ^{2}R_{1}, ^{6}R_{10})]$ ↔	Uma perturbação pode favorecer a reação direta (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos produtos.	#
0	Não havendo fator externo capaz de perturbar os voos das moscas, não há relação correspondente no DB.	$L_{6}:[^{8}R_{13}(^{3}R_{4}, ^{7}R_{11})]$ ↔	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação inversa por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação direta.	#
0	Não havendo fator externo capaz de perturbar os voos das moscas, não há relação correspondente no DB.	$L_{7}:[^{8}R_{14}(^{3}R_{5}, ^{7}R_{12})]$ ↔	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação direta por um fator externo, o sistema reacional	#

			deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação inversa.	
-	As moscas não se transformam em outros insetos; continuam sendo moscas.	D_1:[r_1(E_1, E_2)] ↔	Os reagentes são transformados em outras substâncias	-
-	As moscas não se transformam em outros insetos; continuam sendo moscas.	D_2:[r_2(E_1, E_3)] ↔	Os produtos são transformados em outras substâncias	-
-	Mesmo que as moscas não sobrevoassem as lixeiras em ambos sentidos, elas ainda coexistiriam permanentemente na caixa transparente.	D_3:[$^3R_6$(E_1, $^2R_1$, $^2R_2$)] ↔	A permanente coexistência de reagentes e produtos somente é possível por causa da reversibilidade das transformações químicas	-
* - O atributo A_5 do elemento E_1 recebeu essa numeração por ter sido um atributo mapeado após os quatro atributos provenientes da caracterização do domínio alvo no Quadro 12.				

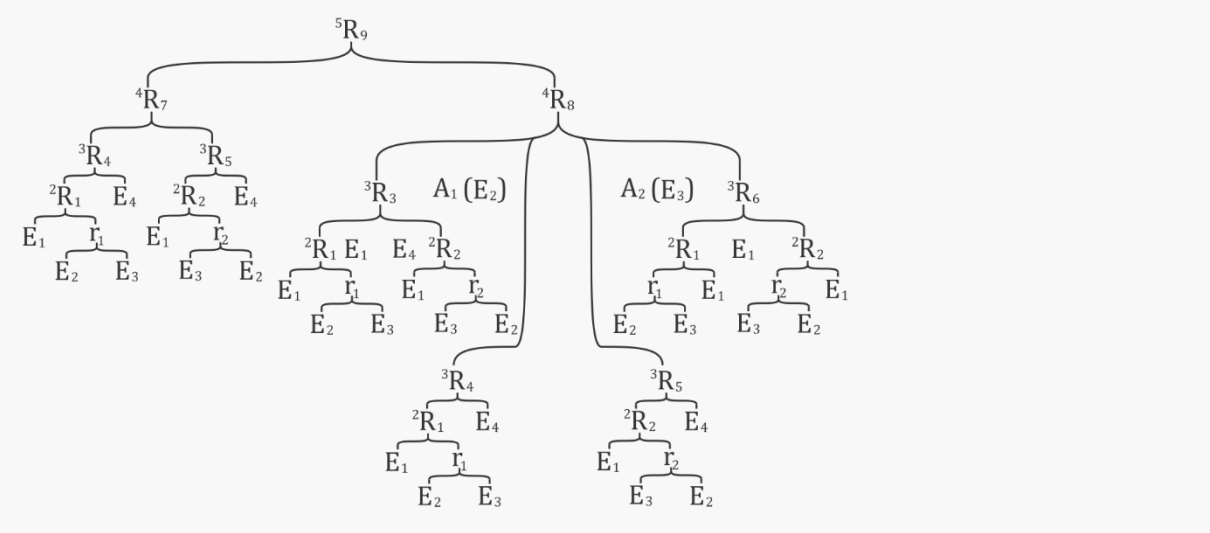
Fonte: Desenvolvido pelo Autor via MAPES (2019)

A Comparação C possibilita o estabelecimento de correspondências entre os dois domínios capazes de explicar, parcialmente, o equilíbrio químico, como vimos no mapeamento. Essa comparação não permite associação que torne possível compartilhar significados em torno do conceito de perturbação e nem do deslocamento do equilíbrio descrito pelo Princípio de Le Chatelier. Contudo, por apresentar correspondências um a um entre os elementos, atributos e relações mapeadas, além da conectividade em paralelo entre os argumentos dessas relações, podemos afirmar que a Comparação C é estruturalmente consistente e, por apresentar 11 correspondência entre relações e apenas 3 correspondências entre atributos, podemos dizer que apresenta foco relacional, sendo, portanto, uma analogia.

Além dessas considerações iniciais sobre as correspondências dessa comparação, o mapeamento estrutural também revelou um número relativamente alto de limitações (7) e de diferenças alinháveis (3). Consideramos que, embora seja possível, por meio da Analogia C, estabelecer correspondências para explicar as transformações químicas e o conceito de coexistência das espécies no recipiente, é necessário apontar as diferenças relacionadas à essas correspondências, especialmente a diferença alinhável codificada como **D_3:[$^3R_6$]**, para que, em um contexto de ensino, minimize-se o risco da construção de significados equivocados em torno dos respectivos conceitos.

O mapeamento da Analogia C, portanto, aponta a relação **$^{5}R_{9}$** como a de maior nível hierárquico em correspondência entre os dois domínios que também não foi mapeada como argumento de uma relação de ordem superior a sua, assim, a estrutura relacional comum dessa analogia é representada por apenas essa relação, conforme apresenta a Figura 30.

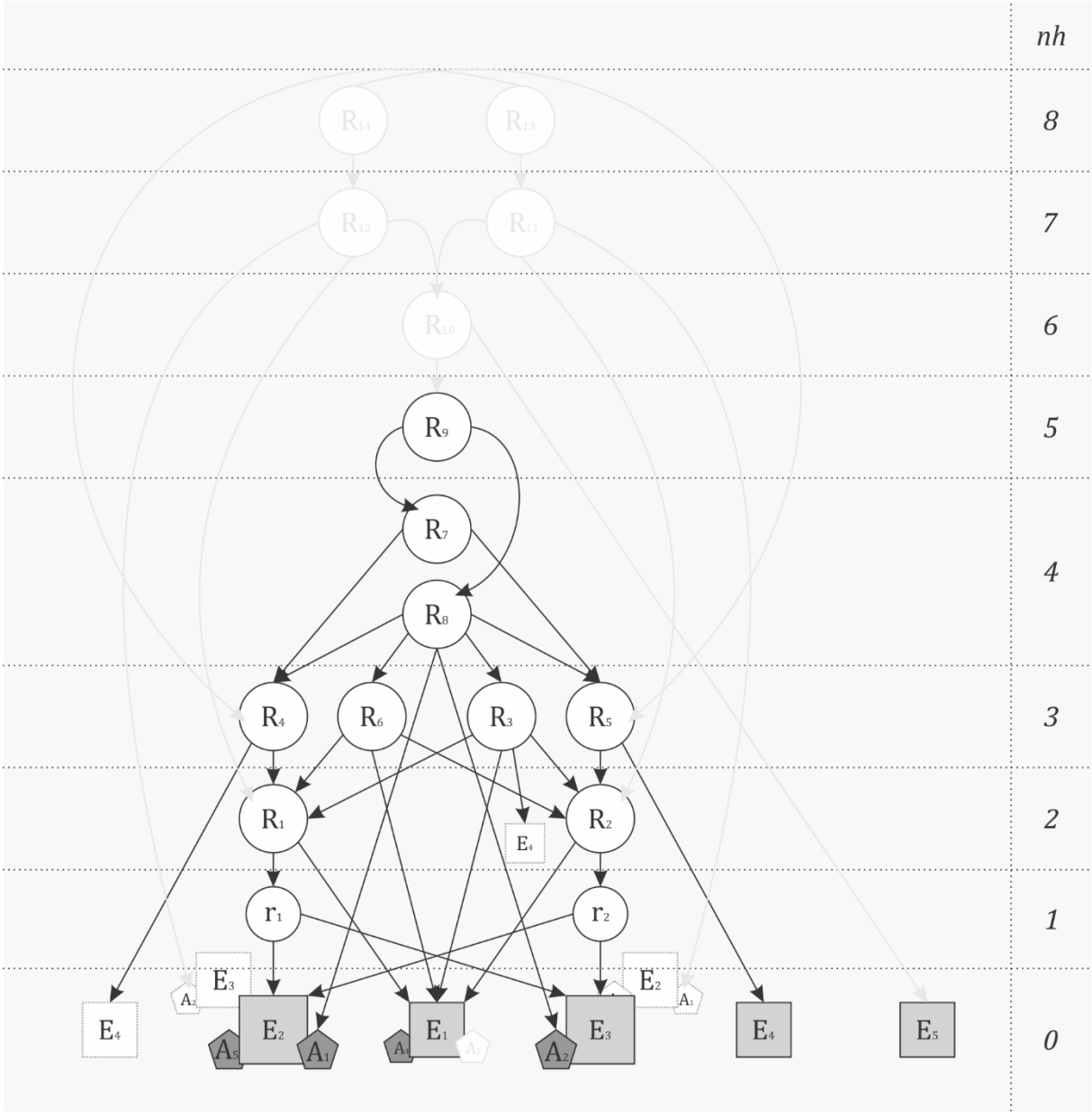
Figura 30 – Estrutura Relacional Comum da Analogia C



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A representação gráfica da estrutura relacional comum da Analogia C, apresentada na Figura 31 a seguir, torna ainda mais evidente a limitada abrangência dessa comparação sobre o domínio alvo. De acordo com essa representação gráfica, é possível perceber que, diferentemente das analogias A e B, a Analogia C "alcança" somente até a relação de 5ª ordem – a relação **$^{5}R_{9}$**. As outras relações de ordem superior a esta – **$^{6}R_{10}$, $^{7}R_{11}$, $^{7}R_{12}$, $^{8}R_{13}$, $^{8}R_{14}$**, mapeadas na análise unilateral do domínio alvo, aparecem no mapeamento estrutural da Analogia C como aspectos ou condições do domínio alvo para os quais a comparação não se aplica, ou seja, como limitações dessa analogia.

Figura 31 – Representação gráfica da Estrutura Relacional da Analogia C

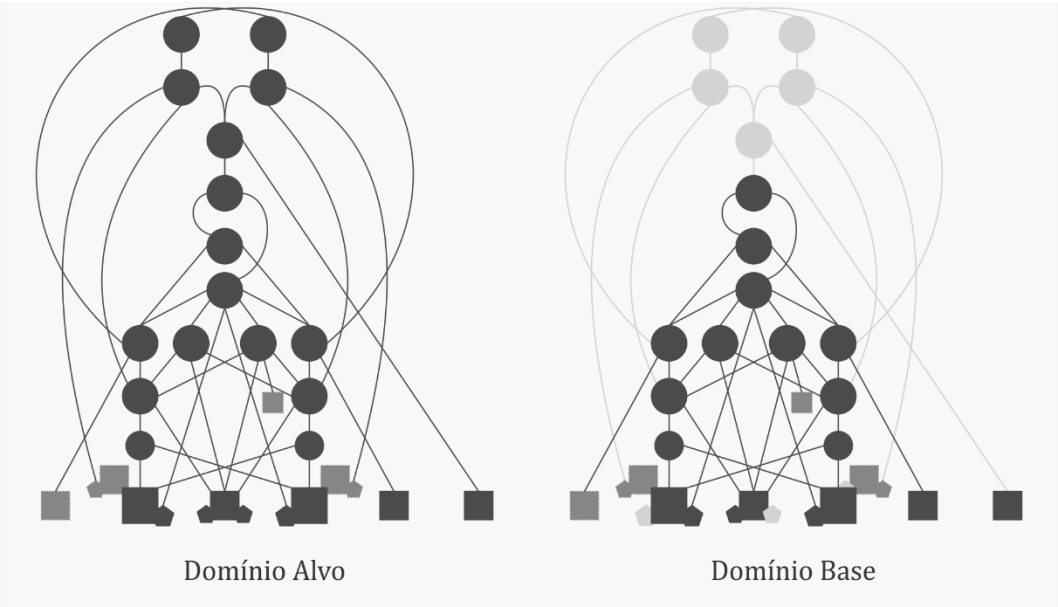


Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Como dissemos, a Figura 31, assim como o mapeamento estrutural, evidencia a ausência de relações $^{6}\mathbf{R_{10}}$, $^{7}\mathbf{R_{11}}$, $^{7}\mathbf{R_{12}}$, $^{8}\mathbf{R_{13}}$, e $^{8}\mathbf{R_{14}}$ na composição da estrutura relacional comum da Analogia C, o que, de certo modo, impõe uma limitação sobre o uso dessa comparação no processo de construção e compartilhamento de significados em torno dos conceitos mais complexos da dinâmica dos sistemas reacionais em equilíbrio químico: a possibilidade da perturbação do estado de equilíbrio e a possibilidade do seu reestabelecimento por meio dos deslocamentos descritos pelo Princípio de Le Chatelier.

Para uma melhor visualização das diferenças estruturais existentes entre o domínio alvo e o domínio base da Analogia C, podemos observar a Figura 32 que apresenta as sombras da estrutura relacional do DA e a estrutura relacional do DB, respectivamente, num contraste de cinza mais claro que indica as limitações apresentadas pela comparação.

Figura 32 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia C



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

5.3.3.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia C a partir da análise estrutural e dos grupos focais

Dentre as comparações analisadas pelos professores, a Analogia C foi a menos comentada e a que menos chamou a atenção para a discussão do grupo. Contudo, com as poucas falas direcionadas a essa analogia foi possível a identificação de alguns pontos interessantes sobre a comparação.

Embora em nossa análise estrutural não tenhamos visualizado a possibilidade de estabelecimento de correspondências capazes de exemplificar a perturbação do sistema e o Princípio de Le Chatelier, o Professor G, em uma de suas colocações, apontou que essa comparação pode ser usada com esse fim:

> ((01 23’ 27”)) *por exemplo/ o princípio Le Chatelier/ se ele tiver menos lixo aqui/ vem menos moscas/ tipo isso(!);* (Fala do Professor G)

Isso indica que, levando em consideração que o processo de mapeamento estrutural de analogias depende da interpretação que cada pessoa que realiza ao mapear cognitivamente as estruturas da comparação, talvez seja possível usar a Analogia C em situações de ensino, por extrapolação, para abordar os conceitos da perturbação e do deslocamento do equilíbrio químico segundo o Princípio de Le Chatelier, como apontou o Professor G.

Já o Professor D, durante a discussão do segundo grupo focal, preferiu não dar atenção a essa comparação em decorrência da sua percepção sobre o domínio base – sobrevoo de moscas em latas de lixo:

> ((01 11' 55")) *essa comparação C/ ninguém falou dela/ mas é porque ela é tão./ nojenta/ nojento/ sabe(?);* (Fala do Professor D)
>
> ((01 19' 58")) *porque eu acho ela/ grosseira/ entendeu(?)/ por quando fala aqui./ porque que não usa aqui o/ aquário/ peixinho/ tem que ser agradável/ a visão/ é mais simpática/...* (Fala do Professor D)

Percebemos que essa fala influenciou na forma como os demais professores passaram a enxergar a Analogia C, cuja atenção do grupo foi desviada para seu conteúdo e não sua estrutura. Acreditamos que isso impediu uma análise mais profunda das potencialidades e fragilidades dessa comparação nas discussões do segundo grupo focal. A respeito do primeiro grupo focal, por razões desconhecidas, semelhantemente ao segundo grupo, os professores não discutiram com profundidade essa analogia.

5.3.3.2. A sistematicidade da Analogia C

Os concatenamentos entre as relações regidas pela relação de ordem superior $^{5}\mathbf{R}_{9}$, que compõem a estrutura relacional comum da Analogia C, já nos permitem perceber a sistematicidade nessa comparação. Considerando esses concatenamentos regidos pela relação $^{5}\mathbf{R}_{9}$, seria possível dizer que a Analogia C, em termos absolutos, é altamente sistemática. Contudo, em termos relativos, ou seja, comparando os fatores de sistematicidade dessa analogia com a projeção de sistematicidade do domínio alvo levantada em sua análise unilateral, verificamos que ela não é tão sistemática quanto o esperado ou quanto outras analogias investigadas. Consideramos importante observar que, embora os fatores de sistematicidade presentes na Analogia C, até a relação R9, sejam, coincidentes com os projetados no DA (Quadro 19), há ausência de vários outros fatores de sistematicidade que limitam a abrangência dessa analogia sobre o domínio alvo, como já dissemos anteriormente.

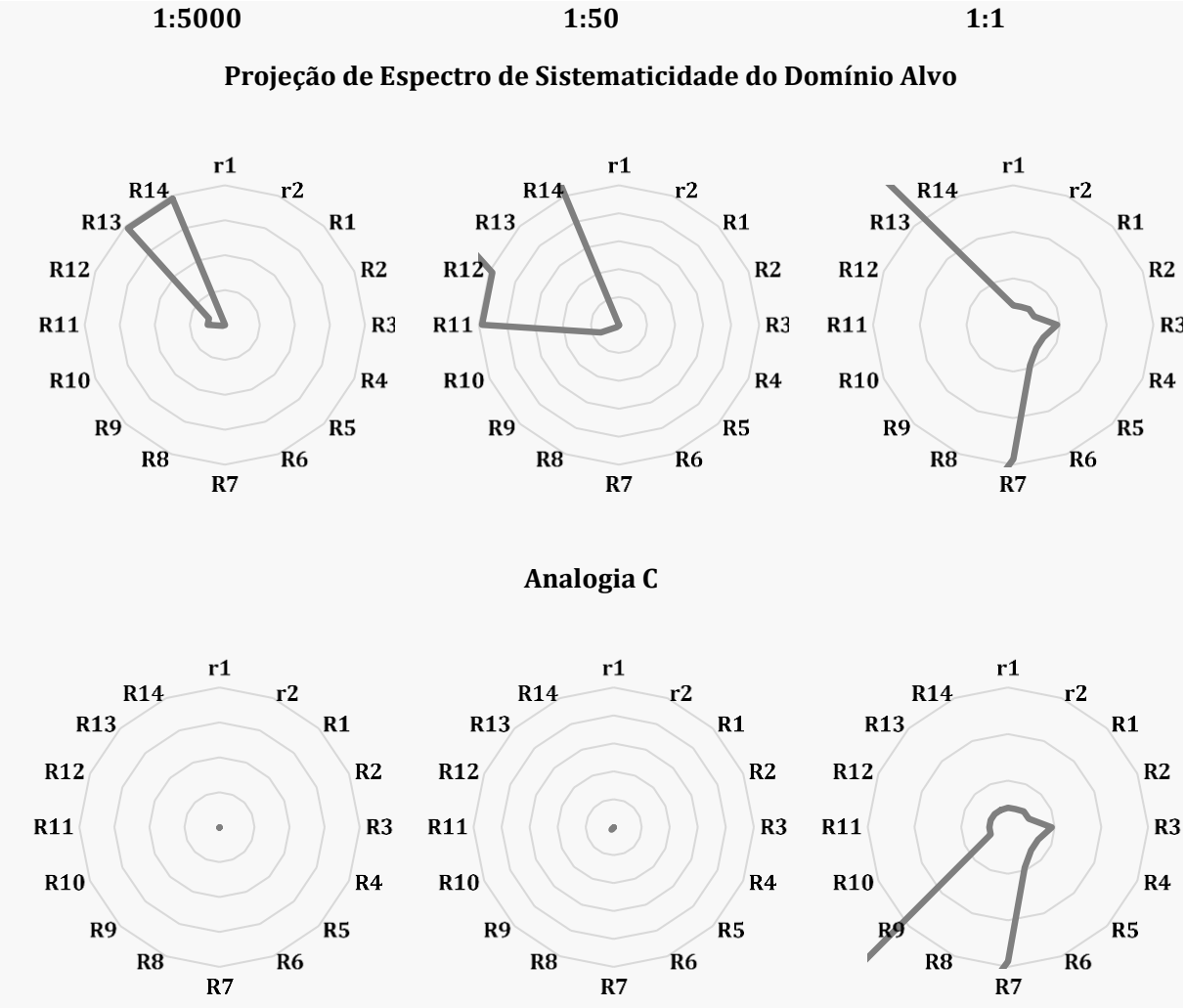
Quadro 19 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia C frente aos valores projetos para o domínio alvo.

	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
DA	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944
Comp. C	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	0	0	0	0	0

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

Os valores apresentados no Quadro 19 nos permitem comparar a sistematicidade dessa analogia com relação à que foi projetada para o domínio alvo, assim como o que pode ser visto por meio de seus espectros de sistematicidade, apresentados na Figura 33.

Figura 33 – Espectro de Sistematicidade da Analogia C



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

O espectro de sistematicidade da Analogia C, comparado à projeção do domínio alvo, evidencia uma tendência da sistematicidade direcionada à relação $^{5}\mathbf{R}_{9}$ que representa a estrutura relacional comum dessa analogia, tendo, portanto, sua sistematicidade dada por:

$$S = \{2325\}$$

Observamos que o espectro dessa comparação somente pode ser visto com mais detalhes na apresentação em escala 1:1, pois as demais visualizações não permitem uma visualização nítida desse comportamento sistemático.

Concluímos que essa comparação, embora apresente um DB considerado por alguns professores nos grupos focais como pouco atraente para ser apresentado em situações de ensino, pode ser usada como uma analogia estruturalmente consistente e

pragmaticamente adequada para compartilhar significados com extensão limitada na relação de ordem superior $^{5}\mathbf{R}_{9}$, que trata da conservação das concentrações dos reagentes e dos produtos durante o estado de equilíbrio químico, em correspondência com a conservação das quantidades de moscas em ambas as lixeiras.

5.3.4. Comparação D

A Comparação D (**Anexo IV**) apresenta como domínio base a dinâmica de peixes transitando entre dois compartimentos de um aquário. A Figura 34 apresenta uma ilustração empregada pelos autores do livro didático no qual a comparação foi encontrada, e o Quadro 20 logo a seguir apresenta o mapeamento estrutural dessa comparação elaborado por meio do Sistema MAPES.

Figura 34 – Ilustração empregada na Comparação D.

Fonte: Novais e Antunes (2016).

Quadro 20 – Mapeamento estrutural da Comparação D

FS	DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIA	DOMÍNIO ALVO	STATUS
0	Aquário	E_1 ↔	Recipiente	✓
0	Peixes do lado esquerdo	E_2 ↔	Reagente (A + B)	✓
0	Peixes do lado direito	E_3 ↔	Produtos (C + D)	✓
0	Tempo	E_4 ↔	Tempo	✓
0	Fatores externos	E_5 ↔	Fatores externos	✓
0	Quantidade de peixes no lado esquerdo	$A_1(E_2)$ ↔	Concentração dos reagentes	✓
0	Quantidade de peixes no lado direito	$A_2(E_3)$ ↔	Concentração dos produtos	✓

0	Peixes podem ser acrescentados ou retirados do aquário; alimentos podem ser acrescentados ao aquário.	$A_3(E_1)$ ↔	Capacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente aberto)	✗
0	Não há atributo correspondente no DB.	$L_1:[A_4(E_1)]$ ↔	Incapacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente fechado)	✗
0	Os peixes são seres vivos e podem apresentar comportamento inesperado.	L_2: $[A_5(E_2/E_3)]^*$ ↔	Não há atributo correspondente no DA.	✗
1	Os peixes no lado esquerdo podem transitar para o lado direito do aquário.	$r_1(E_2, E_3)$ ↔	As substâncias A e B interagem para se transformar nas substâncias C e D.	✓
1	Os peixes no lado direito podem transitar para o lado esquerdo do aquário.	$r_2(E_3, E_2)$ ↔	As substâncias C e D interagem para se transformar nas substâncias A e B.	✓
4	Passagem de peixes do lado esquerdo para o lado direito do aquário	${}^2R_1(E_1, r_1)$ ↔	Reação química direta – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite A e B se transformarem em C e D (r1).	#
4	Passagem de peixes do lado direito para o lado esquerdo do aquário	${}^2R_2(E_1, r_2)$ ↔	Reação química inversa – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite as substâncias C e D reconstituírem A e B (r2).	#
27	A passagem de peixes do lado direito para o esquerdo acontece ao mesmo tempo que a passagem de peixes do lado esquerdo para o lado direito do aquário.	${}^3R_3(E_1, E_4, {}^2R_1, {}^2R_2)$ ↔	A reação química direta acontece ao mesmo tempo que a reação química inversa dentro do recipiente	#
15	Quantidade de peixes em trânsito do lado esquerdo para o lado direito	${}^3R_4(E_4, {}^2R_1)$ ↔	Velocidade da reação química direta (uma ocorrência em função do tempo)	#
15	Quantidade de peixes em trânsito do lado direito para o lado esquerdo	${}^3R_5(E_4, {}^2R_2)$ ↔	Velocidade da reação química inversa (uma ocorrência em função do tempo)	#
27	Devido a possibilidade dos peixes passarem de um lado para o outro no aquário, há peixes em ambos os lados permanentemente.	${}^3R_6(E_1, {}^2R_1, {}^2R_2)$ ↔	Devido a reversibilidade das reações no sistema, todas as espécies químicas (reagentes e produtos) coexistem permanentemente.	#
124	Quando a quantidade de peixes em trânsito do lado esquerdo para o direito for igual à quantidade de peixes em trânsito para o lado direito, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no aquário.	${}^4R_7({}^3R_4, {}^3R_5)$ ↔	Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no sistema reacional	#
340	A ocorrência simultânea das passagens de peixes de um lado para o outro em quantidades iguais garante a conservação da	${}^4R_8(A_1, A_2, {}^3R_3, {}^3R_4, {}^3R_5, {}^3R_6)$ ↔	A ocorrência simultânea das reações com a mesma taxa de desenvolvimento (velocidade) garante a conservação das	#

	quantidade de peixes do lado direito e a conservação da quantidade de peixes do lado esquerdo, que coexistem no aquário.		concentrações dos reagentes e produtos que coexistem no sistema reacional.	
2325	Durante o estado de equilíbrio dinâmico, as quantidades de peixes em ambos os lados se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	$^{5}R_{9}(^{4}R_{7}, ^{4}R_{8})$ ↔	Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	#
13956	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as quantidades de peixes em trânsito e as quantidades de peixes em cada lado do aquário (p. ex.: a adição de peixes ao aquário)	$^{6}R_{10}(E_{5}, ^{5}R_{9})$ ↔	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as velocidades das reações e a conservação das concentrações dos reagentes e produtos no sistema reacional.	#
97727	Uma perturbação pode estimular a passagem de peixes do lado direito para o lado esquerdo do aquário e, consequentemente, aumentar a quantidade de peixes no lado esquerdo do aquário.	$^{7}R_{11}(A_{1}, ^{2}R_{2}, ^{6}R_{10})$ ↔	Uma perturbação pode favorecer a reação inversa (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos reagentes.	#
97727	Uma perturbação pode estimular a passagem de peixes do lado esquerdo para o lado direito do aquário e, consequentemente, aumentar a quantidade de peixes no lado direito do aquário.	$^{7}R_{12}(A_{2}, ^{2}R_{1}, ^{6}R_{10})$ ↔	Uma perturbação pode favorecer a reação direta (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos produtos.	#
781944	Após uma perturbação do estado de equilíbrio dinâmico, por meio do aumento da quantidades de peixes em trânsito do lado direito para o esquerdo, o "sistema" pode alcançar uma nova condição de equilíbrio dinâmico de forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a quantidade de peixes em trânsito do lado esquerdo para o lado direito.	$^{8}R_{13}(^{3}R_{4}, ^{7}R_{11})$ ↔	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação inversa por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação direta.	#
781944	Após uma perturbação do estado de equilíbrio dinâmico, por meio do aumento da quantidades de peixes em trânsito do lado esquerdo para o direito, o "sistema" pode alcançar uma nova condição de equilíbrio dinâmico de forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a quantidade de peixes em	$^{8}R_{14}(^{3}R_{5}, ^{7}R_{12})$ ↔	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação direta por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação inversa.	#

	trânsito do lado direito para o lado esquerdo.			
-	Os peixes não se transformam em outros seres durante o trânsito entre os lados do aquário.	D_1:[r_1(E_1, E_2)] ⟷	Os reagentes são transformados em outras substâncias	-
-	Os peixes não se transformam em outros seres durante o trânsito entre os lados do aquário.	D_2:[r_2(E_1, E_3)] ⟷	Os produtos são transformados em outras substâncias	-
-	A coexistência de peixes no aquário, devido a passagem de peixes em ambos os sentidos, ocorre em compartimentos separados do aquário.	D_3:[$^3R_6$(E_1, $^2R_1$, $^2R_2$)] ⟷	A coexistência permanente de reagentes e produtos, devido a reversibilidade das reações, ocorre em um recipiente de compartimento único.	-
-	O aquário possui dois compartimentos ligados por um tubo.	D_4:[E_1] ⟷	O recipiente possui compartimento único	-
* - O atributo A_5 do elemento E_1 recebeu essa numeração por ter sido um atributo mapeado após os quatro atributos provenientes da caracterização do domínio alvo no Quadro 12.				

Fonte: Desenvolvido pelo Autor via MAPES (2019)

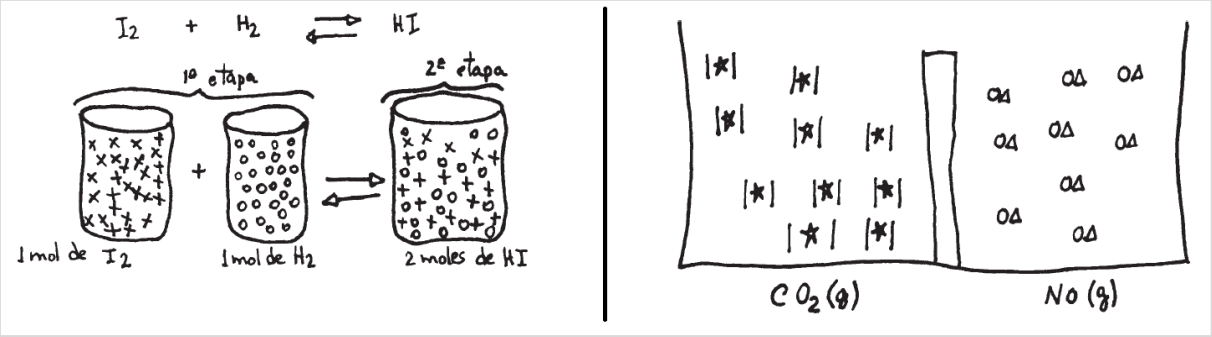
Dentre as cinco comparações analisadas nesta pesquisa, a Comparação D foi a que apresentou um domínio base com o maior número de correspondências com o domínio alvo, sendo a única a abranger todos os conceitos fundamentais da dinâmica das reações em equilíbrio. Contudo, essa comparação apresenta diferenças alinháveis relacionadas ao conceito de transformação, assim como as demais, e relacionadas à coexistência de espécies no mesmo recipiente.

Considerando o mapeamento estrutural do Quadro 20, podemos afirmar que a Comparação D: (i) é estruturalmente consistente, por apresentar entre os cinco elementos e os três atributos mapeados a correspondência um a um e por apresentar conectividade em paralelo no interior das relações colocadas em correspondência; e (ii) apresenta foco relacional, tendo 14 relações em correspondência. Portanto, de acordo com nosso referencial teórico, a Comparação D também é uma analogia.

Contudo, observamos que essa analogia oferece um risco de promover a construção de uma ideia equivocada acerca da disposição das substâncias no sistema reacional, pois aborda a dinâmica de um sistema análogo em equilíbrio apresentando os elementos correspondente às substância (os peixes) separados por compartimentos ou recipientes. Segundo Machado e Aragão (1996), no estudo das reações químicas em equilíbrio, os alunos tendem a imaginar os reagentes e produtos separados por

recipientes ou compartimentados, por associação com as equações químicas, como mostra a Figura 35. Essa associação dificulta o entendimento sobre o modo como as reações acontecem e se torna fator chave que influencia na abstração e compreensão dos significados em torno dos conceitos de equilíbrio químico.

Figura 35 – (Esq) Representação para o estado de equilíbrio químico em forma semelhante à de uma equação química para o sistema I2 + H2 ⇌ 2 HI. (Dir) Representação do estado de equilíbrio químico para o sistema CO2 + NO ⇌ CO + NO2 , evidenciando a concepção de reagentes e produtos em recipientes separados

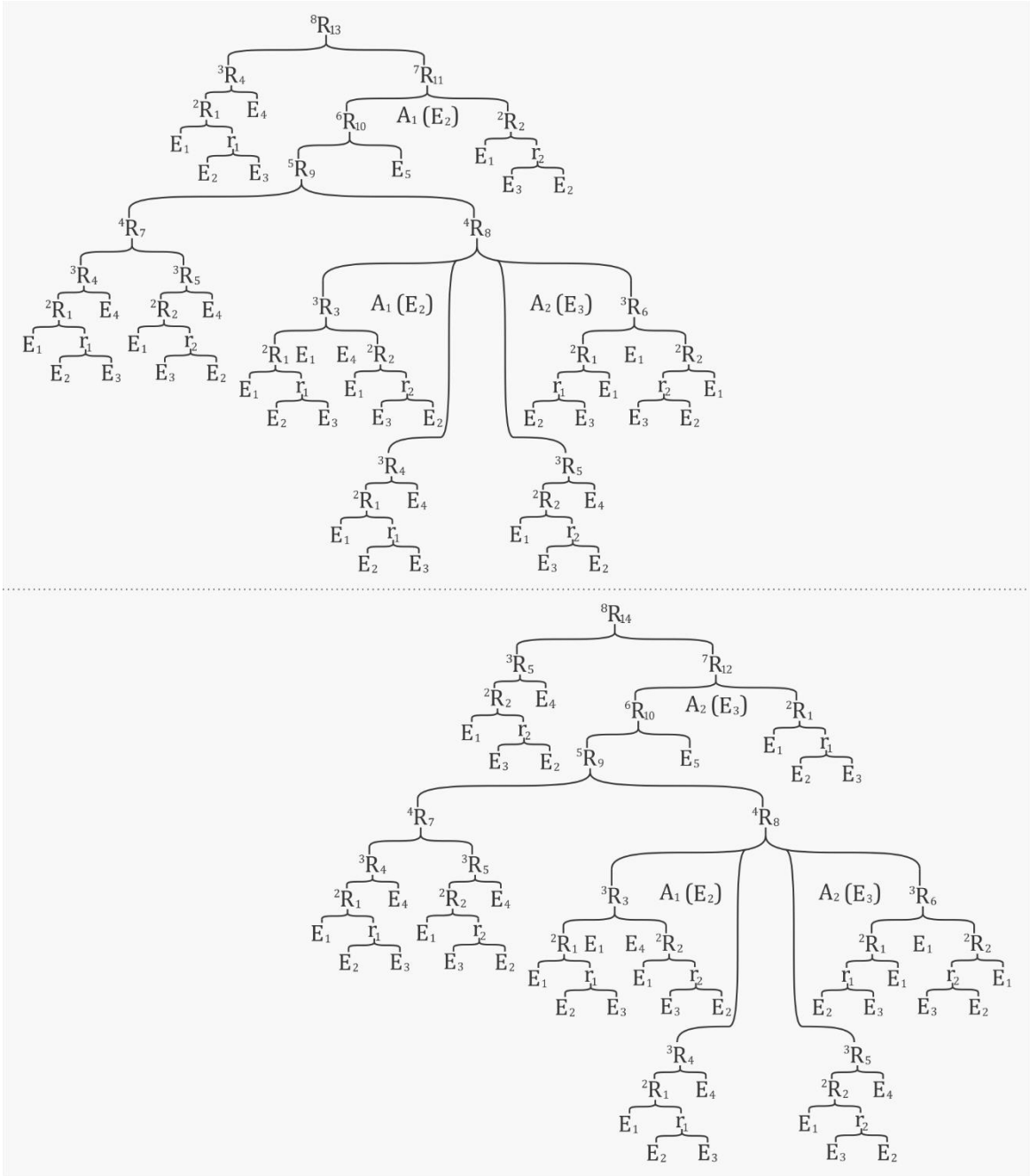


Fonte: Machado e Aragão (1996, p. 19)

Consideramos que, em uma abordagem da Analogia D em situações de ensino, é necessário que essa diferença seja trabalhada cuidadosamente para que a analogia não contribua para esse desvio de raciocínio, principalmente relacionado ao conceito de coexistência das substâncias.

O mapeamento estrutural evidencia que as relações simétricas e não concatenadas $^{8}\mathbf{R}_{13}$ e $^{8}\mathbf{R}_{14}$ são as de maior nível hierárquico, sendo, portanto, as relações de ordem superior que regem as expressões de concatenamento que compõem a estrutura relacional comum da Analogia D, conforme a Figura 36.

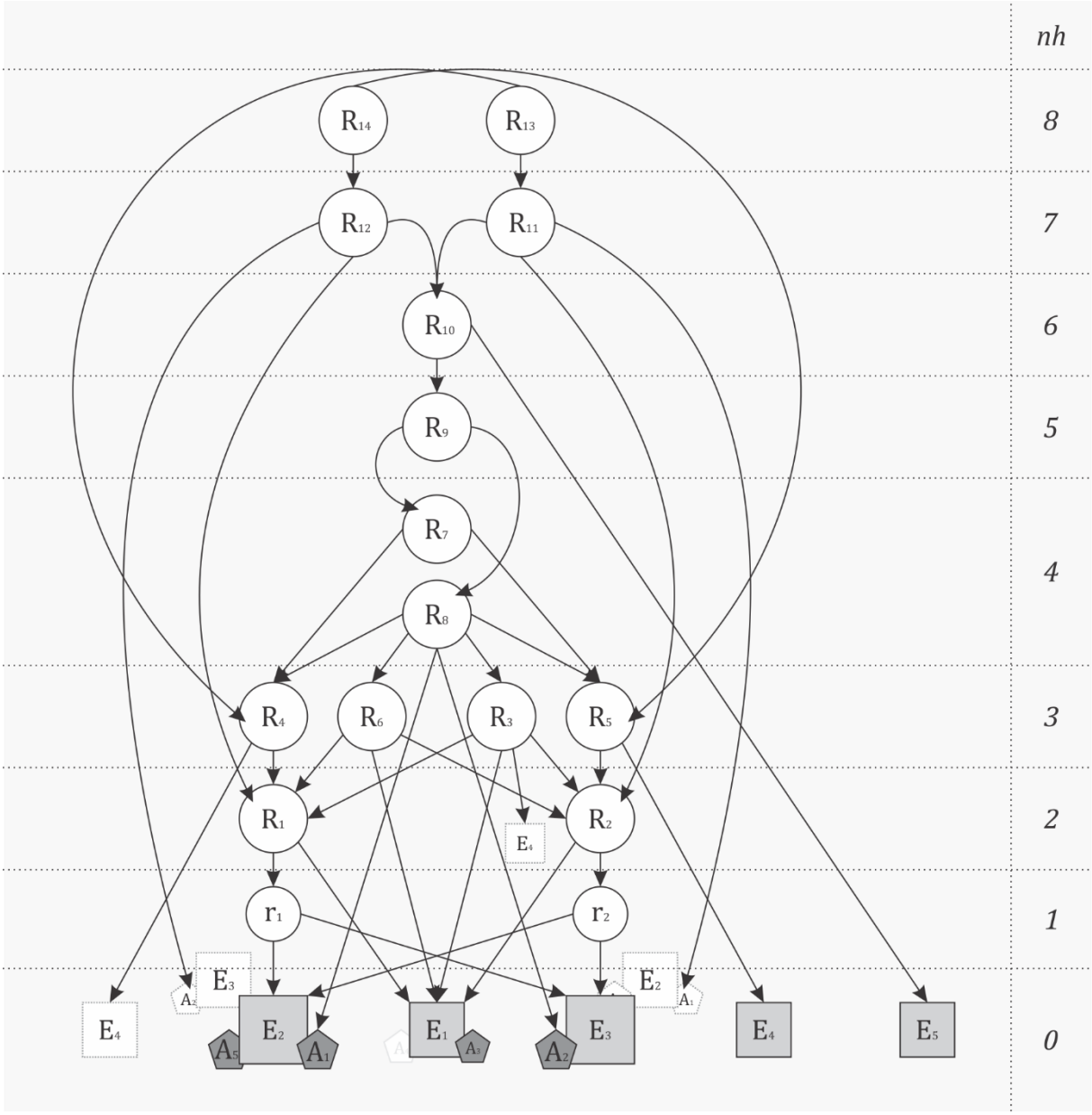
Figura 36 – Estrutura Relacional Comum da Analogia D



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Assim como foi feito para as analogias A, B e C, a representação gráfica da estrutura relacional comum da Analogia D, apresentada na Figura 37 a seguir, revela a abrangência dessa comparação sobre o domínio alvo – a dinâmica e as implicações de um sistema reacional em equilíbrio químico.

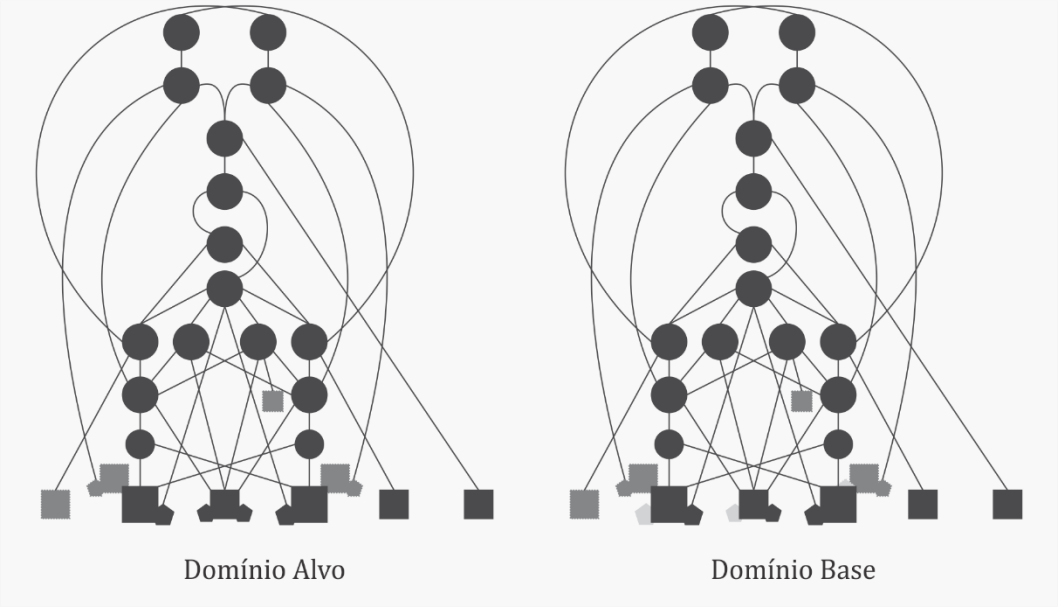
Figura 37 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Analogia D



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A Figura 38 a seguir evidencia as diferenças estruturais existentes entre o domínio alvo e o domínio base da Analogia D, que, diferentemente das analogias analisadas anteriormente, são quase imperceptíveis.

Figura 38 - Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Analogia D



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

5.3.4.1. Potencialidades e Fragilidades da Analogia D a partir da análise estrutural e dos grupos focais

Dentre as comparações analisadas pelos participantes dos grupos focais, a Analogia D foi a que mais chamou a atenção, positivamente, dos professores durante as discussões. O Professor B, por exemplo, fez as seguintes considerações sobre essa comparação:

> ((50' 19")) *é/ eu gostei/ talvez eu até/ usasse/ a ideia aqui/ dos peixes/ em princípio/ eu achei a melhor delas/ mas ela./ como o peixe é um ser vivo/ que tem outras variáveis implicando/ eu gostei muito/ porque/ na comparação D/ o sistema é fechado/ e/ a ideia de proporção/ a ideia que o autor/ e/ inclusive/ eu acho que ele queria trabalhar aqui/ é a ideia de proporção/ eles duplicaram o número de/ de seres vivos/ e ele pressupõe que o fluxo seja o mesmo/ aí/ ele tá/ muito pressupondo/ né(!?)/ por se tratar de seres vivos/ talvez tivesse uma quantidade de alimentos aqui de um lado/ e o fluxo não seria o mesmo/ né(!?)/...* (Fala do Professor B)

O Professor B também fez uma observação sobre a abrangência conceitual da Comparação D:

> ((51' 13")) *então/ a comparação D me pareceu mais rica/ para eu poder trabalhar/ então eu poderia/ né(!?)/...* (Fala do Professor B)
>
> ((51' 21")) *eu julgo mais rica/ por o sistema tá fechado/ é muito./ é um cuidado que a gente tem que ter/ no ensino de equilíbrio químico/ é sistema fechado/ coexistência de espécies/ rendimento/ não de cem por cento/ rendimentos baixíssimos/ são/ são etapas/ que você tem que trabalhar com o aluno/ pra no final/ você não precisar mais de falar isso;* (Fala do Professor B)

A riqueza das analogias é uma característica que, aparentemente, atraiu os professores. Quando questionados sobre qual ou quais analogias escolheriam para utilizarem em suas aulas, todos manifestaram interesse em analogias que conseguissem abranger o maior número possível de conceitos sobre equilíbrio químico, inclusive, alguns professores compartilharam com o grupo algumas analogias, diferentes das que estavam em discussão, utilizadas por eles mesmos, por meio das quais enfatizavam as preocupações em apresentar o maior número de semelhanças durante a explicação dos conteúdos.

Os professores ainda fizeram observações sobre correspondências explícitas no texto, como é o caso do conceito de perturbação sinalizado pelo Professor A:

> ((51' 07"))*{o Professor A lê um trecho da lâmina da comparação D} poderia ser rompido de outras maneiras/ por exemplo/ acrescentando-se mais alimento em um dos lados/.../ ele põe essa possibilidade/ né(!?);* (Fala do Professor A)

No geral, os professores apontaram várias possibilidades de exploração da Analogia D, principalmente o professor B, que foi o que mais apontou inferências sobre as comparações.

> ((01 00' 38")) *dos aquários/.../acho que provocaria mais conversa aqui/ até o fato de/ inserir o alimento/ e mudar/ assim/ eu acho que a A/ assim/ seria o primeiro exemplo/ e essa aqui {o Professor B sinaliza para a lâmina da comparação D}/ a gente poderia conversar mais/ a D/ então a A./ os carrinhos seriam mais simples/ né(!?)/ os carrinhos se movimentando/ aquela conversa mais primária/ mas que poderia ser utilizado sim/ e essa aqui {o Professor B sinaliza para a lâmina da comparação D}/ por tá no sistema fechado/ por ter/ duas comparações em quantidades/ e traçando/ assim/ alguma coisa/ assim/ eu acho que ela./ ela./ ela tem mais elementos para conversar;* (Professor B)

Embora a Analogia D tenha sido a que mais chamou a atenção positivamente, os participantes dos grupos apontaram algumas características que geraram incômodo e um certo receio de utilizá-la em sala de aula, como o Professor F:

> ((01 12' 06")) *eu acho que ela/ tanto a da mosca quanto a do peixe tem a mesma/ é.../ ideia/ só que tem um problema grave/ no termo./ pelo menos ao meu ver/ em relação ao equilíbrio/ porque/ as moscas/ a princípio são todas moscas iguais/ uma coisa única/ e peixe é uma coisa única/ então/ pra lá ou pra cá/ mas isso não é A ou B/ isso não é cromato ou dicromato/ isso é peixe pra lá ou pra cá/ então para mim não tem nada a ver com analogia/ e com equilíbrio químico/...* (Professor F)

Há que se dizer que nenhuma das comparações apresentou uma diversidade de elementos que possibilitasse abordar a ideia de transformação em correspondência com a transformação química das substâncias no domínio alvo. Isso gerou um certo desconforto durante a escolha das analogias pelos professores, o que poderia levá-los a

não escolher nenhuma das comparações para um hipotético emprego em alguma situação de ensino.

5.3.4.2. A sistematicidade da Analogia D

Tendo em vista a elevada abrangência do domínio base da Analogia D sobre as relações de ordem superior previstas para o domínio alvo, e os concatenamentos regidos pelas relações $^{8}\mathbf{R}_{13}$ e $^{8}\mathbf{R}_{14}$, podemos estimar essa comparação é altamente sistemática. Tal estimativa pode ser verificada por meio dos valores apresentados no Quadro 21, que contém os fatores de sistematicidade das correspondências mapeadas na Analogia D confrontados com os valores projetados para o domínio alvo.

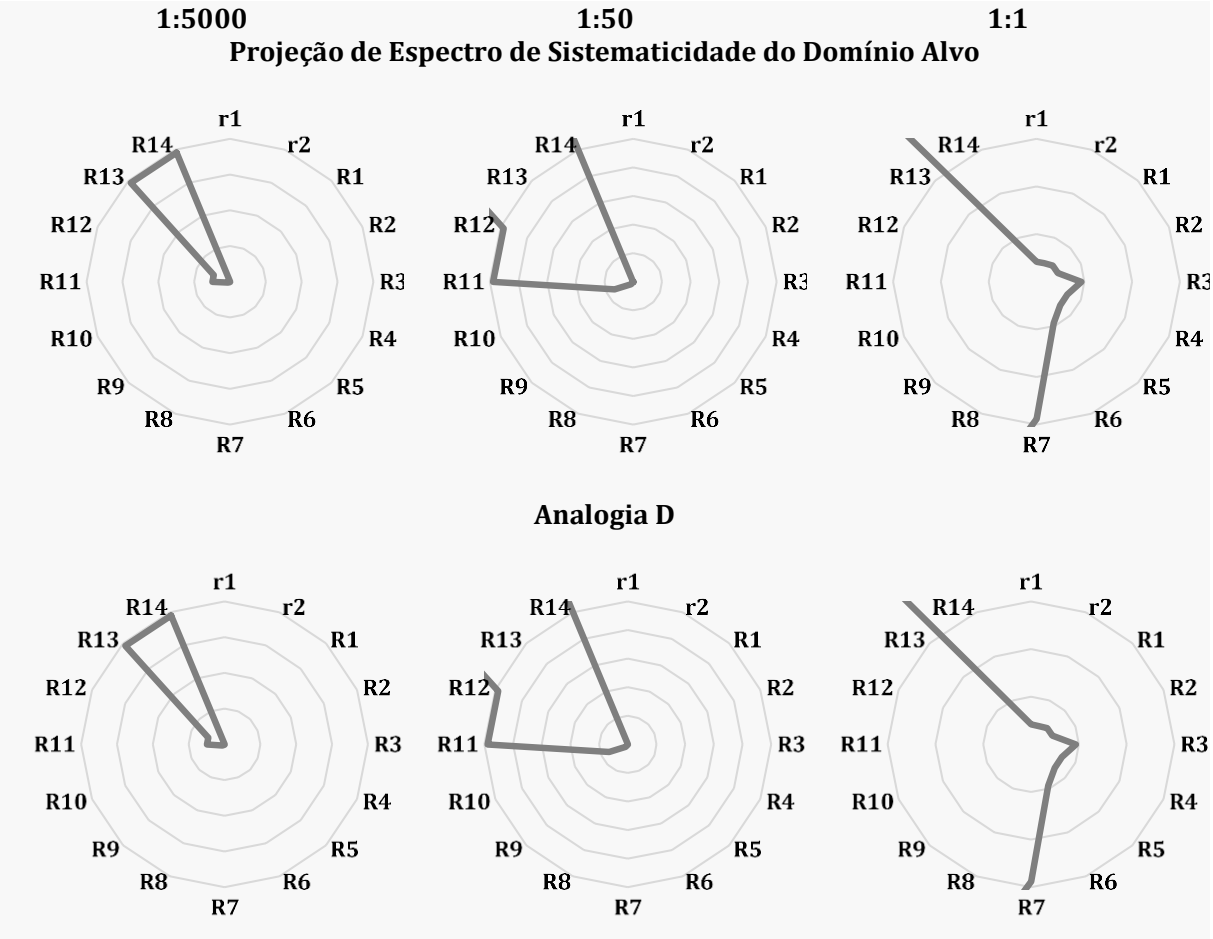
Quadro 21 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Analogia D frente aos valores projetos para o domínio alvo

	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
DA	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944
Comp. D	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

A partir dos valores apresentados no Quadro 21, consideramos importante destacar que os fatores de sistematicidade calculados pelo Sistema MAPES, via o algoritmo apresentado no capítulo da metodologia, são totalmente coincidentes com os valores projetados para o domínio alvo, o que confirma a alta sistematicidade prevista durante o mapeamento estrutural. Assim como fizemos para as outras analogias, a Figura 39 a seguir apresenta os espectros de sistematicidade da Analogia D.

Figura 39 – Espectro de Sistematicidade da Analogia D



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

O espectro de sistematicidade da Analogia D, comparado à projeção do domínio alvo, evidencia uma tendência da sistematicidade direcionada às relações de ordem superior $^{8}\mathbf{R}_{13}$ e $^{8}\mathbf{R}_{14}$**,** que regem as expressões de concatenamento constituintes da estrutura relacional comum dessa analogia, tendo, portanto, sua sistematicidade dada por:

$$S = \{781944, 781944\}$$

Por fim, concluímos que a Comparação D é uma analogia estruturalmente consistente, com o devido foco relacional e altamente sistemática, constituindo-se como um recurso mediacional pragmaticamente adequado para compartilhar, por semelhança relacional, uma quantidade relativamente grande de significados em torno dos conceitos referentes à dinâmica das reações químicas em equilíbrio, incluindo as questões ligadas aos processos de perturbação e de deslocamento do equilíbrio descritos pelo Princípio de

Le Chatelier, embora apresente algumas limitações pontuais e algumas diferenças alinháveis.

5.3.5. Comparação E

A Comparação E (**Anexo V**) apresenta como domínio base uma alegoria que trata de uma situação em que um pintor e um "despintor" pinta e despinta uma linha ao longo de uma estrada entre duas cidades, Pintalândia e Despintalândia. O Quadro 22 apresenta o mapeamento estrutural dessa comparação elaborado por meio do Sistema MAPES.

Quadro 22 – Mapeamento estrutural da Comparação E

FS	DOMÍNIO BASE	CORRESPONDÊNCIA	DOMÍNIO ALVO	STATUS
0	Estrada	E_1 ↔	Recipiente	✓
0	Tinta a ser aplicada	E_2 ↔	Reagente (A + B)	✓
0	Tinta aplicada na Estrada	E_3 ↔	Produtos (C + D)	✓
0	Tempo	E_4 ↔	Tempo	✓
0	Fatores externos	E_5 ↔	Fatores externos	✓
0	Quantidade de tinta a ser aplicada	$A_1(E_2)$ ↔	Concentração dos reagentes	✓
0	Quantidade de tinta aplicada	$A_2(E_3)$ ↔	Concentração dos produtos	✓
0	Não há atributo correspondente no DB.	$L_1:[A_3(E_1)]$ ↔	Capacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente aberto)	✗
0	Não há atributo correspondente no DB.	$L_2:[A_4(E_1)]$ ↔	Incapacidade de trocar matéria com o meio externo (recipiente fechado)	✗
1	Tinta é usada para pintar a estrada	$r_1(E_2, E_3)$ ↔	As substâncias A e B interagem para se transformar nas substâncias C e D.	✓
1	A tinta aplicada é removida da estrada.	$r_2(E_3, E_2)$ ↔	As substâncias C e D interagem para se transformar nas substâncias A e B.	✓
4	Processo de pintura da estrada	$^2R_1(E_1, r_1)$ ↔	Reação química direta – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite A e B se transformarem em C e D (r1).	#
4	Processo de "despintura" da estrada	$^2R_2(E_1, r_2)$ ↔	Reação química inversa – é um dos processos que ocorrem no sistema reacional que permite	#

			as substâncias C e D reconstituírem A e B (r2).	
0	Os processos de pintura e despintura não ocorrem simultaneamente*; primeiro há a pintura para depois ocorrer a remoção da tinta da estrada.	L_3:[$^3R_3$(E_1, E_4, $^2R_1$, $^2R_2$)] ↔	A reação química direta acontece ao mesmo tempo que a reação química inversa dentro do recipiente	#
15	Velocidade do processo de pintura	$^3R_4$(E_4, $^2R_1$) ↔	Velocidade da reação química direta (uma ocorrência em função do tempo)	#
15	Velocidade do processo de remoção da pintura	$^3R_5$(E_4, $^2R_2$) ↔	Velocidade da reação química inversa (uma ocorrência em função do tempo)	#
0	Não há relação correspondente no DB para abordar a coexistência; ou, não há sentido na ideia de coexistência de tinta a ser aplicada e tinta aplicada.	L_4:[$^3R_6$(E_1, $^2R_1$, $^2R_2$)] ↔	Devido a reversibilidade das reações no sistema, todas as espécies químicas (reagentes e produtos) coexistem permanentemente.	#
124	Quando as velocidades dos processos de pintura e despintura se igualam, estabelece-se uma aparente situação de equilíbrio na estrada que liga as duas cidades.	$^4R_7$($^3R_4$, $^3R_5$) ↔	Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, estabelece-se um estado de equilíbrio dinâmico no sistema reacional	#
0	Não há uma relação similar correspondente no DB, pois (i) os processos não são simultâneos, (ii) não há sentido em se propor a coexistência da tinta aplicada e tinta a ser aplicada na estrada e, (iii) mesmo que os processos ocorressem com a mesma velocidade, nunca se conservaria a mesma parte pintada da estrada (em períodos intercalados, ora uma parte da estrada ficaria pintada ora ficaria sem tinta).	L_5:[$^4R_8$(A_1, A_2, $^3R_3$, $^3R_4$, $^3R_5$, $^3R_6$)] ↔	A ocorrência simultânea das reações com a mesma taxa de desenvolvimento (velocidade) garante a conservação das concentrações dos reagentes e produtos que coexistem no sistema reacional.	#
0	Não há relação similar correspondente no DB, pois a quantidade de tinta depositada na estrada varia em períodos intercalados a cada processo.	L_6:[$^5R_9$($^4R_7$, $^4R_8$)] ↔	Durante o estado de equilíbrio químico, as concentrações dos reagentes e dos produtos se mantêm constantes, mas não necessariamente iguais.	#
6	Fatores externos podem perturbar a aparente situação de equilíbrio, de modo a afetar as velocidades dos processos de pintura e de remoção de tinta da estrada e, consequentemente, a quantidade de tinta aplicada na estrada.	$^6R_{10}$(E_5, $^5R_9$) ↔	Fatores externos podem perturbar o estado de equilíbrio dinâmico, de modo a afetar as velocidades das reações e a conservação das concentrações dos reagentes e produtos no sistema reacional.	#

77	Uma perturbação pode favorecer o processo de remoção da tinta.	$^{7}R_{11}(A_1, {}^{2}R_2, {}^{6}R_{10})$ ⟷	Uma perturbação pode favorecer a reação inversa (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos reagentes.	#
77	Uma perturbação pode favorecer o processo de pintura e, consequentemente, aumentar a quantidade de tinta aplicada na estrada.	$^{7}R_{12}(A_2, {}^{2}R_1, {}^{6}R_{10})$ ⟷	Uma perturbação pode favorecer a reação direta (aumentar sua velocidade) e, consequentemente, provocar o aumento da concentração dos produtos.	#
0	Após uma perturbação da aparente situação de equilíbrio, por meio do favorecimento do processo de despintura por um fator externo, o "sistema", por si só, não buscará uma nova situação de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade do processo de pintura.	$L_7:[{}^{8}R_{13}({}^{3}R_4, {}^{7}R_{11})]$ ⟷	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação inversa por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação direta.	#
0	Após uma perturbação da aparente situação de equilíbrio, por meio do favorecimento do processo de pintura por um fator externo, o "sistema", por si só, não buscará uma nova situação de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade do processo de remoção da tinta.	$L_8:[{}^{8}R_{14}({}^{3}R_5, {}^{7}R_{12})]$ ⟷	Após uma perturbação do estado de equilíbrio químico, por meio do favorecimento da reação direta por um fator externo, o sistema reacional deslocará sua posição de equilíbrio de tal forma a minimizar o efeito da perturbação, afetando a velocidade da reação inversa.	#
-	A tinta não sofre transformação química.	$D_1:[r_1(E_2, E_3)]$ ⟷	Os reagentes são transformados em outras substâncias	-
-	Durante a remoção da tinta não há transformação química.	$D_2:[r_2(E_3, E_2)]$ ⟷	Os produtos são transformados em outras substâncias	-
-	O processo de pintura seria realizado por um ser humano, que pode apresentar comportamento inesperado	$D_3:[{}^{2}R_1(E_1, r_1)]$ ⟷	Os reagentes não apresentam comportamento inesperado.	-
-	O processo de despintura seria realizado por um ser humano, que pode apresentar comportamento inesperado.	$D_4:[{}^{2}R_2(E_1, r_2)]$ ⟷	Os produtos não apresentam comportamento inesperado.	-
-	O aparente equilíbrio não envolve dois processos simultâneos	$D_5:[{}^{4}R_7({}^{3}R_4, {}^{3}R_5)]$ ⟷	A situação de equilíbrio envolve a ocorrência simultânea das duas reações.	-
-	Os fatores externos afetam a quantidade de tinta aplicada na estrada, mas não afeta a quantidade a ser aplicada, pois a tinta removida não é a mesma	$D_6:[{}^{6}R_{10}(E_5, {}^{5}R_9)]$ ⟷	Os fatores externos afetam a conservação das concentrações produtos e dos reagentes.	-

	que será usada para pintar novamente.			
-	O favorecimento do processo de despintura não provoca o aumento da quantidade de tinta a ser aplicada na estrada: a tinta removida não é devolvida para a lata de tinta; a quantidade de tinta a ser aplicada para repintar seria a mesma quantidade empregada antes da remoção.	D_7:[$^7R_{11}$(A_1, $^2R_2$, $^6R_{10}$)] ←—×—→	O favorecimento da reação inversa provoca o aumento da concentração dos reagentes.	-
* - De acordo com a fonte da comparação E, os dois processos não são simultâneos, pois o processo da remoção da tinta somente ocorre após a pintura de parte da estrada e o instante no qual o pintor volta para a cidade "Pintalândia" para buscar mais tinta. O processo da pintura volta a acontecer quando o "despintor" volta para buscar o removedor.				

Fonte: Desenvolvido pelo Autor via MAPES (2019).

A partir do mapeamento estrutural apresentado no Quadro 22, identificamos que na Comparação E é possível construir 5 (cinco) correspondência entre elementos (as mesmas correspondências mapeadas nas outras quatro comparações), apenas duas correspondências entre atributos, as mesmas duas correspondências entre relações de primeira ordem mapeadas nas outras comparações e apenas 8 relações de ordem superior (**$^2R_1$, $^2R_2$, $^3R_4$, $^3R_5$, $^4R_7$, $^6R_{10}$, $^7R_{11}$** e **$^7R_{12}$**), além de apresentar uma quantidade relativamente alta de limitações (8) e de diferenças alinháveis (7), sendo, portanto, a comparação que mais apresentou divergências nas correspondências mapeadas; foram estabelecidas mais limitações e diferenças alinháveis do que correspondências de similaridade associadas a relações: 13 *versus* 10.

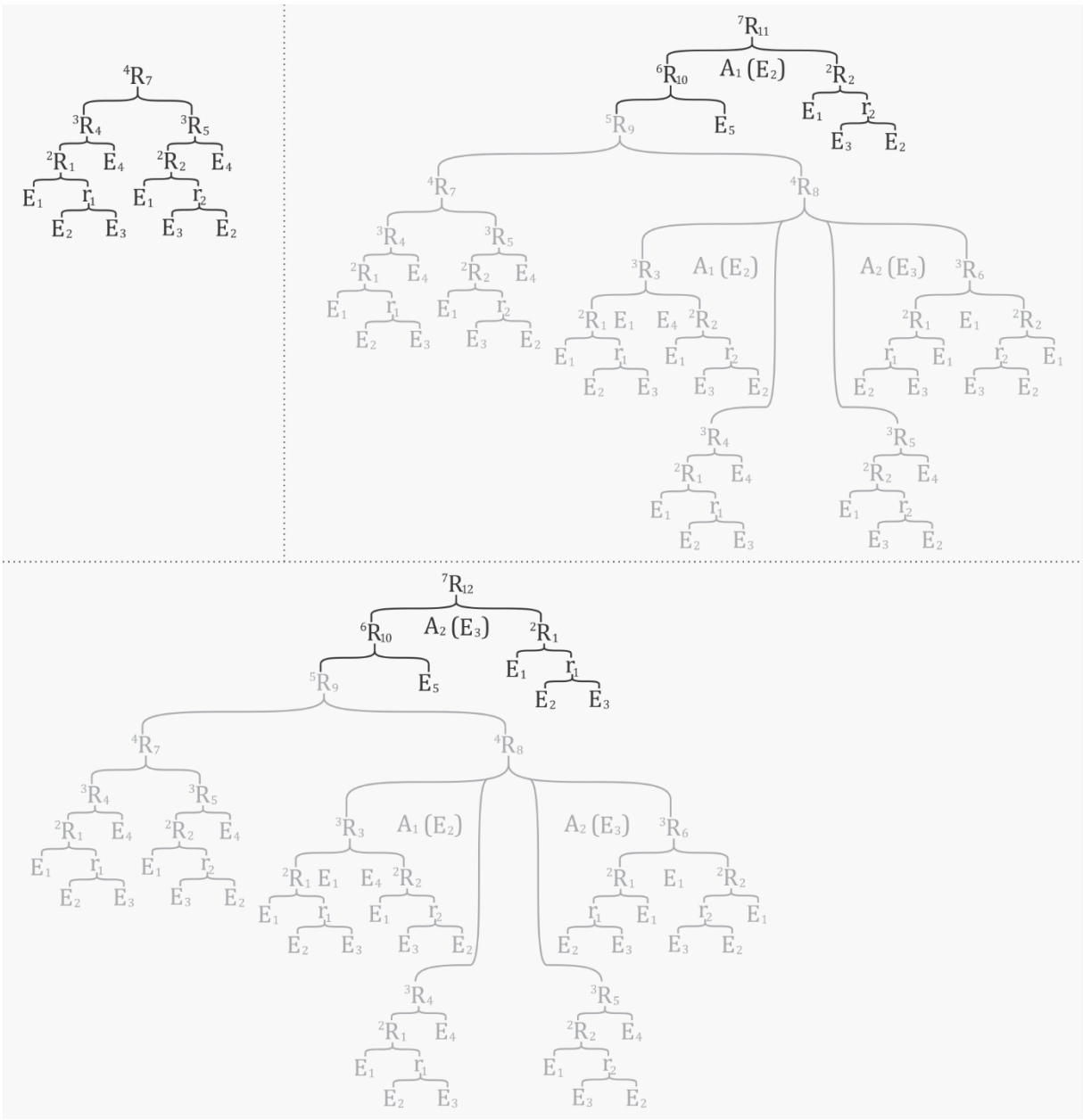
Além disso, as 6 (seis) diferenças alinháveis mapeadas estão associadas a seis relações. Isso significa que, para evitar transposições equivocadas de significados das relações identificadas no domínio base para o domínio alvo, seria necessário explorar cada uma dessas diferenças, o que poderia, de certa forma, juntamente com as 8 (oito) limitações mapeadas, impactar sobre o reconhecimento da plausibilidade da comparação para os estudantes em uma situação de ensino.

A partir dessas considerações, a nosso ver, a Comparação E, ao invés de ser considerada como uma analogia, deva ser compreendida como uma anomalia, segundo as categorias apresentadas pela Teoria do Mapeamento Estrutural, de Gentner (1983).

Contudo, considerando a possibilidade do emprego dessa comparação em eventuais situações de ensino sobre a dinâmica das reações químicas em equilíbrio,

prossigamos com a sua análise estrutural. A Figura 40 apresenta a estrutura relacional comum da Comparação E, constituída pelas expressões de concatenamento regidas por três relações de ordem superior: $^{4}\mathbf{R}_{7}$, $^{7}\mathbf{R}_{11}$ e $^{7}\mathbf{R}_{12}$.

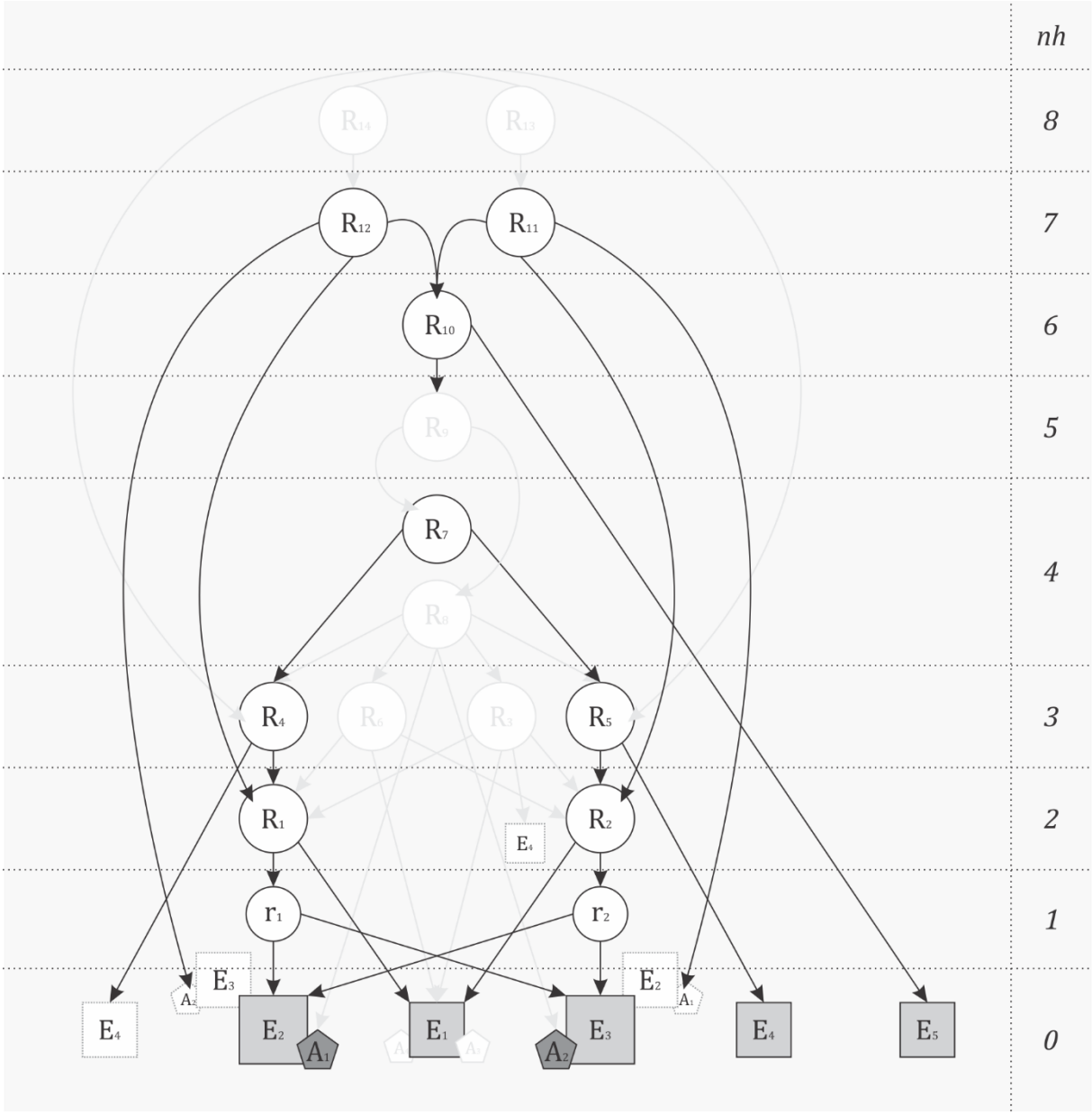
Figura 40 – Estrutura Relacional Comum da Comparação E



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

A partir da constituição gráfica da Estrutura Relacional Comum da Comparação E, apresentada na Figura 41 a seguir, percebemos que essa comparação, embora mapeie duas relações de alto nível hierárquico, apresenta diversas inconsistências em sua estrutura identificas pela ausência das relações $^{5}\mathbf{R}_{9}$, $^{4}\mathbf{R}_{8}$, $^{3}\mathbf{R}_{6}$ e $^{3}\mathbf{R}_{3}$.

Figura 41 – Representação gráfica da Estrutura Relacional Comum da Comparação E



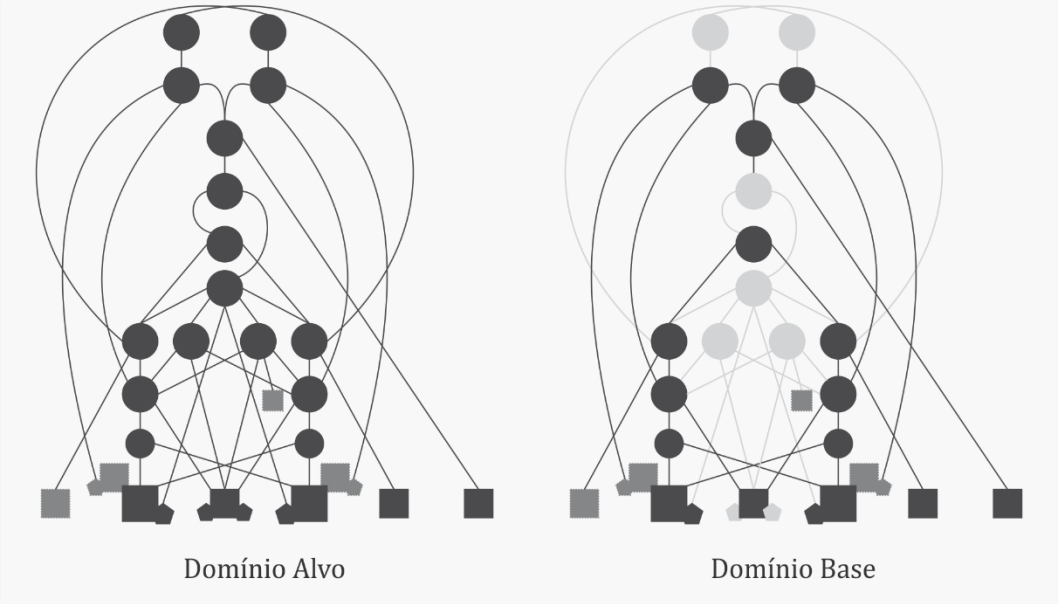
Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Conforme pode ser visto na representação gráfica da estrutura relacional comum da Comparação E, apresentada na Figura 41, apesar da existência de relações de ordem superior de alto nível hierárquico – as simétricas $^{7}\mathbf{R_{12}}$ e $^{7}\mathbf{R_{11}}$ e a relação $^{6}\mathbf{R_{10}}$, é possível perceber diversas lacunas sobre a estrutura relacional do domínio alvo que podem comprometer a construção e o compartilhamento de significados em torno dos seus conceitos fundamentais do Equilíbrio Químico.

Para uma melhor visualização das diferenças estruturais existentes entre o domínio alvo e o domínio base da Comparação E, a Figura 42 apresenta as sombras da

estrutura relacional do DA e a estrutura relacional do DB, respectivamente, num contraste de cinza mais claro indicando as limitações dessa comparação. Essas diferenças estruturais evidenciam, a nosso ver, a inadequação da comparação para a abordagem, por analogia, da dinâmica das reações químicas em equilíbrio.

Figura 42 – Comparação entre Estrutura Relacional do Domínio Alvo e Estrutura Relacional do Domínio Base da Comparação E



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

5.3.5.1. Potencialidades e Fragilidades da Comparação E a partir da análise estrutural e dos grupos focais

A Comparação E, assim como a C, não chamou a atenção dos professores nos grupos focais como potencial analogia a ser utilizada em situações de ensino, provavelmente em decorrência da não compreensão do domínio base dita pela maioria dos participantes da discussão, ou pela "infantilidade" associada a esse domínio. O Professor B, por exemplo, achou a comparação E como sendo uma analogia inapropriada para ser empregada com alunos de graduação:

> ((48' 37")) *é/ os exemplos são bem-vindos/ eu gostaria de registrar isso/ que eles são muito bem-vindos/ e cada um desses autores/ buscou/ né(!?)/ na pintalândia lá/ né(!?)/ na imaginação dele/ ele buscou/ é./ eu tenho que adaptar/ minha linguagem/ porque eu não trabalho com alunos do ensino médio/ então não é a primeira vez que é apresentado para ele/ e se eu apresentasse uma coisa assim/ pareceria para mim infantil/ né(!?)/ então/ tem que tomar um cuidado/...* (Fala do Professor B)

O Professor A disse que, mesmo para o Ensino Médio, a Comparação E será considerada infantil.

> ((54' 46")) *é/ pra mim/ a questão até no meu nível médio/ lá/ também/ eu acho que eles iam achar bem infantil/ e.../ mesmo critério daqui/ se o sistema daí/ também/* **[[...]]** (Fala do Professor A)

Alguns professores relataram acreditar que uma boa analogia precisa ser construída a partir de um domínio base acessível e simples, pois se for necessário despender esforços para explicar exaustivamente o domínio base, é melhor direcionar esses esforços para explicar o domínio alvo.

Outro aspecto percebido pelos professores é que a comparação apresenta uma situação inexistente no cotidiano real, pois, segundo eles, ninguém "despinta" algo.

> ((54' 59"))*e ninguém sai pintando/ e despintando/ isso não existe;* (Fala do Professor B)

> ((01 36' 18")) *porque ninguém despinta/ não existe esse negócio de despintar;* (Fala do Professor H)

O Professor E, ao ser questionado sobre qual ou quais comparações usaria em suas aulas disse que conseguiria trabalhar com todas, exceto com a Comparação E. Semelhantemente, o Professor C também se manifestou contrário ao uso dessa comparação.

> ((01 13' 16")) *todas/ menos a da pintalândia lá;* (Fala do Professor E)

> ((56' 15")) *agora/ esse também eu não gostei não/...* (Fala do Professor C a respeito da comparação E)

Em suma, tanto o mapeamento estrutural quanto a opinião dos professores acerca dessa comparação corrobora para a conclusão de que a Comparação E não seria uma boa analogia a ser empregada para o ensino da dinâmica das reações em equilíbrio químico. Concluímos que, além de não apresentar um domínio base adequado, acessível e menos complexo que o próprio domínio alvo a ser compreendido, essa comparação apresenta limitações consideráveis para a abordagem do tema, parecendo-nos ser pragmaticamente inadequada para ser usada como recurso de mediação didática na abordagem do Equilíbrio Químico. Ademais, como já dissemos anteriormente, julgamos pertinente ressaltar que essa comparação encontra-se mais próxima daquilo que o nosso referencial teórico classifica como uma anomalia do que como uma analogia propriamente dita.

5.3.5.2. A sistematicidade da Comparação E

A respeito da sistematicidade da Comparação E, podemos dizer que, apesar dos concatenamentos empregados na estrutura relacional comum (**$^{4}R_{7}$**, **$^{7}R_{11}$** e **$^{7}R_{12}$**) indicar uma aparente complexidade no sistema de relações interconectadas, o que conferiria um elevado poder inferencial dessa comparação sobre o domínio alvo, os valores dos fatores de sistematicidade dessa comparação indicam o contrário, uma vez que apresentam, dentre todas as comparações analisadas, o conjunto com os menores fatores. O Quadro 23 apresenta os fatores de sistematicidade das correspondências mapeadas na Comparação E frente aos projetados para o domínio alvo.

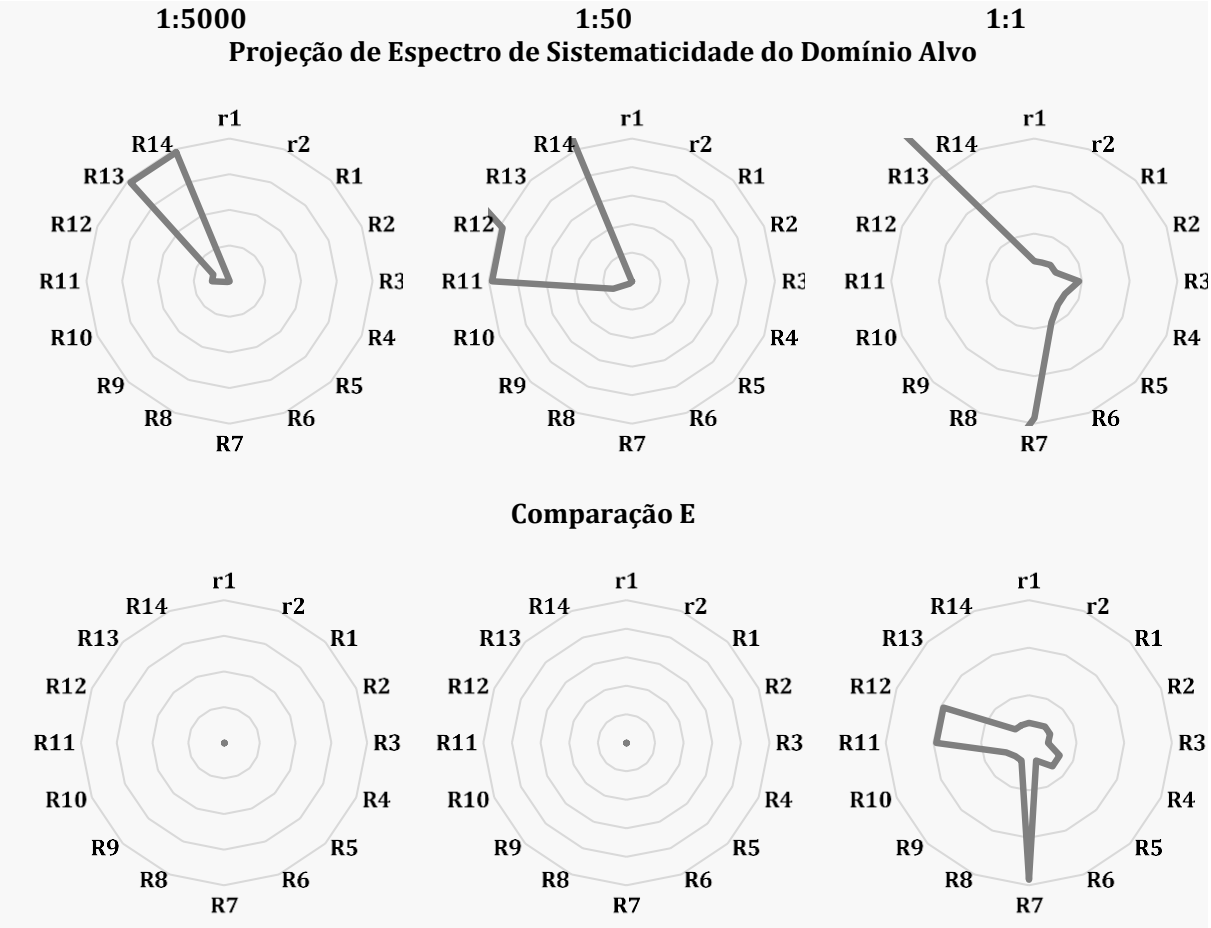
Quadro 23 – Fatores de Sistematicidade das relações mapeadas na Comparação E frente aos valores projetados para o domínio alvo

	r_1	r_2	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
DA	1	1	4	4	27	15	15	27	124	340	2325	13956	97727	97727	781944	781944
Comp. E	1	1	4	4	0	15	15	0	124	0	0	6	77	77	0	0

Fonte: Desenvolvido pelo Autor (2019)

Os valores apresentados no Quadro 23 evidenciam, com muita clareza, o baixo grau de sistematicidade da Comparação E, indicada pela grande diferença entre os fatores de sistematicidade calculados via o algoritmo incorporado no Sistema MAPES e os valores projetados para o domínio alvo. Os espectros de sistematicidade construídos a partir desses valores oferecem uma visualização gráfica dessa diferença (Figura 43).

Figura 43 – Espectros de Sistematicidade do Domínio Alvo e da Comparação E



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

O espectro de sistematicidade da Comparação E, comparado à projeção do domínio alvo, indica uma tendência da sistematicidade direcionada às relações $^{7}\mathbf{R}_{12}$, $^{7}\mathbf{R}_{11}$ **e** $^{4}\mathbf{R}_{7}$, e, que compõem a estrutura relacional comum dessa analogia, tendo, portanto, sua sistematicidade dada por:

$$S = \{77, 77, 124\}$$

Observamos que a relação $^{4}\mathbf{R}_{7}$, dentre essas três relações que compõem a estrutura relacional comum da Comparação E, apresenta o maior fator de sistematicidade (124), apesar das relações $^{7}\mathbf{R}_{11}$ e $^{7}\mathbf{R}_{12}$ possuírem o maior número de concatenamentos. Entendemos que isso decorre do grande número de limitações associadas a relações contidas no sistema de relações simétricas mutuamente conectadas por essas duas relações de ordem superior. A relação $^{7}\mathbf{R}_{12}$, por exemplo, se não tivesse nenhuma limitação associada a qualquer um de seus argumentos (ou parâmetros) relacionais, o seu fator de sistematicidade seria igual a 97.727, mas devido às limitações mapeadas para

quatro de seus argumentos – **$^{5}R_{9}$, $^{4}R_{8}$, $^{3}R_{6}$ e $^{3}R_{3}$**, o seu fator de sistematicidade diminui, consideravelmente, para 77. Tal constatação nos leva à conclusão de que as limitações afetam a sistematicidade das comparações, mesmo que nas apresentações da estrutura relacional comum isso não tenha sido evidenciado. Em síntese, a baixa sistematicidade de uma comparação, afetada pelas limitações associadas a relações constituintes de sua estrutura relacional comum, parece se constituir também como um aspecto estrutural que torna a comparação inapropriada ou pouco útil, didaticamente, para o seu emprego como uma analogia nos processos de compartilhamento e construção de significados em torno dos conceitos científicos.

5.4. Análise comparativa da sistematicidade das comparações

Após a análise dos aspectos estruturais de cada comparação selecionada para o estudo, procedemos uma análise comparativa das sistematicidades estimadas das cinco comparações, via o algoritmo incorporado ao Sistema MAPES. Dessa forma, nesta seção, apresentamos os resultados da análise feita sobre essa característica estrutural exaustivamente investigada.

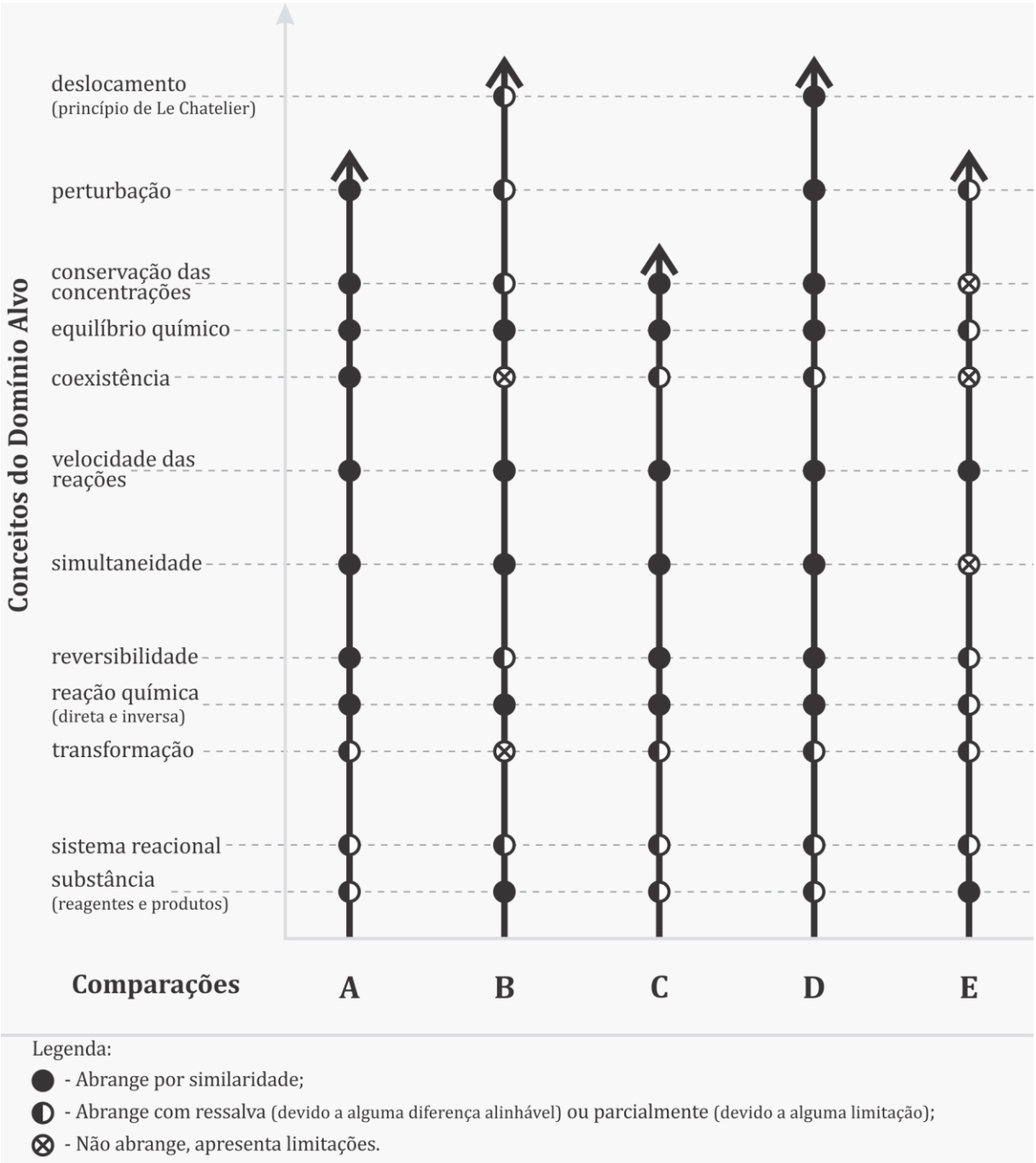
Considerando que o princípio da sistematicidade, segundo Gentner (1983), está relacionado ao sistema de relações mutuamente conectadas e, por percebermos que, para o domínio alvo analisado e descrito nesta pesquisa, esse sistema se apresenta com mais evidência à medida que se avança na complexidade dos conceitos envolvidos sobre a dinâmica das reações em equilíbrio, nossa primeira análise comparativa mostra a abrangência (Figura 44) conceitual de cada comparação em relação ao DA.

A partir da abrangência conceitual, apresentada na Figura 44, é possível visualizar os conceitos, listados inicialmente no Quadro 12, para os quais cada comparação permite o estabelecimento de correspondências. Nessa figura, os conceitos foram dispostos em uma ordem equivalente ao nível hierárquico dos elementos, atributos e relações que foram alinhados no mapeamento estrutural. Assim, essa organização partiu do conceito mais básico – substância (reagentes e produtos), até o mais complexo – o deslocamento do equilíbrio químico descrito pelo Princípio de Le Chatelier.

Antes da elaboração dos mapeamentos estruturais, tínhamos como expectativa que o enredo de cada comparação permitisse os estabelecimentos das correspondências

de similaridade entre o domínio base e o domínio alvo de modo a favorecer a construção de significados em torno dos conceitos envolvidos, de acordo com uma sequência crescente de complexidade. De certo modo, a nossa expectativa foi atendida pois, de fato, quase todas as comparações apresentaram essa sequência conceitual lógica que consiste em: a ocorrência de dois processos reversíveis; a simultaneidade e a igualdade das velocidades desses processos; a coexistência das espécies participantes; o estabelecimento da situação de equilíbrio dinâmico; a possibilidade da perturbação desse estado de equilíbrio; e o deslocamento com o consequente reestabelecimento do estado de equilíbrio.

Figura 44 – Abrangências das comparações analisadas sobre os conceitos associados ao equilíbrio químico das reações apresentados no Quadro 12



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Na Figura 44, observamos que a Analogia C é a que possui o menor alcance conceitual, ou seja, com essa comparação é possível estabelecer correspondências de similaridade somente até a discussão das causas da conservação das concentrações das espécies químicas em equilíbrio. As comparações A e E possuem o mesmo alcance conceitual, permitindo o estabelecimento de correspondências em torno do conceito da

perturbação do estado de equilíbrio. Já as comparações B e D apresentam um alcance até o conceito do deslocamento do equilíbrio químico, com uma diferença: enquanto a analogia D permite abordar o conceito do deslocamento do equilíbrio nos dois sentidos de ocorrência das reações, a analogia B permite o estabelecimento de uma correspondência de similaridade somente para o deslocamento do equilíbrio no sentido da reação inversa.

Há que se destacar algumas semelhanças entre as cinco comparações reveladas pelo gráfico da Figura 44: as cinco comparações apresentam correspondências de similaridade para os conceitos de substâncias (reagentes e produtos), sistema reacional, reação direta e reação inversa, velocidade das reações e estado de equilíbrio. Para alguns desses conceitos, algumas comparações permitem uma abordagem com ressalvas, devido a diferenças alinháveis associadas, ou uma abordagem parcial, devido a limitações para algumas correspondências associadas a esses conceitos. Por exemplo: o conceito de equilíbrio químico pôde ser abordado, integralmente, pelas analogias A, B, C e D, e apenas parcialmente pela comparação E, pois essa comparação, por meio da situação alegórica proposta, permite o estabelecimento de uma correspondência que trata de uma aparente situação de equilíbrio na "estrada que liga as duas cidades" (codificada no Quadro 22 como $^{4}\mathbf{R}_{7}$), porém, com dois processos que não seriam, de fato, simultâneos – a pintura e a despintura da estrada (diferença alinhável codificada no Quadro 22 como $\mathbf{D}_{5}$).

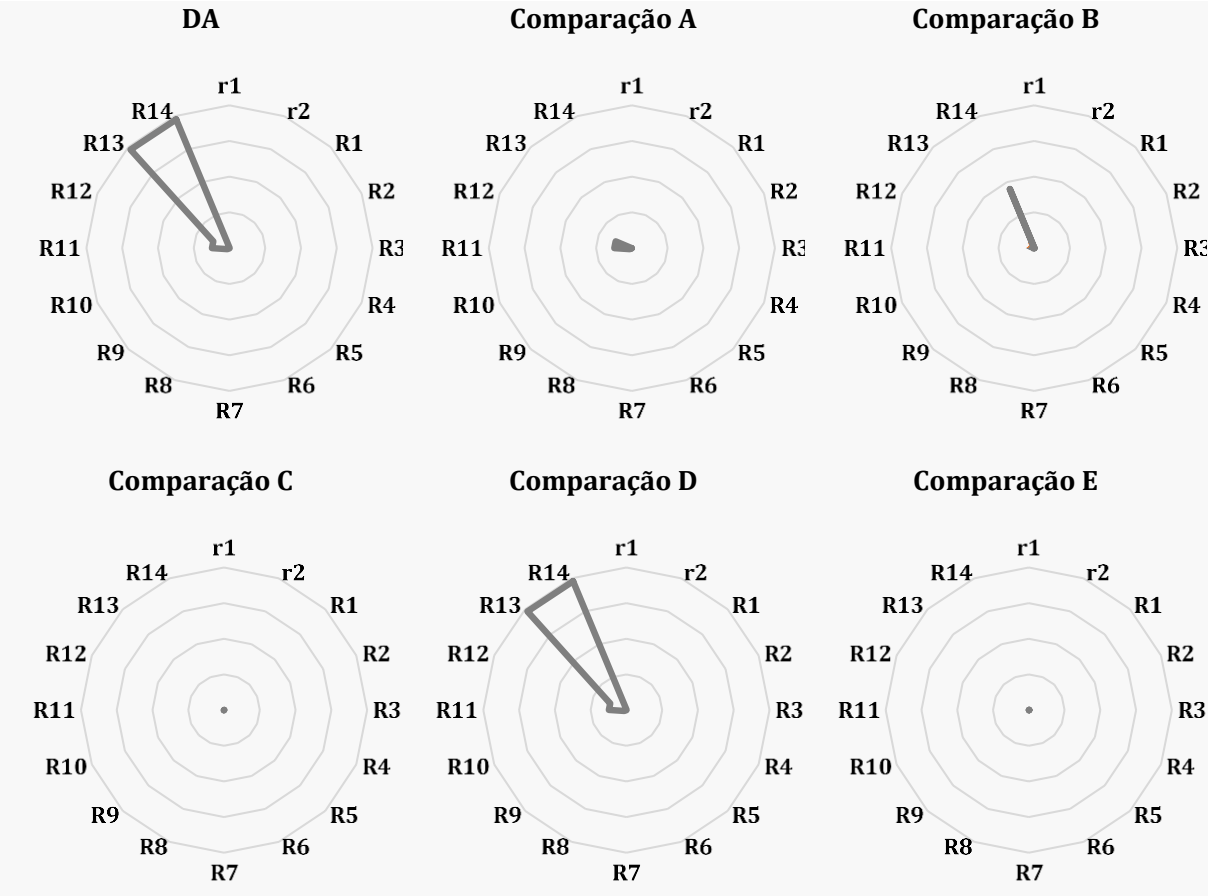
Contudo, A Figura 44 também evidencia diferenças entre as cinco comparações no que diz respeito a outros conceitos fundamentais para a compreensão da dinâmica das reações em equilíbrio e as implicações da perturbação: (1º) as comparações A, C, D e E permitem o estabelecimento de correspondências associadas ao conceito de transformação, embora parcialmente, enquanto a comparação B não permite; (2º) a comparação E, diferentemente das analogias A, B, C e D, não trata de dois processos simultâneos; (3º) somente a analogia A permite abordar, por meio da correspondência $^{3}\mathbf{R}_{6}$, sem ressalvas, a coexistência de reagentes e produtos no sistema reacional; a B não apresenta relação correspondente; a C apresenta como diferença alinhável o fato de que as moscas ainda coexistiriam no sistema mesmo que não sobrevoassem as lixeiras em ambos os sentidos; a D apresenta como diferença alinhável o fato da coexistência dos peixes ocorrer em compartimentos separados do aquário; e a comparação E apresenta essa correspondência como sendo uma limitação, pois não haveria como atribuir sentido

à ideia de coexistência entre tinta aplicada e tinta não aplicada numa estrada; (4º) as analogias A, C e D permitem estabelecer correspondências de similaridade para relações associadas ao conceito de conservação das concentrações, enquanto a B apenas parcialmente e a E não permite; (5º) a analogia C não permite abordar a questão da perturbação; as analogias A e D permitem integralmente e as comparações B e E permitem parcialmente; e, por último, (6º) somente as analogias B e D permitem estabelecer correspondências de similaridade que abordam o conceito do deslocamento do equilíbrio químico descrito pelo Princípio de Le Chatelier.

Em síntese, as análises estruturais dessas cinco comparações nos levou a concluir que a analogia D, além de ser a que apresenta a maior sistematicidade, é a mais abrangente conceitualmente, pois entre os 12 (doze) conceitos associadas à dinâmica das reações químicas em equilíbrio, não há nenhum que essa analogia não permita abordar por similaridade; há 8 (oito) conceitos para os quais essa analogia permite uma abordagem integral e 4 (quatro) uma abordagem com ressalvas pontuais. A analogia A, embora permitisse a abordagem integral de 8 conceitos, é menos abrangente, por não abordar a ideia do deslocamento, sendo, consequentemente, menos sistemática que a D. A comparação E, por sua vez, além de ser considerada como uma anomalia e de apresentar fatores de sistematicidade relativamente baixos, é a menos abrangente entre as cinco comparações.

Essas conclusões são reafirmadas por meio dos espectros de sistematicidade das cinco comparações apresentados na Figura 45 a seguir, na qual é possível perceber a grande diferença entre as sistematicidades calculadas e a projeção para o domínio alvo comum entre elas.

Figura 45 – Espectros de Sistematicidade do DA e demais comparações em escala 1:5000



Fonte: Desenvolvida pelo Autor (2019)

Consideramos importante observar que a sistematicidade é apenas um fator de análise das potencialidades e fragilidades de uma analogia, assim, fazendo uma análise visual desses espectros, podemos reafirmar que a Comparação D é a mais sistemática, seguida das comparações B, A, C e E.

Já na observância da fala dos professores acerca do uso de analogias em sala de aula, percebemos que os professores elencaram argumentos que nos levam a perceber uma preocupação com a sistematicidade das analogias. Entretanto, esse não foi o único aspecto que os professores elencaram quando foram orientados a analisar as comparações sobre equilíbrio químico.

Os professores manifestaram muita preocupação com a abrangência de uma analogia, assim como vimos o Professor B se referir à Comparação D como “mais rica”, significando que essa analogia o permitiria trabalhar mais conceitos do equilíbrio químico do que as demais. Os Professores F e G fizeram observações interessantes sobre esse aspecto:

> ((01 11' 18")) *olha eu gosto de analogia./ gosto de analogia/ até comentei com você/ que eu uso algumas/ e os alunos mesmo propõe/ porque/ eu gosto muito de conversar com os alunos/ e eles mesmo propõe algumas e a gente reflete sobre/ durante a aula/ entretanto/ eu acho que nesse caso de estudo/ essas analogias são./ como o* ***[OMITIDO - Professor G]*** *aqui falou/ pontuais dentro de um assunto/ então ela não contempla o todo/ por isso/ que eu percebi/ que deve ser muito difícil conseguir uma analogia que comtemple tudo/ e por isso que eu não uso/ nesse assunto/...* (Fala do Professor F)
>
> ((01 09' 34")) *o problema é que às vezes a gente olha assim uma comparação/ uma analogia/ não sei qual a diferença direito/ mas é.../ pro cê entender o equilíbrio num todo./ as vezes cê quer encaixar/ né(!?)/ com a analogia/ igual/ a gente tá olhando aqui/ né(!?)/ a gente/ cada um imagina ser adequada ou não/ e a gente não consegue/ é.../ pensar no equilíbrio como um todo/ dentro dessa analogia aqui/ cê só consegue pegar assim/ é.../ uma característica A do equilíbrio/ é.../ essa analogia aqui pode explicar o dinamismo/ sei lá/ entendeu(?)/ então você precisaria/ vamos supor/ de várias analogias para explicar o equilíbrio químico/ aí tem que ver a necessidade/ né(!?)/ da dificuldade do aluno/ é.../ porque como você tá lidando com aspectos microscópicos/ o aluno/...* (Fala do Professor G)

Ao serem questionados sobre possíveis ressalvas a serem feitas nas comparações, os professores quase sempre apontaram a adequação do domínio base à realidade dos alunos, mas além disso, pontuaram a necessidade de um domínio base simples e que não necessitasse de grandes explicações, como podemos ver nos trechos de fala a seguir:

> ((53' 28")) *isso/ apesar/ que a do estacionamento é.../ acho que seria melhor/ fazer uma adaptação/ né(!?)/ que seria falar que era uma garagem/ como ela sugeriu/ talvez/ falando que é um espaço fechado/ eu gostei/ pro meu público/ eu acho que eles realmente entenderiam o que que é/ o equilíbrio/ e a do aquário/ acho que eles/ também entenderiam/ a questão do princípio de Le Chatelier/.../ as perturbações;* (Fala do Professor A)
>
> ((55' 23")) *eu acho que/ a ideia da analogia/ é ajudar/ é permitir que o aluno/ associe à alguma coisa física/ porque eu acho que o início do aprendizado/ ele precisa disso/ no início do aprendizado de qualquer coisa/ né(!?)/ não necessariamente/ no infantil/ porque/ a química/ no ensino médio/ às vezes/ é o início do aprendizado/ então/ eu não gostei do exemplo/ eu achei/ que cê tem que usar uma coisa/ que não remete nada;* (Fala do Professor C)
>
> ((50' 25")) **[[...]]** *{comparação A} talvez/ se ela fosse um pouco mais lapidada no sentido assim/ olha/ o amarelo e o vermelho estão atrelados de alguma maneira/ e o azul com o verde/ então sempre que sair./ entrar o verde/ vai formar./ vai sair o amarelo/ não sei/ tá estranho para mim essa ideia aqui/ qualquer um sai/ qualquer um chega/ é equilíbrio(!?)/ tem cores os carros aqui/...* (Fala do Professor F)

Consideramos interessante o fato dos professores valorizarem os aspectos fundamentais para as condições de equilíbrio químico, principalmente o conceito de transformação que apresentou ressalvas ou parcialidade em quatro das comparações, estando ausente na Comparação B. Porém, entendemos que essa preocupação com as condições empregadas pela analogia, dizem respeito a possibilidade ou impossibilidade de se estabelecer relações entre os componentes mapeáveis. O fato do conceito de

transformação não se apresentar de forma clara nas comparações, fez com que os professores tivessem receio de criar inferências acerca das reações químicas que evolui da compreensão do que é uma transformação química. Isso nos levou a crer que os professores privilegiam tanto a sequência conceitual, quanto as relações empregadas entre os conceitos básicos para formulação dos conceitos mais complexos.

Por fim, os professores escolheram as comparações A e D como as "melhores", ou mais adequadas para o ensino de Equilíbrio Químico. A Comparação A, por possibilitar uma introdução ao conteúdo de Equilíbrio Químico e ser relativamente simples para o entendimento dos alunos, embora necessitasse de algumas "lapidações", pois o fato dos carros saírem do estacionamento desagradou à maioria; e a Comparação D por ser considerada a mais rica e possibilitar mais inferências conceituais acerca do estado de equilíbrio químico, principalmente sobre o Princípio de Le Chatelier. Contudo, alguns professores apontaram que essa analogia segue o mesmo esquema de um balanceamento de equação química e que pode gerar dificuldades na compreensão da coexistência das espécies dentro de um mesmo recipiente (sistema reacional).

Embora a Analogia B tenha apresentado uma sistematicidade relativamente superior à da Comparação A, essa analogia não foi escolhida pelos professores devido a troca constante de material no sistema descrito e a impossibilidade de reversibilidade, conceito que foi considerado pelos professores como muito importante.

As demais Comparações, C e E, tiveram a atenção desviada de sua análise por apresentar aspectos externos ao contexto das analogias que chamaram mais a atenção dos professores do que seus aspectos estruturais. A primeira por apresentar um domínio base considerado "nojento" e a segunda por apresentar um domínio base considerado confuso e difícil de trabalhar em sala, por não representar a realidade.

Após a análise do conteúdo emergido das falas dos participantes dos grupos focais, observamos que a sistematicidade, apesar de não ser o único fator a ser considerado nas análises empíricas, esteve presente implicitamente e, às vezes, quase explicitamente nas opiniões, ideias e percepções dos professores como fator relevante a ser considerado na escolha de uma analogia específica a ser explorada em sala de aula.

A fala do Professor H deixa clara essa questão do ensino fragmentado quando o mesmo critica a exposição do conteúdo de Equilíbrio Químico pela cinética e não pela termodinâmica.

> ((57' 23"))**[[...]]** *mas a questão do equilíbrio químico/ como eu sempre aprendi/ eu acho que todo mundo aqui/ é/ tomando o referencial da cinética/ e hoje os estudiosos tão falando para a gente não trabalhar equilíbrio químico a partir da cinética/ trabalhar o equilíbrio químico a partir da termodinâmica/ e cinética só complementar/ é uma alternativa/ né(!?)/ então/ para a gente trabalhar a partir da termodinâmica/ então/ por que(?)/ se você ensina a partir da cinética/ você ensina muito fragmentado/ muito localizado/ o aluno não entende/ eu lembro quando fui estudar isso no Castelan/ na universidade/ falava assim/ eu achava que eu sabia tudo de equilíbrio químico/ eu sabia o princípio de Le Chatelier/ no técnico usava toda hora/ acertava as questões/ aí começava a explicar assim/ porque a água desce e não sobe/ nos cursos d'água/ porque a maçã cai da árvore pro chão/ não cai do chão pra a árvore/ e começava a fazer uns estudos mais termodinâmicos/ né(!?)/ então/ a recomendação é tratar o equilíbrio químico dentro das transformações naturais/ gerais/ como/ uma reação química como uma das transformações da natureza/ como um todo/ e isso quem dá conta de fazer é a termodinâmica/ bom/ mas o que eu posso falar do equilíbrio/ é aquilo da forma como eu fui conduzida a estudar/ com base na cinética/ então/ o equilíbrio químico/ um sistema químico./ né(!?)/ o equilíbrio não é da reação/ é dum sistema/ é aquela porção de material que você põe no frasco/ você vai dizer que/ esse sistema atingiu um estado/ chamado estado de equilíbrio/ quando algumas condições são replicáveis/...* (Fala do Professor H)

Em suas palavras, o professor atribui ao ensino pela cinética o adjetivo fragmentado e que isso dificulta a aprendizagem do aluno. Isso justifica a preocupação dos professores, como vimos anteriormente, em buscar na analogia correspondências que indiquem as relações, principalmente as relações de causalidade, empregadas nos contextos em que são construídas. Para eles, é necessário que uma analogia apresente correspondências que demonstrem as relações empregadas entre os conceitos que compõem o domínio alvo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O percurso metodológico adotado nesta pesquisa nos levou a compreender as características estruturais das analogias que nos permitem identificar sua sistematicidade. Portanto, nos permitiu reunir recursos que favoreceram a resolução do problema que desencadeou este trabalho: *como a sistematicidade de uma analogia pode ser caracterizada a fim de nos permitir usá-la como parâmetro de análise de sua adequação em contextos de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências?*

Para tanto, esta pesquisa se empenhou em responder cinco questões, cujas respostas serão sintetizadas nestas considerações, que nortearam essa jornada: (1ª) *como a sistematicidade é concebida no contexto da Teoria do Mapeamento de Estruturas?* (2ª) *como comparar diferentes analogias construídas a partir do mesmo domínio alvo do ponto de vista de sua sistematicidade e como avaliá-las?* (3ª) *como a sistematicidade, entendida como um aspecto estrutural das comparações, influenciaria ou atuaria sobre as escolhas de professores de Ciências a respeito de analogias a serem empregadas como recurso mediacional?* (4ª) *quais parâmetros seriam úteis para avaliar o poder inferencial de uma analogia?* (5ª) *como as limitações, as diferenças alinháveis e as não-alinháveis se relacionam com a sistematicidade das analogias?*

A constituição deste trabalho, como dito anteriormente, apoiou-se na busca por respostas às suas questões norteadoras. Portanto, apresentaremos nestas considerações o resgate às evidências registradas nesta dissertação que acreditamos justificar e responder essas perguntas que foram levantadas no início desta caminhada.

Acreditamos que nossa primeira questão foi respondida no capítulo 3 desta dissertação, onde apresentamos as informações sobre a sistematicidade reunidas com o objetivo de compreender os significados deste termo dentro da Teoria do Mapeamento de Estruturas empregada por Gentner, que foi o principal referencial desta pesquisa. Concordamos que apenas interpretar os significados do termo somente pelo referencial teórico não seria suficiente para minimizar as possíveis incertezas de nossa assertividade quanto o lugar da sistematicidade como característica estrutural de uma analogia. Assim, buscamos apoio na linguagem que nos forneceu subsídios históricos e etimológicos

dentro do processo de formação de palavras e que nos ajudou a compreender os diversos significados que o termo poderia assumir nos seus mais variados contextos. Além disso, recorremos à Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy que nos deu suporte na interpretação semântica e pragmática do termo dentro da Teoria do Mapeamento de Estruturas.

Compreendemos, portanto, que a sistematicidade é concebida na TME a partir de princípios que privilegiam um sistema de relações mutuamente conectadas e que apresentam certo nível de interdependência entre si, que constituem uma lógica conceitual correspondente em similaridade presente nos dois domínios comparados. A sistematicidade se apresenta como um estado permanente em uma analogia a partir do momento em que é possível estabelecer relações entre os elementos e atributos desses elementos e que, potencialmente aumenta quando essas relações argumentam restrições relacionais em relações de ordem superior, ou seja, quando são parâmetros de outras relações cuja ordem é superior a sua própria.

A resposta de nossa segunda questão se inicia no Capítulo 4 e se concretiza no Capítulo 5 desta dissertação, pois parte, inicialmente, da proposta metodológica de uma forma de mensuração da sistematicidade, segundo o mapeamento estrutural, e termina com a apresentação de dados oriundos de duas análises: (i) a primeira estrutural, realizada via o Sistema MAPES; e (ii) a segunda empírica, realizada por meio dos dados gerados nas discussões entre professores de química durante os grupos focais que promovemos.

O algoritmo representado pela Equação (2), apresentado no capítulo de metodologia, nasceu da nossa interpretação do significado de sistematicidade. Ao compreender que essa característica estaria ligada diretamente ao concatenamento das relações, principalmente de ordem superior, fomos capazes de atribuir valores numéricos, que denominamos *fatores de sistematicidade* das correspondências, que nos permitiam parametrizar as comparações entre analogias construídas a partir do mesmo domínio alvo, nesse caso, a dinâmica das reações em equilíbrio químico.

Com isso, sistematizamos o desenvolvimento de mapeamentos a partir da codificação única das correspondências mapeáveis no domínio alvo, que foi apresentada no Quadro 12 do capítulo anterior. Essa codificação partiu do estudo exaustivo dos

aspectos conceituais que compõem o conteúdo de Equilíbrio Químico e nos forneceu um caminho metodológico interessante para esse tipo de análise em pesquisas envolvendo analogias. Essa análise estrutural nos permitiu conhecer as particularidades de cada comparação estudada neste trabalho, bem como compreender suas potencialidades e fragilidades na construção de inferências acerca do domínio alvo.

Além dessa conclusão, a análise dos dados gerados nos grupos focais, juntamente com os dados referentes às análises estruturais das cincos comparações sobre a dinâmica das reações químicas em equilíbrio, favoreceu a construção de uma resposta a nossa segunda questão: como comparar diferentes analogias construídas a partir do mesmo domínio alvo do ponto de vista de sua sistematicidade e sobre como avaliá-las. Para comparar diferentes analogias construídas a partir do mesmo domínio alvo, consideramos ser necessário: (1º) estabelecer uma codificação única, comum para todas as analogias a serem comparadas, por meio do mapeamento estrutural do domínio alvo, de modo a permitir uma projeção de sua sistematicidade; (2º) deduzir as estruturas relacionais comuns das analogias e, por meio do algoritmo proposto nesta pesquisa, mensurar a sistematicidade de cada analogia, dada pelo conjunto de fatores de sistematicidade correspondentes às relações de ordem superior de maior nível hierárquico constituintes das estruturas relacionais comuns deduzidas; e (3º) comparar os conjuntos de fatores de sistematicidades considerando tanto a magnitude dos valores calculados pelo algoritmo quanto as quantidades de fatores de sistematicidade obtidos. Os resultados da nossa análise estrutural nos permitiram concluir que as analogias altamente sistemáticas tendem a apresentar poucos fatores de sistematicidade com altos valores, sendo verdadeira a proposição contrária: analogias de baixa sistematicidade tendem a apresentar um conjunto mais numeroso de fatores de sistematicidade com baixos valores.

Em um segundo momento, realizado paralelamente ao primeiro, a análise qualitativa de conteúdo das transcrições das discussões entre os professores de Química participantes da pesquisa, ocorridas durante os encontros dos grupos focais, nos permitiu compreender, a partir de suas opiniões, ideias e percepções sobre as comparações, se haveria alguma influência das sistematicidades das analogias sobre as escolhas que esses professores normalmente fazem a respeito das comparações que eles estabelecem em sala de aula para ensinar Química (nossa 3ª questão).

Ao confrontar as análises, percebemos que os professores apresentaram opiniões e tiveram percepções coincidentes com os resultados de nossa análise estrutural das cinco comparações, principalmente no que diz respeito à sistematicidade. Dessa forma, os resultados sugerem que a sistematicidade, ainda que implícita, parece ser um dos fatores estruturais que favorecem a escolha de professores por analogias a serem empregadas como recurso de mediação para os processos de construção e compartilhamento de significados em torno de conceitos científicos.

Os grupos focais também nos trouxeram dados para responder nossa quarta questão norteadora: *quais parâmetros seriam úteis para avaliar o poder inferencial de uma analogia?* Ao buscar parâmetros úteis para avaliar o poder inferencial de uma analogia, encontramos nas opiniões, ideias e percepções dos professores características interessantes a serem observadas nas analogias. Dentre as diversas preocupações do professores em empregar ou não uma analogia em sala de aula, a sistematicidade esteve implicitamente presente nas falas da maioria dos professores, como podemos conferir nos resultados apresentados no capítulo anterior. Porém, além da sistematicidade, os participantes também apontavam como ponto positivo a abrangência conceitual e/ou a "riqueza" das analogias; a ausência de diferenças, principalmente a respeito do sistema ser fechado na dinâmica das reações em equilíbrio; e a simplicidade do domínio base posto em comparação com o domínio alvo. Em um sentido mais amplo, podemos dizer que os resultados referentes a esses aspectos nos levaram a concluir que há uma relação entre a sistematicidade, a abrangência conceitual e o nível de enriquecimento das analogias, dado pela quantidade de correspondências de similaridade entre elementos, predicados descritivos (atributos) e, sobretudo, predicados relacionais que compõem os domínios comparados. Em outras palavras, podemos dizer que, na avaliação de professores a respeito do emprego de analogias como recurso didático, ainda que de forma implícita, as melhores analogias são as que, ao mesmo tempo, apresentam a maior abrangência conceitual, o maior número de correspondências relacionais e, consequentemente, a maior sistematicidade.

A respeito da nossa última questão norteadora, a quinta pergunta, concordamos que ela foi respondida parcialmente, pois os resultados observados no nosso percurso metodológico não foram suficientes para afirmações conclusivas sobre todos os aspectos – *as limitações, as diferenças alinháveis e as não-alinháveis*. A partir da análise estrutural

das analogias, percebemos que as limitações afetam diretamente na sistematicidade, pois não representam correspondências de similaridade. Contudo, essa influência só é percebida quando as correspondências não mapeáveis são relações, inclusive as que compõem os argumentos de outras relações de ordem superior. Já as diferenças, aparentemente, não influenciam na avaliação da sistematicidade de uma analogia. Pressupomos que, na exploração de uma analogia em uma situação de ensino, o professor poderá fazer as devidas ressalvas dadas pelas diferenças alinháveis associadas às respectivas correspondências de similaridade, de modo a não afetar a possibilidade inferencial da analogia por meio da sua sistematicidade, ou seja, pelo encadeamento das relações similares que constituem a estrutura relacional comum da comparação.

Embora os resultados discutidos nos permitam inferir determinadas influências das limitações e diferenças sobre as sistematicidades das analogias, consideramos que a nossa investigação ainda possui caráter exploratório em torno desse conceito. Desse modo, indicamos ser necessário a obtenção de novos dados a partir de um conjunto maior de analogias semelhantes, estabelecidas, na medida do possível, para outros tópicos de conteúdo e em outras áreas das ciências, a fim de compreender se essas influências confirmam ou não os resultados apresentados neste estudo.

Com a reunião das respostas às nossas questões norteadoras, acreditamos ter respondido nossa questão de pesquisa, pois conseguimos propor e testar empiricamente uma metodologia de análise da sistematicidade que se mostrou adequada e coerente com as escolhas dos professores participantes. Os resultados da nossa investigação nos permitiram caracterizar a sistematicidade enquanto aspecto estrutural capaz de influenciar as escolhas de professores por analogias ricas e abrangentes a serem empregadas em situações de ensino, bem como parâmetro de análise para investigações sobre as implicações do uso de analogias na Educação em Ciências.

Contribuições e Implicações para Pesquisas em Educação em Ciências

Considerando os resultados apresentados sobre a avaliação de analogias segundo a sua sistematicidade, bem como os resultados que demonstram a aplicabilidade útil dos métodos propostos nessa avaliação, consideramos que esta pesquisa contribui com a ampliação de ferramentas para análise de analogias a serem utilizadas em contextos de ensino e pesquisa na Educação em Ciências.

Além do algoritmo de avaliação da sistematicidade de uma analogia, construímos e apresentamos o Sistema MAPES, uma ferramenta que nos auxiliou na otimização do processo de elaboração e análise dos mapeamentos estruturais, e que também incorpora em suas funcionalidades a avaliação da sistematicidade de uma analogia. Consideramos, portanto, que, por meio da nossa investigação, contribuímos com a proposição e ampliação de ferramentas tecnológicas disponíveis para o campo de estudos dedicados ao uso de analogias e suas implicações na Educação em Ciências.

A partir dos incrementos no sistema de notação para a construção de mapeamentos estruturais propostos e utilizados neste trabalho, consideramos que contribuímos com a otimização desse recurso de análise, de forma a favorecer à visualização de características estruturais fundamentais na análise de uma analogia, bem como perceber as hierarquias conceituais de cada relação estabelecida em correspondência entre os dois domínios.

Considerando que, além de ampliar a quantidade ferramentas de análise e otimizar os processos de mapeamento de uma analogia, com os resultados apresentados no capítulo anterior, contribuímos para um novo olhar às analogias construídas a partir de um mesmo domínio alvo e também apresentamos uma nova forma de estruturação das correspondências mapeáveis de um determinado domínio alvo.

Diante das contribuições citadas até aqui, consideramos que esta pesquisa abre novo espaço no campo de estudos das analogias fornecendo novas ferramentas que contribuem para uma análise mais assertiva e sofisticada das características estruturais desse tipo de comparação empregado em contextos de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências.

Limitações da Pesquisa

Embora consideramos os resultados desta pesquisa como satisfatórios, algumas limitações foram percebidas no processo de construção da mesma. Assim, pontuamos algumas limitações que enfrentamos no decorrer da construção deste trabalho.

Uma das limitações enfrentadas foi a carência de uma ferramenta tecnológica eficaz que nos apoiasse no processo de realização do mapeamento. Isso fez com que despendêssemos esforços no desenvolvimento do Sistema MAPES que, apesar de

conseguir auxiliar nos processos de construção do mapeamento e fornecer informações úteis de análise, que seriam difíceis de se perceber em mapeamentos manuais, consideramos que esse sistema ainda necessita de ajustes para uso amplo de qualquer pesquisador que almeje realizar análises mais profundas e precisas em suas investigações sobre as estruturas relacionais comuns das analogias.

Por falta de tempo e métodos adequados, não foi possível apresentar inferências conclusivas a respeito das influências das limitações e diferenças na avaliação da sistematicidade das analogias. Apesar de percebermos certa influência nas analogias analisadas nesta pesquisa, acreditamos que será necessário um método próprio de análise para entendermos com mais clareza como, de fato, essas influências se manifestam na sistematicidade.

Para apresentar um resultado da análise da sistematicidade, propomos um conjunto numérico com todos os fatores de sistematicidade das relações representantes da estrutura relacional comum. Consideramos que, embora o conjunto de valores nos forneça informações relevantes acerca da sistematicidade de uma analogia, concentrar esse resultado em um único valor seria mais interessante no processo comparativo de analogias comuns a um domínio alvo ou base, como foi o caso desta pesquisa. Acreditamos que a forma como a sistematicidade é apresentada pode gerar alguma divergência e ainda dependerá parcialmente da interpretação do pesquisador para compreender os aspectos que avaliam o potencial sistemático das comparações. Orientamos, portanto, que novos estudos possam ser desenvolvidos a partir dessas limitações com fins de melhorar o método de análise da sistematicidade.

Possíveis Desdobramentos da Pesquisa

Como a maioria, senão a totalidade, das pesquisas científicas, esta não se encerra por aqui, uma vez que, à medida que evoluímos na análise dos dados e formulamos nossas propostas metodológicas, outras questões foram surgindo no caminho. Sendo assim, elencamos alguns possíveis desfechos que este estudo pode seguir.

Considerando que este trabalho foi desenvolvido no campo da Educação em Ciência, a pesquisa pode continuar ampliando seu percurso ao buscar compreender, de forma direta e aplicada, como e se a sistematicidade influenciaria na apropriação de novos conceitos por parte de estudantes expostos ao ensino mediado por analogias.

Compreender as potencialidades inferenciais de uma analogia pela sua sistematicidade, inclusive era a primeira proposta deste estudo, contudo, concordamos que este objeto carece de atenção e tempo especiais e que não seria possível realizar uma pesquisa com esse objetivo no prazo estabelecido pelo regulamento do curso de um mestrado.

Ainda no campo da Educação, uma fala proferida por um professor na finalização de um dos grupos focais, em que dizia que usaria as analogias numa atividade avaliativa da aprendizagem, nos fez pensar na possibilidade de olhar as analogias como potencial recurso avaliativo e não somente um recurso de mediação didática. Desta forma questionamos sobre como as analogias podem ser abordadas em contextos educacionais de forma a contribuir com a avaliação da aprendizagem. Percebemos que pode haver um outro viés de estudos e um novo olhar, inclusive para o GEMATEC, a ser explorado no campo de estudos das analogias, metáforas e modelos na Tecnologia, na Educação e na Ciência.

Outro campo de exploração do potencial sistemático das analogias é o da Psicologia Cognitiva, onde o principal referencial teórico desta pesquisa foi desenvolvido. No decorrer da construção deste trabalho, demonstramos a forte influência que a sistematicidade exerce na estrutura das analogias, então, pode ser interessante aplicar os métodos de avaliação da sistematicidade desenvolvidos neste trabalho no campo de estudos que buscam a compreensão das estruturas do raciocínio analógico e como a sistematicidade se relaciona nesse processo construtivo.

O método de avaliação da sistematicidade das analogias também pode ser aplicado aos estudos de Inteligência Artificial no campo da Computação Cognitiva. O método aqui proposto pode ser utilizado como componente complementar em algoritmos baseados na aprendizagem de máquina por analogia com o objetivo de compreender como a sistematicidade pode influenciar o processo de otimização da aprendizagem na Inteligência Artificial.

Por fim, como o campo de estudos das analogias também engloba as metáforas e os modelos, propomos um novo questionamento: *considerando as semelhanças e suas relações conceituais com as analogias, a metodologia de análise da sistematicidade desenvolvida neste trabalho poderia ser utilizada como ferramenta de análise desses outros objetos de interesse – as metáforas e os modelos empregados na Educação em Ciências?*

Acreditamos que novas investigações conduzidas a partir desse questionamento poderão oferecer outras contribuições para o nosso campo de estudos.

REFERÊNCIAS

ARNDT-LAPPE, S. Analogy in suffix rivalry – the case of english –ity and –ness. **English Language and Linguistcs**, Cambridge, v. 8, n. 3, 2014.

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de química:** questionando a vida moderna e o meio ambiente. Tradução: Ignez Caracelli. Porto Alegre: Bookman, 2001.

BARBOSA, W. V.; FERRY, A. S. Concepção de um software para mapeamento estrutural de analogias empregadas no ensino de ciências. **Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 4, n. 08, p. 224 - 243, nov 2018. Edição Especial.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução: L. A. Rego e A. Pinheiro. 70ª. ed. Lisboa PT: Lisboa: Edições, 2006.

BAUER, M.; GASKELL, G. **Qualitative researching with text, image, and sound**. London: Sage, 2008.

BERTALANFFY, L. The theory of open systems in physics and biology. **Science**, v. 111, p. 23-29, jan 1950.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas (1968)**. Tradução: Francisco M. Guimarães. 8. ed. Petrópolis: Vozes, 2015.

BROWN, T. L.; LEMAY, H. E.; BURSTEN, B. E. **Química, a ciência central**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CÂMARA, R. H. Análise de conteúdo: da teoria à prática em pesquisas sociais aplicadas às organizações. **Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia**, v. 6, n. 2, p. 179-191, jul-dez 2013.

CAMPOS, C. J. G. Método de análise de conteúdo: ferramenta para a análise de dados qualitativos no campo da saúde. **Revista Brasileira de Enfermagem**, Brasília, v. 57, n. 5, p. 611-614, set-out 2004.

CARLOMAGNO, M. C.; ROCHA, L. C.. Como criar e classificar categorias para fazer análise de conteúdo: uma questão metodológica. **Revista Eletrônica de Ciência Política**, v. 7, n. 1, p. 173-188, 2016.

CLEMENT, C. A.; GENTNER, D. Systematicity as a selection constraint in analogical mapping. **Cognitive Science**, v. 15, p. 89-132, 1991. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/ClementGentner91.pdf>.

DAGHER, Z. R. Review of studies on the effectiveness of instructional analogies in science education. **Science Education**, v. 79, n. 3, p. 295-312, 1995.

DUARTE, M. C. Analogias na educação em ciências contributos e desafios. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, p. 7-29, 2005.

FALKEHAINER, B.; FORBUS, K. D.; GENTNER, D. The structure-mapping engine: algorithm and examples. **Artificial Intelligence**, v. 41, p. 1 - 63, 1989. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/FalkenhainerForbusGentner89.pdf>.

FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A. O uso espontâneo de analogias por professores de Biologia: observações da prática pedagógica. **Ensaio, Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 4, n. 2, p. 115-129, dez, 2002.

FERRY, A. S. **Análise estrutural e multimodal de analogias em uma sala de aula de química.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Tese de Doutorado.

FERRY, A. S. **Pesquisas sobre analogias no contexto da educação em ciências à luz da teoria do mapeamento estrutural (Structure-mappning Theory)**. São Paulo: Livraria da Física, 2018.

FERRY, A. S.; PAULA, H. F. Mapeamento estrutural de analogias e outras comparações em uma sala de aula de Química. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC**, Águas de Lindoia, 24 a 27 Nov 2015.

FERRY, A. S.; PAULA, H. F. Mapeamento estrutural de analogias enunciadas em uma aula sobre cinética química. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 23, n. 1, p. 29 - 50, 2017.

FONSECA, M. R. M. **Química:** ensino médio. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. (Livro Didático).

FRANCISCO JUNIOR, W. E. Um estudo das analogias sobre equilíbrio químico nos livros aprovados pelo PNLEM 2007. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 13, n. 2, p. 85-100, 2011.

GATTI, B. A. **Grupo focal na pesquisa em ciências sociais e humanas**. Brasilia: Liber Livro, v. 10, 2005. 77 p. Série Pesquisa em Educação.

GENTNER, D. **Are scientifc analogies metaphors? In d.maill (ed.), metaphor:** problems and perspectives. England: Harvester Press Ltd. Brighton. 1981.

GENTNER, D. Structure-mapping: a theorycal framework for analogy. **Cognitive Science**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 155-170, jan 1983.

GENTNER, D.; BOWDLE, B. Metaphor as structure-mapping. In R. Gibbs (Ed.) The Cambridge Handbook of Metaphor and Thought. **Cambridge University Press**, New York NY, p. 109 - 128, 2008. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/gentner&Bowdle_2008.pdf>.

GENTNER, D.; COLHOUN, J. Analogical processes in human thinking and learning. In B. M. Glatzeder et. al. (eds.), Towards a theory of thinking, On Thinking. **Springer-Verlag**, Berlin, v. 2, p. 35-48, 2010. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/gentner&Colhoun_2010.pdf>.

GENTNER, D.; KURTZ, K. J. Relations, objects, and the composition of analogies. **Cognitive Science**, v. 30, p. 609-642, 2006.

GENTNER, D.; MARKMAN, A. B. Structure mapping in analogy and similarity. **American Psychologist**, v. 52, n. 1, p. 45 - 56, jan 1997. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/GentnerMarkman97.pdf>.

GENTNER, D.; SHUMACHER, R. M. **Use of structure-mapping theory for complex systems**. Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. New York: IEEE. 1986.

GENTNER, D.; TOUPIN, C. Systematicity and surface similarity in the development of analogy. **Cognitive Science**, v. 10, p. 277–300, 1986.

GLYNN, S. Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In: GLYNN, S. M.; YEANY, R.H. & BRITTON, B.K. (Eds). **The Psychology of Learning Science**, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associate, p. 219-240, 1991.

GOMES, L. B. et al. As origens do pensamento sistêmico: das partes para o todo. **Pensando Famílias**, v. 18, n. 2, p. 3-16, 2014.

HAMAWAND, Z. Prefixes os degree in english: a cognitive-corpus analysis. **Scientific Research**, v. 1, n. 2, p. 13-23, 2011.

HOLYOAK, K. J.; GENTNER, D.; KIKINOV, B. N. Introduction: the place of analogy in cognition. In D. Gentner, K. J. Holyoak, & B. N. Kokinov (Eds.), The analogical mind: Perspectives from cognitive science. Cambridge MA: **Massachusetts Institute of Technology Press** , p. 1 - 19, 2001. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/HolyoakGentnerKokinov01.pdf>.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. Analogical mapping by constraint satisfaction. **Cognitive Science**, v. 13, p. 295 - 355, 1989.

INFOPEDIA. Infopedia - Dicionário online. **Infopedia**, 2019. Disponivel em: <www.infopedia.pt>. Acesso em: 13 maio 2018.

KINALSKI, D. D. F. et al. Grupo focal na pesquisa qualitativa: relato de experiência. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 70, n. 2, p. 443-448, mar-abr 2017.

KITSON, R. **The Musical World (1836-1865):** répertoire international de la presse musicale (www.ripm.org). RIPM Consortium Ltd. [S.l.]. 1996.

MACHADO, A. H.; ARAGÃO, R. M. R. Como os estudantes concebem o estado de equilíbrio químico. **Química Nova na Escola**, n. 4, p. 18-20, 1996. (Aluno em Foco).

MARKMAN, A. B.; GENTNER, D. Structural alignment during similarity comparisons. **Cognitive Psychology**, v. 25, p. 431 - 467, 1993. Disponivel em: <http://groups.psych.northwestern.edu/gentner/papers/MarkmanGentner93c.pdf>.

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

MONTEIRO, I. G.; ROSÉRIA, J. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 5, n. 2, p. 67-91, 2000.

MORIN, E. **A cabeça bem feita:** repensar a reforma – reformar o pensamento. Tradução: Eloá Jacobina. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

MOTTA, F. C. P. A Teoria geral dos gistemas na teoria das organizações. **Revista Administração de Empresas**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 17-33, 1971.

MOZZATO , A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da Administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. **Introdução ao tema dissolução através da elaboração de analogias pelos alunos fundamentada na modelagem**. VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciencias (ENPEC). Florianópolis: ABRAPEC. 2009.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. "Nem tudo que reluz é ouro": Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 15, n. 1, p. 123 - 147, 2015.

NOVAIS, V. L. D.; ANTUNES, M. T. **Vivá:** química ensino médio. Curitiba: Positivo, v. 2, 2016. (Livro Didático).

ONLINE ETYMILOGY DICTIONARY. Online Etymology Dictionary (online). **Online Etymology Dictionary**, 2001. Disponivel em: <www.etymonline.com>. Acesso em: 13 maio 2018.

OXFORD, D. Oxford Dictionaries online. **Oxford Dictionaries**, 2019. Disponivel em: <languages.oup.com>. Acesso em: 13 maio 2018.

POWELL, R. A.; SINGLE, H. M. Focus group. **International Journal of Quality in Health Care**, v. 8, n. 5, p. 499-504, 1996.

PRIBERAM. Dicionário Priberam - Dicionário online. **Dicionário Priberam**, 2018. Disponivel em: <dicionario.priberam.org>. Acesso em: 13 maio 2018.

RAVIOLO, A.; GARRITZ, A. Analogias no ensino do equilíbrio químico. **Química Nova na Escola**, n. 27, fev 2008.

RESENDE FILHO, E. P. A interpretação de Pierre Aubenque dos usos filosóficos da analogia em Platão. **O que nos faz pensar**, v. 24, p. 59-70, out 2008.

RIDDLE, E. A historical perspective on the productivity of the sufixes –ness ans –ity. In J. Fisiak (Ed.). Berlin: **Historical Semantics Historical Word-Formation**, p. 435 - 461, 1985.

SARMENTO, L. L. **Gramática em Textos**. 1. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2000. (Livro Didático).

SHUMACHER, R. M.; GENTNER, D. Transfer of training as analogical mapping. **IEEE Transations on Systems, Man and Cybernetics**, v. 18, p. 592-600, 1988.

SIMÕES, L. **Estudo Semântico e Diacrônico do sufixo –dade na Língua Portuguesa**. São Paulo: Letras e Ciências Humanas/USP, 2009. (Dissertação de Mestrado).

TERRA, E. **Curso Prático de Gramática**. 7. ed. São Paulo: Scipione, v. 1, 2017. (Livro Didático).

TEVERSKY, A. Feature of similarity. **Psycological Review**, v. 84, p. 327–352, 1977.

THIELE, R.; TREAGUST, D. An interpretative examination of high school chemistry teachers' analogical explanations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 31, n. 3, p. 227 - 242, 1994.

URQUIZA, M. A.; MARQUES, D. B. Análise de conteúdo em termos de Bardin aplicada à comunicação corporativa sob o signo de uma abordagem teórico-empírica. Londrina: **Entretextos**, v. 16, n. 1, p. 115-144, jan-jun 2016.

VICTÓRIA, L. A. P. **Dicionário da Origem e da Evolução das Palavras**. Rio de Janeiro: Científica, 1960.

VOCABULARY, O. D. Vocabulary (online dictionary). **Vocabulary (online dictionary)**, 2019. Disponivel em: <www.vocabulary.com>. Acesso em: 13 maio 2018.

WIKTIONARY. Wiktionary Online Dictionary (English). **Wiktionary**, 2019. Disponivel em: <www.wiktionary.org>. Acesso em: 13 maio 2018.

Apêndice I – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Projeto CAAE: **98956718.7.0000.8507**, aprovado pelo Sistema CEP/CONEP, em 03 de Outubro de 2018, sob o parecer nº: **2.935.064**

Prezado(a)_____, você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada: ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA. Este convite se deve ao fato de você ser professor(a) de química, o que seria muito útil para o andamento da pesquisa.

O pesquisador responsável pela pesquisa é WILBERT VIANA BARBOSA, RG MG-15.609.832, ALUNO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS – CEFET-MG. A pesquisa refere-se ao estudo da sistematicidade de analogias onde buscamos contribuir para a compreensão das características estruturais das analogias, especialmente da sistematicidade, no contexto de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências. A pesquisa visa ampliar os conhecimentos de adEquação das analogias no contexto de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências, assim, consideramos importante esse levantamento de dados para conclusão do trabalho. A pesquisa conta com 5 fases não, necessariamente cronológicas, (i) levantamento bibliográfico; (ii) desenvolvimento e implementação de funcionalidades num software que auxilia na construção de mapeamentos estruturais de analogias; (iii) teste comparativos entre mapeamentos construídos no software e mapeamentos manuais; (iv) realização de grupos focais, onde contamos com a sua participação; e (v) análise de conteúdo das transcrições relativas aos dados levantados no grupo focal.

A sua participação consistirá em integrar um grupo focal que tratará de questões relativas às suas percepções, ideias e opiniões quanto ao emprego de analogias no ensino de equilíbrio químico.

Os locais e horários do grupo focal serão combinados com você e os demais participantes, respeitando as suas disponibilidades e preferências. Você não terá nenhum custo com a pesquisa.

Esclarecemos que a coleta de informações será via gravação de áudio e transcrito para análise posterior, sendo destinado única e exclusivamente para a realização desta pesquisa e que a sua identidade e de quem citar será omitida por meio do uso de nomes fictícios. As atividades serão mediadas por um dos pesquisadores com o auxílio de outro que operará os gravadores de áudio e fará anotação que considera relevante durante a realização das atividades. Você poderá se ausentar a qualquer momento, não havendo nenhum prejuízo pessoal, caso sua decisão seja a de não participar da pesquisa, bem como não será obrigada/o a responder qualquer pergunta em que não se sinta confortável. Uma vez transcritas as falas, selecionaremos o que julgarmos interessante para o estudo em questão e esses excertos serão analisados à luz da teoria do Mapeamento Estrutural de Analogias.

Os riscos decorrentes da participação na pesquisa são mínimos, restringindo-se a: possível cansaço ao longo da atividade em grupo; inibição ao participar da atividade; ou desconforto em responder alguma pergunta. Nesse caso você poderá interromper sua participação sem prestar esclarecimentos e deixar o local da atividade.

Informamos ainda que o benefício em participar dessa pesquisa é abrangente, visto que os resultados poderão contribuir para uma reflexão sobre suas práticas docentes de modo a contribuir para a compreensão estrutural, semântica e pragmática das analogias empregadas em contextos de ensino de Ciências. De forma direta, o grupo focal possibilitará a reflexão sobre as percepções, ideias e opiniões de professores de química frente ao uso de analogias no ensino de equilíbrio químico.

Como participante de uma pesquisa e de acordo com a legislação brasileira, você é portador de diversos direitos, além do anonimato, da confidencialidade, do sigilo e da privacidade, mesmo após o término ou interrupção da pesquisa. Assim, lhe é garantido:

- A observância das práticas determinadas pela legislação aplicável, incluindo as Resoluções 466 (e, em especial, seu item IV.3) e 510 do Conselho Nacional de Saúde, que disciplinam a ética em pesquisa e este Termo;
- A plena liberdade para decidir sobre sua participação sem prejuízo ou represália alguma, de qualquer natureza;
- A plena liberdade de retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem prejuízo ou represália alguma, de qualquer natureza. Nesse caso, os dados colhidos de sua participação até o momento da retirada do consentimento serão descartados a menos que você autorize explicitamente o contrário;
- O acompanhamento e a assistência, mesmo que posteriores ao encerramento ou interrupção da pesquisa, de forma gratuita, integral e imediata, pelo tempo necessário, sempre que requerido e relacionado a sua participação na pesquisa, mediante solicitação ao pesquisador responsável;
- O acesso aos resultados da pesquisa;
- O ressarcimento de qualquer despesa relativa à participação na pesquisa (por exemplo, custo de locomoção até o local combinado para o grupo focal), inclusive de eventual acompanhante, mediante solicitação ao pesquisador responsável;
- A indenização diante de eventuais danos decorrentes da pesquisa;
- O acesso a este Termo. Este documento é rubricado e assinado por você e por um pesquisador da equipe de pesquisa, em duas vias, sendo que uma via ficará em sua propriedade. Se perder a sua via, poderá ainda solicitar uma cópia do documento ao pesquisador responsável.

Qualquer dúvida ou necessidade – nesse momento, no decorrer da sua participação ou após o encerramento ou eventual interrupção da pesquisa – pode ser dirigida aos pesquisadores:

Mestrando: Wilbert Viana Barbosa – 33 99139-0693 – wilbertviana@gmail.com – Rua Santo Agostinho, 480, ap 201, Sagrada Família, Belo Horizonte – MG, CEP: 31035-480.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre da Silva Ferry - 31 99196-9371 – alexandreferry001@gmail.com

Se preferir, ou em caso de reclamação ou denúncia de descumprimento de qualquer aspecto ético relacionado à pesquisa, você poderá recorrer ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), vinculado à CONEP (Comissão Nacional de Ética em Pesquisa), comissões colegiadas, que

têm a atribuição legal de defender os direitos e interesses dos participantes de pesquisa em sua integridade e dignidade, e para contribuir com o desenvolvimento das pesquisas dentro dos padrões éticos. Você poderá acessar a página do CEP, disponível em: <http://www.cep.cefetmg.br> ou contatá-lo pelo endereço: Av. Amazonas, n. 5855 - Campus VI; E-mail: cep@cefetmg.br; Telefone: +55 (31) 3379-3004 ou presencialmente, no horário de atendimento ao público: às terças-feiras: 12:00 às 16:00 horas e quintas-feiras: 07:30 às 12:30 horas.

Se optar por participar da pesquisa, peço-lhe que rubrique todas as páginas deste Termo, identifique-se e assine a declaração a seguir, que também deve ser rubricada e assinada pelo pesquisador.

DECLARAÇÃO

Eu, _____, abaixo assinado, de forma livre e esclarecida, declaro que aceito participar da pesquisa como estabelecido neste TERMO.

Assinatura do participante da pesquisa:_____

Assinatura do pesquisador: _____

Belo Horizonte, _____ de _____de 20_____

Se quiser receber os resultados da pesquisa, indique seu e-mail ou, se preferir, endereço postal, no espaço a seguir:_____

Apêndice II – Roteiro dos Grupos Focais

Projeto de Pesquisa

ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Pesquisadores responsáveis:

Wilbert Viana Barbosa – Mestrando em Educação Tecnológica

Alexandre da Silva Ferry – Orientador

PLANEJAMENTO DO GRUPO FOCAL

Composição:	
Participantes:	10 professores de Química divididos em 2 grupos de 5 participantes. Critérios de Inclusão: (1°) Ser professor de química atuante na Educação Profissional e Tecnológica em Química; (2°) Declarar ter experiência no ensino de aspectos da dinâmica das reações em equilíbrio químico. Critérios de Exclusão: (1°) Não ser professor de Química; ou (2°) não ser professor atuante na Educação Profissional e Tecnológica em cursos de Química, seja de nível médio ou superior; ou (3°) declarar não ter experiência no ensino de aspectos da dinâmica das reações em equilíbrio químico. Dimensão: Os grupos serão separados de acordo com a experiência dos professores. (Grupo 01) Professores considerados MAIS experientes com, no mínimo, 5 anos de experiência lecionando química; (Grupo 02) Professores considerados MENOS experientes, com menos de 5 anos de experiência lecionando química.
Equipe de Coordenação:	2 pesquisadores: Alexandre da Silva Ferry (Mediador) Wilbert Viana Barbosa (Auxiliar / Operador de áudio)
Encontros de Grupo:	1 sessão por grupo (duração prevista 120 min) Grupos de 5 professores. Local: Laboratório de química – Escolheu-se este ambiente devido a familiaridade dos participantes. Considera-se que esse ambiente ajudará a minimizar os riscos de inibição. Datas previstas: 15/10/2018 (Gr. 01) e 17/10/2018 (Gr. 02) – Essas datas poderão ser alteradas em função do parecer do Comitê de Ética e em função das disponibilidades dos professores convidados.
Ferramentas:	
Ambientação:	Os professores serão organizados em dois grupos de 5 participantes separados pelo critério de experiência (mais e menos experientes).

	Os encontros acontecerão em algum laboratório de química (provavelmente o de Química Analítica) do Centro Federal de Educação Tecnológica. Os dois encontros ocorrerão em dias distintos. Os professores se posicionarão em círculo, ao redor de uma bancada, juntamente com o mediador que apresentará os temas/questões a serem discutidas após os professores analisarem o material de apoio (Anexo 01). O pesquisador auxiliar observará, de fora do círculo, fazendo anotações pertinentes à pesquisa sobre a forma em que os participantes expõem suas ideias e opiniões relativas ao tema discutido: analogias para o ensino de aspectos dinâmicos das reações em equilíbrio químico.
Guia de Temas:	O grupo focal tem o objetivo de levantar informações a fim de responder as seguintes questões da pesquisa: • Como comparar diferentes analogias construídas a partir do mesmo domínio alvo do ponto de vista de sua sistematicidade? • Quais parâmetros seriam úteis para avaliar o poder inferencial de uma analogia? • Como as limitações, as diferenças alinháveis e as não-alinháveis se relacionam com a sistematicidade das analogias? • Como avaliar a sistematicidade das analogias? • Quais critérios/características professores de química costumam avaliar/observar para decidir se uma comparação é uma boa analogia a ser aplicada em uma situação de ensino? Para tanto, a mediação do grupo focal será conduzida por conjuntos de perguntas planejadas para três sequências: (1ª) perguntas sobre as experiências do professores com o uso de analogias para o ensino de equilíbrio químico, em sala de aula; (2ª) análise de um conjunto de cinco analogias apresentadas pelo mediador ao grupo; (3ª) adEquação e diferenças de abordagem de analogias nos dois cursos de atuação dos professores de Química participantes dos grupos focais.
Guia de Avaliação:	Ao final, será aplicado um questionário para avaliação da atividade com o intuito de identificar algumas deficiências do processo que podem influenciar na análise dos dados levantados. O tempo de duração foi favorável para discutir todos os aspectos pertinentes ao tema? [ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente O Ambiente contribuiu para que você ficasse à vontade para falar sobre o tema proposto? [ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente A abordagem realizada pelo mediador contribuiu para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema? [ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente

	A presença do pesquisador auxiliar influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões? [ ] Influenciou pouco [ ] Influenciou muito [ ] Indiferente O Aparelho gravador de áudio influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões? [ ] Influenciou pouco [ ] Influenciou muito [ ] Indiferente O Material de apoio contribuiu para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema? [ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente Caso queira e/ou considere necessário, descreva pontos positivos e/ou negativos sobre sua experiência em participar desta atividade de grupo focal.
Operacionalização:	
Abaixo é apresentada a operacionalização de apenas uma sessão que será utilizada nos dois grupos focais.	
Abertura (10 min)	Será feita uma sessão de boas vindas e agradecimentos pela contribuição com a pesquisa. Em seguida o mediador apresentará os objetivos da pesquisa e os motivos de ter-se escolhido os participantes presentes.
Apresentação dos Participantes (15 min)	Os participantes farão uma apresentação entre si onde falarão sobre sua formação e experiência com o ensino de Química especificamente no ensino de equilíbrio químico
Esclarecimento acerca da dinâmica de discussão participativa (5 min)	Serão apresentadas informações acerca do desenvolvimento da sessão bem como distribuição do material de apoio.
Estabelecimento do *setting* (10 min)	Apesar da previsão de 120 min para realização completa da atividade, serão acordados com os participantes aspectos relativos ao tempo de duração (início e término do grupo), conversas paralelas e/ou desvios do tema, forma de uso de equipamentos eletrônicos: equipamentos para o grupo (gravadores de áudio) e equipamentos pertencentes aos participantes (celulares, etc.).
Debate (50 min)	A mediação do grupo focal será conduzida pelas seguintes perguntas, propostas em 3 sequências. 1ª sequência: – Em sua experiência em sala de aula, como tem sido o ensino de aspectos da dinâmica das reações químicas em equilíbrio? – Para vocês, os alunos têm apresentado mais ou menos dificuldades de aprendizagem ao lidar com o equilíbrio das reações químicas? – Vocês consideram que o tema do equilíbrio químico é difícil para ser ensinado? Por quê?

	– Para vocês, quais seriam os principais pontos de maior dificuldade para os alunos ao lidarem com o equilíbrio das reações químicas? – Em suas experiências profissionais, vocês já recorreram a alguma analogia para ensinar equilíbrio químico? Por quê? Qual analogia? – O uso dessa(s) analogia(s) foi planejado, ou seja, antes da aula você já tinha a intenção de fazê-la, ou foi espontâneo, isto é, surgiu numa tentativa de esclarecer algum tópico ou de tirar alguma dúvida ou dificuldade aparente dos alunos? – Independentemente de já ter usado ou não alguma analogia para o ensino de equilíbrio químico, vocês conhecem alguma? De onde vocês conhecem essas analogias? 2ª sequência (com material de apoio – Arquivo FICHADASCOMPARACOES.pdf): – Eu gostaria de apresentar para vocês cinco lâminas: em cada uma há o estabelecimento de uma analogia para o ensino de equilíbrio químico. Todas essas analogias foram encontradas em livros didáticos de Química do Ensino Médio. Eu gostaria que vocês analisassem, brevemente, cada uma e apontassem qual ou quais vocês utilizariam em sala de aula. – Vocês já conheciam essas analogias? – Alguma vez vocês já utilizaram alguma delas em sala de aula? – Quais vocês utilizariam em sala de aula para ensinar equilíbrio químico? Por quê? – Quais dessas cinco analogias vocês não utilizariam em sala de aula? Por quê? Para vocês, quais seriam os principais "problemas" dessas analogias? – Entre essas cinco analogias, na opinião de vocês, quais delas apresentam maior "poder inferencial" sobre o domínio alvo, ou seja, quais, provavelmente, possibilitariam aos estudantes, a partir do conhecimento sobre o domínio base, fazerem um maior número de inferências sobre o comportamento das reações em equilíbrio e as características do sistema reacional – o domínio alvo? – Essas analogias coincidem com aquelas que vocês tinham apontado inicialmente? – Entre as analogias que vocês utilizariam em sala de aula, vocês fariam alguma ressalva ou ajuste com seus alunos? Quais seriam? Por quê? – Vocês utilizariam essas analogias escolhidas parcialmente ou integralmente? Quais partes seriam efetivamente utilizadas ou mais focadas? 3ª sequência: – Para vocês, haveria alguma diferença na abordagem do conteúdo em questão ao ensiná-lo ora no Curso Técnico em Química ora no Bacharelado em Química Tecnológica? – Pensando nas analogias escolhidas, vocês as empregariam em qualquer segmento de ensino (nível médio e superior)? Por quê? – Vocês empregariam essas analogias no Curso Técnico em Química e no Bacharelado em Química Tecnológica da mesma maneira e/ou com o mesmo nível de detalhamento? Por quê? Quais seriam as diferenças?
Síntese (20 min)	Será retomada e validação das ideias centrais da discussão participativa

Encerramento (10 min)	Aplicação do questionário de avaliação da atividade. Fala dos pesquisadores em agradecimento pela participação dos presentes.

Referência metodológica para a elaboração desse planejamento:

KINALSKI, D.; PAULA, C.; PADOIN, S.; KLEINUBING, R.; CORTES, L. **Grupo Focal na Pesquisa Qualitativa: relato de experiência.** REBEn – Ver Bras Enferm [internet]. Mar-Abr, 70 (2): 443-8, 2017.

Apêndice III – Questionário de Avaliação do Grupo Focal

Projeto de Pesquisa

ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS

Pesquisadores responsáveis:
Wilbert Viana Barbosa – Mestrando em Educação Tecnológica
Alexandre da Silva Ferry – Orientador

QUESTIONÁRIO DE AVALAIAÇÃO DO GRUPO FOCAL

O tempo de duração foi favorável para que você pudesse apresentar, falar ou discutir todos os aspectos pertinentes ao tema que você desejada?

[ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente

O Ambiente contribuiu para que você ficasse à vontade para falar sobre o tema proposto?

[ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente

A abordagem realizada pelo mediador contribuiu para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?

[ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente

A presença do pesquisador auxiliar influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões?

[ ] Influenciou pouco [ ] Influenciou muito [ ] Indiferente

O Aparelho gravador de áudio influenciou, em alguma medida, na sua forma de responder aos questionamentos e no modo de se posicionar nas discussões?

[ ] Influenciou pouco [ ] Influenciou muito [ ] Indiferente

O Material de apoio contribuiu para que você pudesse organizar seu raciocínio para falar sobre o tema?

[ ] Sim [ ] Não [ ] Indiferente

Caso queira e/ou considere necessário, descreva pontos positivos e/ou negativos sobre sua experiência em participar desta atividade de grupo focal.

Apêndice IV - Categorização das falas dos grupos focais

1ª sequência de perguntas do grupo focal	
1. Aspectos relacionados às práticas de ensino de equilíbrio químico;	
1.1. Dificuldades enfrentadas por alunos sobre equilíbrio químico, na percepção do professor;	**Professor B** ((04' 34"))[...]((04' 37"))**[[...]]** *então eu recebo alunos no quinto período com muita dificuldade/ os alunos chegam no quinto período/ com muita dificuldade em reconhecer as reações químicas/ e/ prever as reações químicas/* **[[...]]** *ele erra muito/ ele erra principalmente em reações químicas/...* **Professor B** ((05' 29"))*é/ desde não conseguir escrever a fórmula química/ e/ fica em dúvida se é equilíbrio se não é/ se está em equilíbrio ou não/ então/ é uma dificuldade* **[[...]]** *eu tenho alunos/ eu tô com 30 alunos/ concluindo a quantitativa que ainda têm dificuldade nisso/ agora/ no final da quantitativa/ eu trabalho com equilíbrio de oxirredução/ então ainda é mais complexo para eles/ né(!?)/***[[...]]** */...* **Professor B** ((07' 03")) **[[...]]** *e eu ouço muito/ e principalmente dessa turma/ que eu tive um envolvimento grande com ela/ e uma turma grande/ eram trinta e seis/ e agora são trinta/ é/ alguns alunos interessados/ buscando conhecimento/ dizem assim/ olha a minha dificuldade está em reações químicas/* **[[...]]** */...* **Professor B** ((09' 32")) **[[...]]** *então em princípio/ eles tratam as duas razões da mesma forma/ que eu fazer outra coisa/ então/ é claro para mim/ que os alunos vêm com essa dificuldade/ do que é experimental/ existe um universo teórico/ que é a da dupla troca/* **[[...]]***/...* **Professor C** ((12' 39")) **[[...]]** */ eles/ realmente/ têm uma dificuldade assustadora/ em identificar substâncias pelas fórmulas/* **[[...]]** *o/.../ próximo desafio/ ele tem uma dificuldade assustadora para entender a estequiometria da reação* **[[...]]** */...* **Professor A** ((14' 58")) **[[...]]** *então eles não sabem ainda essa conversão/ eles não imaginam/ tá tudo no mesmo recipiente/ e que as reações químicas acontecem ao mesmo tempo/* **[[...]]***;*

	Professor A ((25’ 36”))*o que eu já identifiquei/ o que eles têm mais dificuldade/ além da coexistência/ é o tal do deslocamento/* **[[...]]***/ a coexistência ali no deslocamento ainda fica mais evidente/ ou seja/ eles chegaram lá no conteúdo de/ princípio de Le Chatelier/ sem entender o que que era equilíbrio/ e aí/ quando vem a questão do deslocamento/ eles têm uma dificuldade/ assim/ gigante/ muito grande mesmo/ que eu já tenho identificado nos alunos/ o porquê que desloca/ por que que tem que deslocar/ eles ficam perguntando/;* **Professor B** ((27’ 46”))*então/ eu/ eu uso/ quando eu vou fazer/ eu vou falar de cálculo/ no cálculo de solubilidade/ dos espéci*[*m*]*es*(indefinido)*/ sistema heterogêneo/ então/ ele tem muita dificuldade em entender/ aquela quantiad./ aquela quantidade de.../ de concentração/ né(!?)/ em mol por litro/ ela não varia* **[[...]]** **Professor D** ((32’ 54”))*ele é/ porque ele envolve/ eu ach./ eu não sei./ para mim ele./ pro meus alunos/ por exemplo/ atualmente/ é.../ os alunos da quanti/ a dificuldade tá na matemática/ né(!?)/ no cálculo./ nos cálculos/ porque o equilíbrio químico/ ali/ é usado/ né(!?)/ para.../ fazer cálculos para determinar a quantidade de determinadas espécies/ ou seja/ você utiliza/ né(!?)/ a constante de equilíbrio para calcular pH/ para calcular concentração de ácido/ concentração de base/ etc/...* **Professor G** ((35’ 38”)) **[[...]]** *e aí depois quando a gente começa a falar dos outros equilíbrios/ equilíbrio ácido base/ equilíbrio de oxido-redução/ de complexação/ a parte de cálculo realmente é a que mais./ é.../ eles tem mais dificuldade mesmo/ né(!?)/ e começar a compreender o tamanho da constante/ rendimento/ até aí tudo bem/ mas quando começa envolver cálculo de espécies/ né(!?)/ até na graduação/ assim/ não dei aula na graduação desse assunto/ mas a gente percebe que os alunos tem essa dificuldade/ aí já é uma coisa/ o nível vai ficando cada vez mais complexo;* **Professor F** ((01 03’ 15”))*uma abordagem experimental/ química/ que/ né(!?)/ que eu acho que o aluno não tem dificuldade de entender;* **Professor B**

	((26’ 20”))*é/ eu percebo/ assim/ em alguns alunos/ quando você/ fixa o equilíbrio/ desenha a setinha lá/ a ideia dos cinquenta por cento vem muito forte/ parece que é cinquenta por cento/ sabe(!?)/ essa ideia de quantidade/ ela é muito difícil para ele entender/ que no equilíbrio/ eu posso ter um equilíbrio muito para direita/ e um pouquinho pra esquerda/ então/ isso é muito difícil para eles/...* **Professor B** ((23’ 48”)) **[[...]]** *o assunto difícil que eu acho é prever reação química/ que parte da./ todos os aspectos termodinâmicos/ termoquímicos/ da questão do equilíbrio/ não é fácil/;* **Professor E** ((51’ 53”))*todas as situações/ sabe aquela/ um pouquinho que trabalha reversibilidade/ aliás/ embora todos dá para ter ideia de reversibilidade/ menos a do tanque/ é pro aprendiz ter uma noção do que que é o equilíbrio dinâmico/ isso é difícil/ porque o papel é parado/...* **Professor F** ((36’ 44”))*e se fala da estequiometria por trás então/ aí que a coisa fica mais feia ainda/ a estequiometria é um gargalo/ pra coisa./ porque por exemplo/ se coloca uma Equação química não balanceada que envolve gás no equilíbrio/ e questiona se quando cê aumenta a pressão no sistema/ cê./ você vai deslocar para um lado ou pro outro/ se não tá balanceada/ isso influencia/ e muitas vezes os alunos erram por não saber balancear a Equação/ e por muitas vezes não saber a proporção dos reagentes/ então/ é uma coisa vai levando a outra/ eu sei que não é do seu/ da sua vontade que a gente elabore uma questão desse ponto/ por exemplo/ que vai cobrar do aluno saber isso para fazer aquilo/ nós já conversamos sobre isso/ mas eu percebo que eles não tem essa./ essa./ muitas vezes/ a maturidade/ que precisa balancear a Equação para responder essa pergunta/ já que a proporção dos reagentes vai diretamente responder a questão dele;*
1.2. Dificuldades em ensinar equilíbrio químico	**Professor B** ((04’ 34”))[...]((04’ 37”)) **[[...]]** *e o que eles têm de informação/ são extremamente teóricas/ então eu faço um/ eu faço umas perguntas simples/ que eu percebo isso* **[[...]]** */...* **Professor B** ((05’ 29”)) **[[...]]** *mas a primeira coisa/ no primeiro encontro teórico/ que eu tenho com esses alunos/ é/ eu pergunto/ eu falo para eles/ que a química/ né(!?)/ eles sabem que é a ciência das transformações/* ((06’ 45”))[...]/((06’ 48”)) *as reações são o nosso carro-chefe/ então*

	entender as reações/ é ser químico/ é manipulá-las/ é tornar/ é gerar produto/ então/ isso eu não deveria falar no quinto período/ eu falo/ porque é um resgate daquilo que é essencial/... **Professor B** ((10' 57"))*não conseguem/ exatamente porque/ o conhecimento/ ele não é experimental/* **[[...]]** *;* **Professor C** ((11' 59"))*no ensino médio/ se no ensino superior/ isso é um pouquinho difícil/ pros meninos/ na percepção dos meninos/ no médio/ às vezes/ no primeiro momento/ é quase catastrófico/ então/ na representação das reações/ o/ a primeira coisa que você encontra é/ você mostra pro aluno/ como que é uma reação/ que uma coisa se transforma em outra/ aí/ quando você vai corrigir a avaliação/ a primeira coisa que você detecta é/ o reagente é igual ao produto/ na simbologia/...* **Professor B** ((16' 32"))*eu tenho privilégio de ter o laboratório à minha disposição/ isso é um privilégio/ por outro lado/ eu tenho o desafio de formar pessoas em nível de graduação/ que depois vão multiplicar isso tudo/ então/ por um lado/ eu tenho uma sorte/ né(!?)/ eu fico imaginando como é que deve ser isso lá no ensino médio/ porque seu cheiro recebo os alunos que/ que realmente ainda não consolidaram isso/ imagina a primeira informação quando chegam/ estão/ a estratégia que eu adoto/ primeiro/ é eles entenderem que reação não tem rendimento de cem por cento/ eu acho que é melhor estratégia/ porque esse engano/ eles têm/ né(!?)/ essa reação que você colocou aí/ é em cem por cento/ uai/ por que que não rende cem por cento(?)/ porque sobrou/ então/ se sobrou/ coexistem/ é o princípio da coexistência das espécies/ se coexistem as espécies/ aí sim/ começa a entender equilíbrio/ a partir disso/ eu acho que é uma estratégia muito boa/ outra estratégia que eu utilizo/ é de comparar com equilíbrio físico/ que para eles parece mais fácil/ então uma gangorra em equilíbrio físico/ ela está completamente parada/ né(!?)/ apesar de ela ter uma energia potencial onde ela está/ mas está parada/ está ali/...* **Professor B** ((26' 48"))*é/ essa ideia de cinquenta por cento/ você tem que quebrar/ por que ela é/ ela é/ automático/ quando você insiste que as reações estão em equilíbrio/ né(!?)/ as que estão/ as que/ de fato/ estão/ aí/ quando você consegue trabalhar isso/ para alguns/ a ideia de cinquenta por cento/ fica muito claro/ aí/ cê sente a necessidade/ de ter que romper isso/ entendeu(!?)/ então você vai percebendo/ a gente*

	percebe na turma/ até pelas perguntas/ né(!?)/ você percebe isso/ então/ essa dificuldad./ aí/ vem uma dificuldade que/ aí/ é posterior ao conceito/ que é questão do cálculo/ que eu não sei se é um outro tópico aí pra vocês; **Professor G** ((01 09' 34")) **[[...]]** *aí tem que ver a necessidade/ né(!?)/ da dificuldade do aluno/ é.../ porque como você tá lidando com aspectos microscópicos/ o aluno/...* **Professor H** ((01 14' 50")) **[[...]]** *a química é uma ciência muito difícil/ aprender química é muito difícil/ ensinar química é muito difícil/ não existe nada fácil em química/ se você falar assim/ olha/ vou ensinar hoje só uma reação de neutralização/ aí cê abre os livros/ todo mundo fala de forma errada neutralização/ confunde neutralização com salinificação/ é erro/ erro/ erro/ um atrás do outro/ então/ por isso que eu considero que ensinar química difícil/ ensinar química é muito difícil/ fica mais fácil quando a gente vai no fenômeno/ diretamente no fenômeno/ agora/ por outro lado/ a gente nota que algumas pessoas tem muita dificuldade de compreender o fenômeno e querem sair/ outros/ são super curiosos e querem ficar exatamente porque é difícil/ porque estimulou/* **[[...]]** **Professor B** ((17' 43")) **[[...]]** *eu tô falando de uma coisa um pouco mais avançada/ o equilíbrio/ seria/ por exemplo a hidrólise/ é muito difícil pra eles/ tampão/ hidrólise/ né/ imagina ensino médio/ mas é muito difícil/ então/ dependendo da turma/ dependendo do grau de dificuldade/ às vezes/ eu uso algumas estratégias experimentais/ então/ o que que eu fiz recentemente/ que foi bom/ expliquei equilíbrio/ expliquei e ficou aquela coisa/ expliquei/ fiz minha parte/ mas o retorno/ não* [*a*]*parecia*(indefinido) *à altura/ aí eu coloquei um "beckerzinho" pequenininho no laboratório/ coloquei uma meia dúzia de Becker com água/ coloquei sais/ peguei sais diferentes/* [inaudível]*/ hidrolisado/ neutro/ é.../ carbonato/ né(!?)/ que a hidrólise é mais intensa/ coloquei/ pedi pra medir o PH/ até com a fitinha de papel/ fitinha universal da Merck/ que é melhor/ a gente consegue perceber essa diferença/ então/ pra aquela turma eu tive que fazer isso/ pra entender/ aí eles mediram o PH/ e era diferente porque/ e aqui/ a gente tem lá no laboratório uma borracha preta/ e eu tenho uma caneta giz líquido/ então eu vou lá em frente ao Becker e deixo eles escreverem as reações/ então/ esse negócio de escrever/ carbonato gente/ equilíbrio de carbonato é uma coisa muito difícil/ ensinar isso é muito difícil/ então deixa escrever/ deixa colocar/ então foi fazendo/*

	então esse lúdico/ que nem é lúdico/ mas é experimental e lúdico/ né(!?)/ que eu tenho o privilégio de ter os alunos dentro do laboratório/ né(!?)/ é/ ele ajuda muito/ mas eu vejo que mesmo essas estratégias todas Alexandre/ é passo-a-passo/ e não é todo mundo/ e cê vai vendo as luzes se acendendo/; **Professor H** ((56' 59"))*eu só acho que para a gente ensinar um assunto a gente tem que procurar entender ele bem primeiro/ e/ equilíbrio químico é um assunto muito difícil para a gente saber/ mais difícil ainda para a gente ensinar/ num é(?)/...*
2. Emprego de analogias no ensino de equilíbrio químico	
2.1. Uso espontâneo, não planejado	**Professor B** ((17' 43"))*essa aqui/* {o Professor B estende uma caneta, segurando-a pelo centro com seu polegar e indicador da mão direita para demonstrar o tipo de gangorra a que se refere}*/essa gangorra que* **[[...]]** *uma estratégia que eu uso também/ é recorrer a isso/ sempre/ então uma garrafa de/ refrigerante/ uma coca-cola/ lá/ meio dia/ todo mundo sentindo calor/ uma coca-cola/ tá em equilíbrio(?)/ não tá/ abri/ tá em equilíbrio(?)/ não tá(?)/ deixei parado/ entrou em equilíbrio(?)/ então/ isso são estratégias/* **[[...]]***;* **Professor A** ((34' 05"))*no princípio de equilíbrio/ assim/ eu não lembro/ de usar/ nenhuma./ a não ser coisa muito simples/ simples mesmo/ o aluno está parado/ eu falo com ele/ vou te perturbar/ eu/ às vezes/ balanço o aluno/ e aí/ eu falo com ele/ e aí/ cê vai querer que eu continue assim/ você vai querer que/ essa perturbação/ seja eliminada/ então/ pra tentar explicar o princípio de Le Chatelier/ e para catalisador/ que é o que eu mais utilizo/* **[[...]]***;*
2.2. Uso planejado	**Professor C** ((38' 10"))*a/ sim/ várias/ algumas são planejadas/ outras não/ outras surgem p*[inaudível]*;* **Professor B** ((38' 21"))*tem os doi./ a gente usa os dois recursos/ essa que eu falei do refrigerante/ a aula foi até meio dia e vinte/ aí/ quando [e ali pro meio dia/ no calor/ né(!?)/ as coisas começam./ aí/ geralmente eu entro./ aí uma garrafa que já está lá no slide/ toda geladinha/ né(!?)/ de uma certa forma/ dá uma.../ de uma certa forma ela abre sozinha/ um "lúdico-zinho"/ assim/ pra/ dar uma aliviada/ isso já é planejado/* ((38' 45"))[...]/((38' 47"))*mas agora eu já estou cortando a coca/*

	porque ninguém toma coca mais.../ então/ essa visão/ é./ mais saúde aí/ fica até meio sem jeito/ apesar de que a maioria gosta; **Professor D** ((01 40' 47"))*eu acho/ também/ né(!?)/ se você fosse usar uma analogia/ assim/ espontaneamente/ você buscaria algo relacionada ao contexto da pessoa/ né(!?)/ de vida da pessoa/...* **Professor B** ((30' 03"))*deixa eu falar a última aqui/ então eu brinco sempre assim/ a gente vai mudando/ né(!?)/ mas as últimas eu uso assim/ eu preparei uma garrafa café forte/ que eu gosto de café forte/ aí/ quando eu tiro uma xícara/ a xícara é de(!?)/ café/ forte/* ((30' 18"))[...]/ ((30' 18"))*claro/ porque eu não vou tirar xícaras de café fraco* **[[...]]***;* **Professor B** ((01 07' 57")) **[[...]]** *eu uso muito essa analogia/ todo dia/ o xix./ o cachorro faz xixi no portão/ um dia eu abro o portão/ ele cai nas minhas mãos/ por quê(?)/ porque uma série de reações químicas foram aceleradas naquele ponto de xixi do cachorro/ além do intempéries da natureza/ etc. e tal/ entendeu(?)/ mas é experimental/ é do experimental que a gente tira a ciência/ onde que./ né(!?)/ eu acho assim./ eu o trabalho muito isso/ é porque é experimental/ aconteceu isso/ o vinho ficou com cheiro/ estranho/ que não era tão gostoso/ aí nós descobrimos o que estava no vinho/ porque o vinho já estava./ já era consumido por todos/ é nesse sentido/ né(!?);* **Professor G** ((01 37' 16"))*eu/ quando eu vou ensinar equilíbrio/ eu não sei se é analogia isso que eu faço/ eu penso assim na garrafa de água mineral/ quase cheia/ aberta/ aí eu começo explicando/ aí eu começo a perguntar para os alunos/ olha aqui./ pergunto se água tá evaporando ou não/ e aí depois eu fecho/ e aí eu começo a perguntar características desse sistema/ macroscópicas e microscópicas/ se parou de evaporar ou não/ e aí depois eu pego tudo que tá acontecendo aqui/ esse./ essa transformação física/ e comparo com o equilíbrio químico/ porque aí o aluno/ é/ ele vê./ eu./ como o nível é constante/ mas eles entendem que a água não para de evaporar/ até pela percepção do dia a dia/ né(!?)/ que eles já têm sobre a evaporação da água/ condensação/ aí/ eles conseguem transpor tudo isso pra/ equilíbrio químico/ aí eu sempre uso isso/ eu não sei se seria uma analogia ou uma comparação/...* **Professor G**

	((01 38' 21"))*é/ pra./ é.../ porque assim/ o que que acontece(?)/ se você deixá-la aberta aqui uma semana/ o nível vai mudar/ mas se eu fechar/ o nível vai ficar/ é.../ estacionário aqui/ né(!?)/ e o aluno consegue perceber essa questão do macroscópico e do microscópico quando eu faço essa comparação/ porque aí./ eu vou perguntando se parou de evaporar ou não/ se parou de condensar ou não/ e eles conseguem entender que não para de evaporar e não para de condensar/ mas que o nível permanece ali/ é.../ permanece o mesmo nível/ meu volume aqui é o mesmo/ e aí/ baseando nisso aí/ eu começo a falar de equilíbrio químico/ aí já entende tudo isso que eu quero falar depois/ do equilíbrio/...*
2.3. Repertório dos professores sobre analogias para equilíbrio químico.	**Professor C** ((30' 59"))*olha só/ tem hora que eu saio completamente do contexto escolar/ por exemplo/ eu vou num shopping/ então/ eu coloco as condições ideais no processo/ por exemplo/ estão no shopping/ e tem alguém que controla a subida e a descida do povo numa escada/* ((31' 16"))[...]/ ((31' 17"))*escada rolante/* ((31' 18"))[...]/ ((31' 23"))*então/ o shopping tá cheio/ ninguém mais entra/ ninguém mais sai/ e para cada pessoa que vai subir/ alguém tem que descer/ porque se não/ não flui/ e aí/ eu falo/ eu perturbo o sistema/ por exemplo/ e aí eu coloco uma superpromoção no piso de cima/ e aí/ de alguma forma/ vai perturbar o sistema/...* **Professor C** ((31' 50"))*mais pessoas quererem subir ou descer/ né(!?)/ por exemplo/* ((31' 54"))[...] **Professor A** |*seria um sistema fechado*|/ ((32' 01"))*aí/ isso daí/ é uma proposta de mostrar o que é um processo dinâmico/ que eu posso ir lá no andar de cima/...* **Professor C** ((32' 30"))*a proposta aí/ é de mostrar uma coisa dinâmica/ aí eu brinco com eles/ falo/ bem/ é uma possibilidade/ isso depende do dia também/ não tem uma regra/ aí no dia que eu tô no ápice da minha forma física/ e eu dou um exemplo de uma esteira/ que eu vou para academia todo dia/ todo/ mentira/ mas não importa/ e aí/ eu tô lá/ correndo na esteira/*((32' 51"))[...]/ ((32' 55"))*tô lá/ correndo na esteira no doze/ quero passar para o quatorze/ e aí/ para aumentar a velocidade lá/ eu tenho que correr mais/ e aí/ e às vezes/ eu coloco uma perturbação/ para mostrar que em algum momento o sistema sai do equilíbrio/ e a perturbação é alguém ir lá/ e acelerar minha esteira/ sem eu ver/ e aí/ eu posso cair/ e desequilibra tudo/ e aí/ qual seria a próxima etapa(?)/ então/ eu tenho/ eu vou demorar um pouquinho/ até estabele./ por exemplo/ né(!?)/ de adicionar alguma coisa/ e aí/ alguém foi lá/ apertou/ aumentou a velocidade/ e aí/ eu consegui acompanhar/ só que*

	eu demorei um tempo/ para isso/ e na segunda situação/ tem um novo equilíbrio/ mas um novo equilíbrio que é diferente do primeiro/ com velocidades diferentes/ com desgaste físico diferente/ com energia diferente/ obviamente com minha forma diferente/ porque eu também não posso deixar de./ bem difícil/ enfim/ então/ por isso que eu brinquei que eu fico até envergonhada/; **Professor E** ((01 07' 54"))*isso daqui eu fazia em sala com os alunos/ no ensino médio/ mandava todo mundo ficar em pé/ separava as panelinhas/ vamos andar pela sala gente(!?)/ pra que que cês vão ficar todo mundo num cantinho(!?)/ vocês podem andar pela sala toda/ aí/ eu explicava a ideia de movimento de moléculas/ num é assim/ não tem uma coisa que faz todo mundo ficar junto num canto/ não existe isso/ afinidade/ de todo mundo ficar juntinho ali/ tal o sistema reacional/ as espécies vão ficar soltas/ elas vão recombinar conforme afinidade;* **Professor H** ((01 13' 41"))*dessas/ nenhuma/ olha/ uma que eu já usei a mais tempo/ é uma que tem no livro do professor Edson/ aqui de Belo Horizonte/ que tinha um muro e dois trabalhadores e dois montes de terra/ então um joga terra prum lado/ e outro joga terra pro outro/ né(!?)/ então/ só uma questão de velocidades/ ela é boa/ eu achava ela boa para a gente avaliar a questão cinética/ só/ como o* ***[OMITIDO - Professor G]*** *disse/ questão cinética/ agora nós os químicos trabalhamos com analogia o tempo todo/ modelo atômico é todo trabalhado de forma analógica/ pode falar analógica?/...* **Professor G** ((01 16' 59"))*aí tem uma coisa que tá vindo na minha cabeça aqui agora/ que é o seguinte/ quando o sistema tá em equilíbrio/ você visualmente./ vamos dizer assim/ as características macroscópicas são constantes/ então a gente não consegue perceber visualmente o conceito disso/ e./ mas tá acontecendo ali/ a reação direta e inversa/ então a maioria das analogias que a gente vê é tentando explicar isso/ como que o sistema é dinâmico/ microscopicamente/ e estático/ ao mesmo./ macroscopicamente/...* **Mediador** ((01 17' 31"))*aparentemente estático/ né(!?);* **Professor G** ((01 17' 32"))*isso/ então/ é.../ eu acho que algumas aqui/ não sei se todas/ tão tentando explicar isso/ essa questão dele ser dinâmico/ e você não perceber/ tem uma analogia que eu vi/ não lembro onde que eu vi*

	essa analogia/ é da pessoa correndo na esteira/ que tipo assim/ ela tá no mesmo lugar/ mas o exercício ali/ ele é dinâmico/ apesar dela tá parada/... **Mediador** ((01 17' 58"))*a velocidade dela é igual a velocidade da esteira;* **Professor G** ((01 18' 01"))*isso/ né(!?)/ então./ aí pra./ igual o* ***[OMITIDO - Professor E]*** *tava falando/ para você começar a falar/ né(!?)/ pro aluno entender essa parte/ esse link do macroscópico e do microscópico/ talvez seria interessante usar uma analogia/;*
2ª sequência de perguntas do grupo focal	
1. Critérios de escolha ou rejeição de analogias para uso em sala	
1.1 Pontos POSITIVOS das Analogias A, B, C, D e E, na percepção dos professores	**Comparação A** **Professor B** ((41' 58"))*é/ mas tem algumas/ por exemplo/ assim/ essa aqui tem uma mudança de matéria/ né(!?)/ a perda de matéria/ entra matéria nova e sai/ já é um exemplo que eu não gosto muito/* ((42' 05"))[...]/ ((42' 08"))*então assim/;* **Professor A** ((53' 19"))*pra mim/ no meu público/ a A e a D* {o Professor A se refere às comparações A e D apresentadas pelo Mediador}*/ eu acho que seriam as melhores/ assim/...* **Professor B** ((01 00' 38"))**[[...]]** *a A/ me ajudaria mais basal/***[[...]]***...* **Professor F** ((50' 25"))*não/ pois é.../ eu falo o seguinte/ eu acho que é o problema de analogias desses antigo./ porque funciona muito bem pro cê entender a dinâmica no sentido que a reação direta é a mesma velocidade da inversa/ principalmente nesse caso/ aqui/ dos carrinhos/ que ele comenta aqui./ que se a velocidades dos carros chegando é igual a dos carros saindo/ então/ tende a ter um equilíbrio de número de carros ali no estacionamento/ então eu entendo a ideia da reação direta e inversa na mesma velocidade/***[[...]]*** **Comparação B** **Professor C**

	((57' 19"))*não/ a da água/ do tanque* {comparação B}*/ até esse que você não gosta/ eu acho que ele tem algo de produtivo/ por quê(!?)/ não é só estabilizar/considere que isso daqui* {o Professor C sinaliza para a ilustração na comparação B}*/ é uma fase no seu sistema/ não uma fase física/ mas/ sei lá/ equivale ao reagente/ ou produto/ tanto faz/ então/ ele mostra que a composição daquele reagente/ está mudando o tempo todo/ então ele é limitado/ porque tá saindo coisa do sistema/ mas se você pensar isso/ como sendo o reagente/ só o reagente/ ele mostra/.../ que a composição do reagente tá mudando/ aqui tá mudando para ir embora/ mas lá/ ele pode mudar para virar produto;* **Comparação C** **Professor G** ((01 23' 27"))*por exemplo/ o princípio Le Chatelier/ se ele tiver menos lixo aqui/ vem menos moscas/ tipo isso(!);* **Comparação D** **Professor B** ((50' 19"))*é/ eu gostei/ talvez eu até/ usasse/ a ideia aqui/ dos peixes/ em princípio/ eu achei a melhor delas/ mas ela./ como o peixe é um ser vivo/ que tem outras variáveis implicando/ eu gostei muito/ porque/ na comparação D/ o sistema é fechado/ e/ a ideia de proporção/ a ideia que o autor/ e/ inclusive/ eu acho que ele queria trabalhar aqui/ é a ideia de proporção/ eles duplicou o número de/ de seres vivos/ e ele pressupõe que o fluxo seja o mesmo/ aí/ ele tá/ muito pressupondo/ né(!?)/ por se tratar de seres vivos/ talvez tivesse uma quantidade de alimentos aqui de um lado/ e o fluxo não seria o mesmo/ né(!?)/...* **Professor A** ((51' 07"))){o Professor A lê um trecho da lâmina da comparação D} *poderia ser rompido de outras maneiras/ por exemplo/ acrescentando-se mais alimento em um dos lados/.../ ele põe essa possibilidade/ né(!?);* **Professor B** ((51' 13"))*então/ a comparação D me pareceu mais rica/ para eu poder trabalhar/ então eu poderia/ né(!?)/...* **Mediador** ((51' 19"))*mais rica que a A/ inclusive(?)/* ***[OMITIDO - Professor B]****;* **Professor B** ((51' 21"))*eu julgo mais rica/ por o sistema tá fechado/ é muito./ é um cuidado que a gente tem que ter/ no ensino de equilíbrio química/ é*

	sistema fechado/ coexistência de espécies/ rendimento/ não de cem por cento/ rendimentos baixíssimos/ são/ são etapas/ que você tem que trabalhar com o aluno/ pra no final/ você não precisar mais de falar isso; **Professor A** ((53' 19"))*pra mim/ no meu público/ a A e a D* {o Professor A se refere às comparações A e D apresentadas pelo Mediador}*/ eu acho que seriam as melhores/ assim/...* **Professor A** ((54' 46"))**[[...]]** *mesmo critério daqui/ se o sistema daí/ também/ tá aberto/ eu prefiro usar essa* {o Professor A sinaliza para a comparação D}*/ que é mais rica/ né(!?);* **Professor B** ((01 00' 38"))**[[...]]** *e a D me daria mais condições de conversa/ acho que a D/...* **Professor B** ((01 00' 38"))*dos aquários/.../acho que provocaria mais conversa aqui/ até o fato de/ inserir o alimento/ e mudar/ assim/ eu acho que a A/ assim/ seria o primeiro exemplo/ e essa aqui* {o Professor B sinaliza para a lâmina da comparação D}*/ a gente poderia conversar mais/ a D/ então a A./ os carrinhos seriam mais simples/ né(!?)/ os carrinhos se movimentando/ aquela conversa prim./ mais/ primária/ mas que poderia ser utilizado sim/ e essa aqui* {o Professor B sinaliza para a lâmina da comparação D}*/ por tá no sistema fechado/ por ter/ duas comparações em quantidades/ e/ e traçando/ assim/ alguma coisa/ assim/ eu acho que ela./ ela./ ela tem mais elementos para conversar;* **Professor A** ((01 01' 40"))*sim/ a A/ eu acho que eles/ fariam/ menos inferências/ assim/ até no sentido de perguntas/ eles até imaginariam outras coisas/ mas eu acho que/ com a D/ eles iam imaginar/ muitas coisas/...* **Professor B** ((01 11' 23"))*e outra coisa importante aqui também/ é que os sistemas./ né(!?)/ a ideia que eles sejam iguais/ então tá tudo representado aqui/ pra ser iguais/ e dobrou o sistema/ o rendimento é o mesmo/ a ideia da proporção é a mesma/ então isso ajuda/ porque foi muito feliz/ no sentido/ é o mesmo sistema/ então dobrou a população/ nesse caso/ chamando assim de população/ mas a proporção se manteve/ então isso ajuda muito/...*

	Professor B ((01 11' 49"))*aspecto positivo/ o./ eu acho que o aspecto melhor/ ainda/ aqui/ duas coisas para mim/ me chamam muita atenção/ uma é um sistema fechado/ né(!?)/* [inaudível]*/ fechado/ e o segundo que as./ os dois aquários que estão inter./ primeiro eles estão interligados/ três coisas/ e/ ele parece até uma reação/ tá vendo(?)/ e/ e não é do mesmo tamanho/ isso me ajuda muito/ o que eu não gostei do outro lá/ da caixa lá/ não é do mesmo tamanho/ então/ tá vendo(?)* {o Professor B sinaliza para a lâmina da comparação D}*/ o aquário da esquerda é menor do que o da direita/ é/ então isso/ isso é bacana/ esse ponto de ligação aqui/ lembra até as setas de ida e vinda/ eu acho que faz uma alusão muito positiva/ então para mim/ esses três/ argumentos que eu apresentei/ são muito propositivos/***[[..]]*** **Professor B** ((01 12' 57")) *então assim/ aqueles/ eles toques que a gente dá/ um pouco de humor/ para dizer assim/ mas eu acho que ele é feliz/ mais feliz do que as fragilidades que ele possa apresentar;* **Comparação E** **Professor A** ((55' 03"))*talvez no/ no nono ano/ seria uma coisa que poderia ser usada;* **Professor D** ((01 36' 02"))*na realidade/ teria que talvez rever esse texto aqui/entendeu(?)/ porque eu acho ele./ mas/ assim/ eu não acho ela nada./ não tem nada de infantil não/ e porque essa daqui também não é/ entendeu(?)/ infantil/...*
1.2 Pontos NEGATIVOS das Analogias A, B, C, D e E, na percepção dos professores	**Comparação A** **Professor C** ((57' 13"))*e/ até aquele que você não gosta por estar aberto/...* **Professor F** ((50' 25")) **[[...]]** *mas por exemplo/ quando eu pego./ essa ideia de que sai um carro e chega outro/ isso não dá uma ideia para mim de equilíbrio químico/ porque o carro que tá saindo/ não é o outro carro que vai chegar/ por exemplo/ são coisas totalmente diferente/ se eu tenho aqui o carro amarelo/ verde/ azul/ parece ter um monte de reagente diferentes/ e aqui ele não comenta nada em relação as cores/ eu acho/***[[...]]** *talvez/ se ela fosse um pouco mais lapidada no sentido assim/ olha/ o amarelo e o vermelho estão atrelados de alguma*

	maneira/ e o azul com o verde/ então sempre que sair./ entrar o verde/ vai formar./ vai sair o amarelo/ não sei/ tá estranho para mim essa ideia aqui/ qualquer um sai/ qualquer um chega/ é equilíbrio(!?)/ tem cores os carros aqui/... **Professor D** ((53' 55"))*deixa eu só colocar o que eu penso aqui/ depois você vai definir exatamente/ ó./ aqui./ essa analogia do estacionamento é igual a analogia da água/ tá dizendo que o volume aqui permanece constante/ porque a velocidade./ a quantidade que entra é igual a quantidade que sai/ na mesma taxa/ né(!?)/ de velocidade/ isso não é equilíbrio químico/ isso se chama estado estacionário/ porque(?)/ mantém a mesma quantidade/ porque ao mesmo tempo que./ a mesma quantidade que sai/ é igual a quantidade que entra/ se ocê imaginar uma reação química/ o equilíbrio químico./ ou o equilíbrio químico/ que é o que a gente tá tentando expressar aqui/ né(!?)/ equilíbrio/ ele não acontece assim/ o equilíbrio acontece./ mantém-se as concentrações das espécies em equilíbrio/ né(!?)/ A em equilíbrio com B/ tá certo(?)/ elas se mantém constante/ porque(?)/ ao mesmo tempo./ a mesma velocidade que A é convertido em B/ B é convertido em A/ mas esse estado aqui indica o seguinte/ eu tenho./ que A fica constante/ porque(?)/ porque tem um X aqui/ que a mesma velocidade que B é convertido em C/ X é convertido em A/ tá certo(!?)/ então/ isso aqui permanece constante/ isso aqui não é equilíbrio/ isso é tudo num sentido só/ isso é um fluxo só;* **Professor F** ((53' 36"))*não tá em equilíbrio/ vamos supor* ***[OMITIDO - Professor E]****/ se todos os carros cinzas forem embora/ e chegarem todos os carros azuis/ mudou/ não tá em equilíbrio/* ((53' 43"))[...]/ ((53' 54")) **Professor H** ((01 00' 51"))*mas/ é.../ se um sistema em equilíbrio químico ele não perde nem ganha massa/ então/ não pode ter carro saindo nem carro entrando/ né(!?)/ para começar/ o que poderia ter aqui é uma troca/ vamos supor assim/ lataria./ metade da vermelha troca com a verde/ naquela linha que cê tava trabalhando/ então a trans./ aqui não tem transformação nenhuma/ aqui é mais um exemplo de fluxo/ igual o* ***[OMITIDO - Professor D]*** *mostrou ali/ tem carro que entra/ carro que sai/ carro que entra/ carro que sai/...* **Professor F**

	((01 01’ 20”))*e aí ó número de carros que está se permanecendo constante/ ele fala que é um equilíbrio dinâmico/ e aí/ a mesma coisa da vazão ali;* **Comparação B** **Professor B** ((49’ 07”))*então/ mas pareceria infantil/ o.../ então/ por exemplo/ eu fiz./ eu pensei aqui comigo/ qual que eu iria escolher/ pra eu apresentar(?)/ eu tenho dificuldade com os./ tanque/ porque é matéria nova que entra e matéria nova que sai/ a água não é a mesma/ então/ é a ideia de aberto/...* **Professor A** ((54’ 24”))*eu acho que a gente ia ter que falar mais limitações na C do que na A e na D;* **Professor D** ((53’ 33”))*isso que eu tô falando/ não é equilíbrio/ é um estado estacionário;* **Professor F** ((01 21’ 03”))*é.../ eu não usaria a B de jeito nenhum/ porque eu acho/ concordo com a [OMITIDO - Professor D]/ que ela é mecanisticamente errada/ porque o equilíbrio não tem nada de oposto/ a única coisa que é oposto/ entrando e saindo/ mas é um fluxo num único sentido/ se tivesse entrando aqui/ e entrando aqui/ aí seria o contrário/* ((01 21’ 19”))[...] ((01 22’ 06”)); **Comparação C** **Professor C** ((54’ 30”))*eu não gostei muito da C/ e nem o da pintura;* **Professor E** ((51’ 53”))*todas as situações/ sabe aquela/ um pouquinho que trabalha reversibilidade/ aliás/ embora todos dá para ter ideia de reversibilidade/ menos a do tanque/ é pro aprendiz ter uma noção do que que é o equilíbrio dinâmico/ isso é difícil/ porque o papel é parado/...* **Professor D** ((01 11’ 55”))*essa comparação C/ ninguém falou dela/ mas é porque ela é tão./ nojenta/ nojento/ sabe(?);* **Professor D**

	((01 19’ 58”))*porque eu acho ela/ grosseira/ entendeu(?)/ por quando fala aqui./ porque que não usa aqui o/ aquário/ peixinho/ tem que ser agradável/ a visão/ é mais simpática/...* **Comparação D** **Professor B** ((44’ 18”))*essa comparação do aquário aqui/ ela é mais próxima daquil./ inclusive na maioria dos livros clássicos/ né(!?)/ dois sistemas/* [inaudível] *com gazes/...* **Professor B** ((44’ 28”)) *a comparação D/ então/ ela tá mais próxima/ eu até gostei dela/ não conhecia/ e parece interessante/ né(!?)/ a pesar./ tem dois sistemas/ um é./ um tem maior número de peixe que o outro/;* **Professor B** ((01 11’ 49”)) **[[..]]** *em relação à elucidação/ do aspecto negativo/ entra vida/ então tem que convencer os peixinhos/ então/ eu falo assim/ gente os aluno./ os peixinhos são todos bem treinados/ eles só vivem em./ né(!?)/ eles/ eles não povoam demais um ponto/ e se o fizer assim/...* **Professor F** ((01 12’ 06”))*eu acho que ela/ tanto a da mosca quanto a do peixe/* ((01 12’ 09”))[...]/ ((01 12’ 12”))*tanto a da mosca quanto a do peixe tem a mesma/ é.../ ideia/ só que tem um problema grave/ no termo./ pelo menos ao meu ver/ em relação ao equilíbrio/ porque/ as moscas/ a princípio são todas moscas iguais/ uma coisa única/ e peixe é uma coisa única/ então/ pra lá ou pra cá/ mas isso não é A ou B/ isso não é cromato ou dicromato/ isso é peixe pra lá ou pra cá/ então para mim não tem nada a ver com analogia/ e com equilíbrio químico/...* **Comparação E** **Professor B** ((48’ 37”))*é/ os exemplos são bem-vindos/ eu gostaria de registrar isso/ que eles são muito bem-vindos/ e cada um desses autores/ buscou/ né(!?)/ na pintalândia lá/ né(!?)/ na imaginação dele/ ele buscou/ é./ eu tenho que adaptar/ minha linguagem/ porque eu não trabalho com alunos do ensino médio/ então não é a primeira vez que é apresentado para ele/ e se eu apresentasse uma coisa assim/ pareceria para mim infantil/ né(!?)/ então/ tem que tomar um cuidado/...* **Professor A**

	((54’ 46”))*é/ pra mim/ a questão até no meu nível médio/ lá/ também/ eu acho que eles iam achar bem infantil/ e.../ e/ a/ mesmo critério daqui/ se o sistema daí/ também/* **[[...]]** **Professor B** ((54’ 59”))*e ninguém sai pintando/ e despintan./ isso não existe;* **Professor C** ((55’ 09”))*bem/ eu não gostei;* **Professor B** ((55’ 12”))*eu acho que assim/ a palavra “pintalândia” com a “despintalândia” não me remete a nada/ de repente aqueles desenhos animados/ um vai lá e pinta/ me lembrou aquilo/;* **Professor C** ((56’ 04”))**[[...]]** ((56’ 09”)) [...]/ ((56’ 15”))*agora/ esse também eu não gostei não/...* **Mediador** ((01 13’ 14”))***[OMITIDO - Professor E]****/ você usaria alguma(?);* **Professor E** ((01 13’ 16”))*todas/ menos a da pintolândia lá;* **Professor H** ((01 36’ 18”))*porque ninguém despinta/ não existe esse negócio de despintar;*
2. Ressalvas acerca das analogias A, B, C, D ou E, feitas pelos professores	
	Professor B ((44’ 05”))*eu preferiria ensinar equilíbrio químico de forma tradicional/ do que tentar explicar isso;* **Professor C** ((44’ 46”))*eu acho que tem um./ uma segunda situação/ assim/ por exemplo/ quando eu vou fazer alguma comparação/ assim/ eu já coloco limitação/ na minha comparação/ porque.../...* **Professor C** ((45’ 00”))*por exemplo/ aquele da água ali/ da torneira/...* **Mediador**

	((45’ 03”))*da torneira/ comparação B;* **Professor C** ((45’ 06”))*certo/ eu acho que tem coisa legal/ e tem coisa ruim nele/...* **Professor C** ((45’ 11”))*eu acho que tem uma ideia legal/ me mostrar que o nível de água é constante/ que as moléculas estão se transformando/ transformando o tempo todo/ porque chega uma nova/ vai uma velha/ então/ isso/ eu acho legal/ mas por um lado/...* **Professor C** ((45’ 29”))*sim/ aí/ por outro lado/ tá chegando uma que não tava no sistema/...* **Professor C** ((45’ 35”))*é/ tá indo embora uma/ então/ isso/ eu deixo claro/ quando eu ensino equilíbrio/ eu deixo claro também/ que se eu tenho sistema/ envolvendo gás/ envolvendo vapor/ ele precisa tá fechado/ senão/ não vai ter equilíbrio nunca/ agora/ se eu tenho sistema com sólido e líquido/ não faz diferença nenhuma/ se esse sistema tá aberto/ se esse sistema tá fechado/porque o sólido que tá ali/ ele não vai pular do sistema e ir embora/ então eu acho que toda/ todas/ essas comparações elas têm um./ uma coisa legal/ e uma coisa ruim/ então esse daqui eu não li/ mas eu imagino que é isso mesmo/ ele quer mostrar a ideia da perturbação/* ((46’ 19”))[...]/ ((46’ 24”))*e aí/ nessa perturbação/ o que que está acontecendo(?)/...* **Professor B** ((46’ 27”))*é/ mas ele considera que o número de peixes é proporcional de um do outro/ né(!?)/ que/ considerando o aquário/ não seria/ né(!?)/ não seria necessariamente/* ((46’ 36”))[...]/ ((46’ 47”))*porque lá do exemplo do* ***[OMITIDO - Professor C]****/ tinha um controlador/ aqui não tem/ né(!?)/ eu tenho um pouco de dificuldade com esses exemplos/ principalmente quando eles garantem mais/ o aspecto físico/ que é algo que eu tento romper/ para ele entender/ o equilíbrio químico/ entendeu(!?)/ o dinamismo/ porque aqui/ o dinamismo/ ele é muito físico/ tá vendo(?)/ carrinhos/ é muito físico/.../ quando cê passa/ pro mundo da química/ é./ o mundo da química é mais imprevisível/ né(!?)/ o nosso colega lá* {o Professor B sinaliza para o Assistente}*/ é quase físico pra área dele/ mas a grande diferença de ensinar a química/ porque na matemática/ dois mais dois são quatro/ na química/ uma solução líquida incolor com outra solução líquida incolor/ dá um sólido vermelho/ precipitado/ então/ q./ foge completamente/ então/ eu acho que o nosso desafio/ é esse desprender/ do que físico/ do que é óbvio/ no*

	sentido assim é de tudo o que é óbvio no sentido assim/ ó/ dobrou o número./ dobrou o número de peixes/ no segundo aquário para o primeiro/ o fluxo ficou o mesmo/ ou os peixinhos se enamoraram e não foram de jeito nenhum/ entendeu(!?)/; **Professor B** ((49' 24"))*a comparação B/ ela dá muito ideia do aberto/ a/ ideia dos pintores pintando e despintando/ me parece muito infantil/ eu não gostaria de apresentá-la como proposta/ ela é a classificação./ a comparação E/ a proposta do/ dos carrinhos do estacionamento/ ela é interessante/ eu gostei mais do do* ***[OMITIDO - Professor C]****/ porque o shopping estava fechado/ então/ a ideia do estacionamento aberto/ então/ se isso aqui* {o Professor B sinaliza para a ilustração na lâmina da comparação A} *fosse a escadinha lá do* ***[OMITIDO - Professor C]****/ controlando pessoas do primeiro e segundo andar/ achei fantástica/ né(!?)/ ele não achou não/ mas eu achei fantástico/ a ideia do carrinho aqui é legal/ só que sempre recortando/ porque o estacionamento é aberto/ nem é uma garagem/ né(!?)/ é um estacionamento/ então/ se bem que tem uma cancela/ né(!?)/ tem alguém que paga/ tem horário/ de entrada e saída/...* **Professor A** ((53' 28"))*isso/ apesar/ que a do estacionamento é.../ acho que seria melhor/ fazer uma adaptação/ né(!?)/ que seria falar que era uma garagem/ como ela sugeriu/ talvez/ falando que é um espaço fechado/ eu gostei/ pro meu público/ eu acho que eles realmente entenderiam o que que é/ o equilíbrio/ e a do aquário/ acho que eles/ também entenderiam/ a questão do princípio de Le Chatelier/.../ as perturbações;* **Professor B** ((54' 07"))*eu acho que ela inclui/ porque/ por exemplo/ aqui/ inclui aspectos físicos/ e os químicos(*) que a gente quer fazer a analogia/ e aqui ainda tem os biológicos/ digamos assim/ as moscas/ eu acho que quando você precisa falar muito/ é porque o exemplo não é bom/ quando cê precisar/ olha/ pega o lixo/ considera isso/considera aquelas moscas/ considera que o sistema está fechado/...* **Professor C** ((55' 23"))*eu acho que/ a ideia da analogia/ é ajudar/ é permitir que o aluno/ associe à alguma coisa física/ porque eu acho que o início do aprendizado/ ele precisa disso/ no início do aprendizado de qualquer coisa/ né(!?)/ não necessariamente/ no infantil/ porque/ a química/ no ensino médio/ às vezes/ é o início do aprendizado/ então/ eu não gostei*

	do exemplo/ eu achei/ que cê tem que usar uma coisa/ que não remete nada; **Professor B** ((55' 51"))*e/ sobretudo/ tem que remeter a realidade dele/ por exemplo/ shopping/ é uma realidade/ talvez se eu tivesse/ na zona rural/ não usaria a palavra shopping/ né(!?)/ usaria no cercado de algum curral/* [inaudível] *para lá./ então/;* **Professor B** ((56' 18"))*e mesmo porque/ ela dependeria de muitas informações/ é/ eu gosto de exemplos simples/ assim/ por exemplo/ eu vou falar de/ o sal./ o sal/ cloreto de sódio é solúvel em água(!?)/ é/ todo mundo sabe que é/ porque o arroz não fica com fragmentos/ né(!?)/ de sal lá/ aí eu falei assim/ na hora que cê coloca a água no sal/ todo mun./ todo aluno/ pelo menos no nível que eu trabalho já fez isso/ na hora/ é solúvel(?)/ não(!)/ então fica esbranquiçado(?)/ fica(!)/por quê(?)/ porque tem um pouco de impureza/ então/ aquilo que você remete/ que ele já fez/ é mais fácil/ então assim/ eu já fiz isso/ quer dizer/ buscar a realidade/ próxima mesmo/ que a pessoa não precisa ficar imaginando/ traçando um cenário/ eu acho que/ tal./ para isso/ os carrinhos/ dentre elas/ os carrinhos da comparação A têm uma facilidade dos vi./ você movimentar/ e o aquário com um detalhe ou outro/ comparação D/;* **Professor B** ((01 00' 38"))*eu./ a expectativa/ que eu tenho do resultado/ é maior do que elas parecem/ oferecer/ porque eu tô pensando lá/ nas reações mais complexas/ aplicação/ e talvez seja essa a minha dificuldade/ dentre elas* **[[...]]***...* **Professor G** ((01 09' 34"))*o problema é que às vezes a gente olha assim uma comparação/ uma analogia/ não sei qual a diferença direito/ mas é.../ pro cê entender o equilíbrio num todo./ as vezes cê quer encaixar/ né(!?)/ com a analogia/ igual/ a gente tá olhando aqui/ né(!?)/ a gente/ cada um imagina ser adequada ou não/ e a gente não consegue/ é.../ pensar no equilíbrio como um todo/ dentro dessa analogia aqui/ cê só consegue pegar assim/ é.../ uma característica A do equilíbrio/ é.../ essa analogia aqui pode explicar o dinamismo/ sei lá/ entendeu(?)/ então você precisaria/ vamos supor/ de várias analogias para explicar o equilíbrio químico/ aí tem que ver a necessidade/ né(!?)/ da dificuldade do aluno/ é.../ porque como você tá lidando com aspectos microscópicos/ o aluno/...* **Professor B**

	((01 04’ 42”))*com certeza/ essa pro sist./ é./ a ideia do sistema aberto/ e essa aqui* {o Professor B sinaliza para a lâmina da comparação D}*/ a gente tá considerando/ que todos os peixes têm o mesmo comportamento/ e os peixinhos não nadam porque tem muito./ eles não são movidos em função do número/ né(!?)/ porque aqui/ leva a pensar isso/ né(!?)/ chegou lá/ ocupou o espaço/ é/ no caso aqui/ seis de cada./ seis desse lado aqui/ deu seis/ ele sai(?)/ não(!)/ ele vai pra onde quiser/ né(!?)/ então/ a gente/ só/ tem que lembrar disso/ por quê(?)/ porque a analogia tem alguma fragilidade/ né(!?);* **Professor B** ((01 06’ 33”))*vamos trocar o peixe por pessoas/ ontem eu cheguei no shopping/ tinha um tumulto de gente lá/ por quê(?)/ porque a pessoa desmaiou/ e todo mundo foi olhar/ só ia gente olhando/ só ia gente olhando/ eu imaginei/ deve ser uma superpromoção/...* **Professor B** ((01 06’ 46”))*eu falei assim/ deve ser uma superpromoção relâmpago/ nove horas da noite./ era uma pessoa desmaiada/ aí eu vi os./ né(!?)/ o pessoal do atendimento que./* [inaudível]*/ uai gente/ tô achando que é uma promoção/ então quer dizer./ qualquer coisa./ por quê(?)/ porque tem um ser humano que viu um/ corre atrás do outro/ e fim./ quer dizer/ é um comportamento que as moléculas não fariam dessa forma/ né(!?)/ só que esse é o sistema/ né(!?)/ mas é uma das fragilidades/ por ser um ser vivo;* **Professor F** ((50’ 25”)) **[[...]] [[comparação A]]** *talvez/ se ela fosse um pouco mais lapidada no sentido assim/ olha/ o amarelo e o vermelho estão atrelados de alguma maneira/ e o azul com o verde/ então sempre que sair./ entrar o verde/ vai formar./ vai sair o amarelo/ não sei/ tá estranho para mim essa ideia aqui/ qualquer um sai/ qualquer um chega/ é equilíbrio(!?)/ tem cores os carros aqui/...* **Professor E** ((51’ 53”))*todas as situações/ sabe aquela/ um pouquinho que trabalha reversibilidade/ aliás/ embora todos dá para ter ideia de reversibilidade/ menos a do tanque/ é pro aprendiz ter uma noção do que que é o equilíbrio dinâmico/ isso é difícil/ porque o papel é parado/...* **Mediador** ((52’ 05”))*a gente poderia dizer que a ênfase tá no caráter dinâmico do fenômeno(?);* **Professor E**

	((52' 11"))*isso/ aqui é para introduzir o assunto equilíbrio químico/ porque para falar sobre equilíbrio químico/ a gente não vai falar de cara de uma reação química/ então a gente tem que falar de equilíbrio/ o que que é o equilíbrio(?)/ é essa situação que parece que tá parado mas não tá/ tá em constante movimento/ e isso todas as analogias mostram bem/ elas podem ter um problema sim se não for bem trabalhado pelo professor de gerar uma concepção errônea/ concepção alternativa/ que eu tava começando a discutir com o [OMITIDO - Professor D]/ então/ as quatro situações que eu já conhecia e aquela ali que é nova/ eu acho que ilustra bem sim/ um processo./ processos totalmente dependentes da química/ para despertar no aprendiz uma curiosidade/ uma ideia nova/ e a ideia que vai ser trabalhada com o professor/ aí sim/ se não for bem trabalhada/ ele vai aprender errado/ mas é o equilíbrio dinâmico/ não o equilíbrio químico;* **Professor H** ((01 03' 44"))*Alexandre/ é um campo de estudo em aberto/ porque elas são muito mal construídas/ então tem que reanalisar/ e refazer;* **Professor F** ((01 11' 18"))*olha eu gosto de analogia./ gosto de analogia/ até comentei com você/ que eu uso algumas/ e os alunos mesmo propõe/ porque/ eu gosto muito de conversar com os alunos/ e eles mesmo propõe algumas e a gente reflete sobre/ durante a aula/ entretanto/ eu acho que nesse caso de estudo/ essas analogias são./ como o **[OMITIDO - Professor G]** aqui falou/ pontuais dentro de um assunto/ então ela não contempla o todo/ por isso/ que eu percebi/ que deve ser muito difícil conseguir uma analogia que comtemple tudo/ e por isso que eu não uso/ nesse assunto/...* **Professor G** ((01 13' 28"))*tô pensando aqui/ eu não/ eu não gostei de nenhuma ainda não;* **Professor D** ((01 24' 20"))*talvez essa A;* **Professor D** ((01 24' 24"))*é/ pode gerar mais./ mais fala dos alunos/ entendeu?/ inferências;* **Professor F**

	((01 24’ 30”))*concordo/ tanto que eu acho que dessas analogias aqui/ a que a gente pode lapidar melhor/ para chegar numa situação melhor/ é a./ é essa/;* **Professor H** ((01 25’ 19”))*essa da abelhinha./ da mosca/ do peixe/ serve para uma mudança física/ tipo uma sublimação/ do iodo/ serviria/ mas para uma transformação química/ já não fica adequada;* **Professor H** ((01 26’ 27”))*sabe como eu faria(!?)/ eu faria um pouco nessa daqui/ carrinhos de supermercados/ não tem o lugar lá onde você coloca os carrinhos(?)/ aí sim/ ele entra e sai/ entra e sai/ num total/ um pouco melhor/ isso aqui não/ esse carro vai embora/...* **Mediador** ((01 26’ 41”))*seria um ambiente fechado/ né(!?)/* ***[OMITIDO - Professor H]****(?);* **Professor H** ((01 26’ 43”))*é/ esse carro vai pegar estrada/ ele vai embora/...* **Mediador** ((01 26’ 46”))*aí é.../ seria um sistema aberto/ com perda de/;* **Professor H** ((01 26’ 49”))*é/ um sistema aberto/ com entrada e com saída/...* **Professor D** ((01 26’ 51”))*aí não tem equilíbrio mesmo;* **Professor H** ((01 26’ 53”))*não tem nada a ver com equilíbrio/ nem com o estado de equilíbrio/ nem com a noção de equilíbrio;* **Professor G** ((01 27’ 01”))*eu fiquei pensando assim/ né(!?)/ princípio de Le Chatelier/ por exemplo/ se aqui tivesse dois pintores/ e um despintor/ então quer dizer./ a estrada ia ficar mais pintada/ se deslocando/ ou a força dele/ não sei/ ou a velocidade dele/ ou dois/ sei lá/ alguma coisa assim/ aí a mesma coisa aqui das mosquinhas/ né(!?)/ vamos supor que essa lata de lixo aqui tem menos lixo/ é a comparação C/ tem menos lixo/ então vem menos moscas pra cá/ sei lá/ mas num sei./ né(!?)/ porque aí*

	no caso eu tô pensando que as mosquinhas e o lixo são reagentes ou produtos/ não sei se seria adequado; **Professor F** ((01 27' 46"))*com base nisso que você falou/ a pior analogia passa a ser a melhor;* **Mediador** ((01 27' 57"))*a pior passa a ser a melhor(?)/ vocês acham que ela é boa/ mas é difícil de ser entendida(!)/* **Professor E** ((01 27' 59"))*é/ difícil de ser entendida/ o conceito despintar não faz sentido;* **Professor G** ((01 28' 03"))*eu concordo/ ela é boa agora com o que a* ***[OMITIDO - Professor G]*** *falou/ a ideia de você trabalhar com número de quem pinta e quem despinta/ isso aí é bacana/ porque você tem a ideia/ de assim/ é.../ exato/ você tem lá mais gente pintando e menos gente apagando/ então/ o equilíbrio tá deslocando para quem tá pintando/ tá favorecendo a pintura/ é claro que quanto mais gente pintando/ maior vai ser a faixa pintada/ a estrada com faixa pintada/ então/ você está deslocado pro lado da pintura/ beleza/ até que é legal;* **Professor G** ((01 28' 33")) *e aqui no desenho tá até mostrando que/ parece que a pessoa é mais velha/ olha lá/ o outro é mais jovem/* ((01 28' 35"))[...]/ ((01 28' 44"))*eu falei que parece/ e aqui é a mesma coisa/ se você/ mexer aqui na vazão/ de entrada e saída/* ((01 28' 54"))[...]/ ((01 28' 55"))/; **Professor D** ((01 28' 57"))*parece que pro deslocamento do equilíbrio é mais fácil achar analogias/...* **Professor F** ((01 29' 00"))*isso;* **Professor D** ((01 29' 01"))*mas para o estado/ né(!?)/ a especificação do estado/* ((01 29' 06"))[...]/ ((01 29' 07")) *para caracterizar o estado do sistema/ dinâmico/ e ao mesmo tempo/ macroscopicamente/ falando/ parado/ é que eu acho que é mais difícil;*

	Professor E ((01 31’ 18”))*dá para adaptar/ isso que foi./ a* ***[OMITIDO - Professor G]*** *deu uma ideia brilhante para aquela do pintar e apagar/ ali/ então/ todas elas requerem/ sim/ um cuidado/ né(!?)/ essa do lixo/ ninguém falou [OMITIDO - Professor D]/ então/ eu vou falar dela/ ela tem uma ideia legal/ então/ se tiver mais lixo/ ela vai atrair mais a mosca que tava de um lado/ então/ dá para adaptar sim;* **Professor D** ((01 40’ 47”))*eu acho/ também/ né(!?)/ se você fosse usar uma analogia/ assim/ espontaneamente/ você buscaria algo relacionada ao contexto da pessoa/ né(!?)/ de vida da pessoa/...*
3ª sequência de perguntas do grupo focal	
1. Abordagens das analogias em diferentes níveis de ensino (médio ou superior)	
1.1. Diferenças nas abordagens que seriam feitas nos dois níveis de ensino.	**Professor C** ((01 02’ 31”))*não./ é./ pois é/ pensando no ensino médio/ que seria a primeira noção deles/ de equilíbrio/ eu achava/ na minha cabeça/ eu pensava assim/ se/ ele é capaz de entender a D/ ele vai ser capaz de entender qualquer outra/ e aí/.../ o tempo me ensinou/ que eu tenho que começar da A/ porque ele só vai chegar na D/ depois que a A tiver bem clara/ na cabeça deles;* **Professor B** ((01 13’ 31”))*eu acho que seria três momentos diferentes/ Alexandre/ no ensino médio/ onde o professor tem o desafio de apresentar/ eu fico imaginando/ que desafio/ né(!?)/ muito grande/ no ensino técnico ele/ não há diferença/ no./ a questão do conceito/ para mim não tem diferença nenhuma/ eu já dei aula nesses dois níveis/ ensinando o mesmo assunto/ então entender que o equilíbrio/ e o seu dinamismo/ todas as propriedades do equilíbrio químico/ os dois tem que saber/* ((01 13' 59")) [...]/ ((01 14' 06"))*a diferença/ para mim/ da graduação pro técnico/ são os cálculos/ o que/ e.../ um pouco mais de cálculo/ porque o conceito/ você não pode deixar/ senão ele erra no trivial/ então por exemplo/ eu já dei aula nos dois/ por exemplo/ quando eu./ quando eu faço./ trabalho lá com a questão da constante/ na graduação/ eu trabalho com atividade/ força iônica/ então coisas que no técnico você não precisa de falar;* **Professor B** ((01 14’ 39”))*eu empregaria a do aquário/ nos dois níveis;*

	Professor A ((01 14' 41"))*eu também empregaria nos.../ três níveis/ seja um nível médio sem ser técnico/ seja no técnico/ seja na graduação;* **Professor C** ((01 14' 47"))*talvez/ eu./ eu não sei/ mas talvez na graduação/ esse daqui* {o professor se sinaliza para lâmina com a comparação A} *seja mais/ trivial/ talvez desnecessário/...* **Professor C** ((01 15' 02"))*só abordagem D/ eu acho que esse aqui* {o professor C sinaliza para lâmina com a comparação A} *é o primeiro momento/.../;* **Professor C** ((01 15' 17"))*não./ tem que ser/ um pouco diferenciado/ porque ainda que você não deu/ a abordagem diferenciada/ o empreendimento vai ser/ porque a maturidade do aluno é diferente;* **Mediador** ((01 31' 38"))*ótimo/ as últimas perguntas/ agora/ já na terceira sequência/ na terceira etapa aqui da dinâmica/ para vocês haveria alguma diferença na abordagem do conteúdo em questão/ que é o equilíbrio químico/ ao ensiná-lo ora no curso técnico ora no bacharelado(?)/ ou a abordagem de vocês/ cês acham que é praticamente a mesma(?)/ se você tiver que ensinar no ensino superior ou se você que trabalha no ensino superior tiver que ensinar no técnico;* **Professor D** ((01 32' 09"))*é diferente;* **Professor H** ((01 32' 10"))*totalmente diferente;* **Mediador** ((01 32' 11"))*muito diferente(?);* **Professor D** ((01 32' 12"))*muito diferente;* **Professor H** ((01 32' 13"))*muito diferente;* **Professor D**

	((01 32' 18"))*a principal coisa eu acho que é o conceito de concentração e atividade/ né(!?)/ e entrar mais no/;* **Professor H** ((01 32' 30"))*para mim/ a principal mudança/ seria até/ a termodinâmica/ porque na graduação o estudo se baseia na termodinâmica/ no técnico mais cinética;* **Professor D** ((01 32' 52"))*não tem como ser/ a abordagem não pode ser./ a abordagem/ pelo menos a que eu faço no curso técnico/ ela é a mais./ é a simplificada/ né(!?)/ ou seja/ porque o objetivo não é.../ é a aplicação/ tô falando do técnico/ técnico/ é a aplicação daquele equilíbrio químico/ para resolver os problemas/ é.../ no caso/ da disciplina de análise química/ tá certo(?)/ da química analítica/ num é um entendimento mais aprofundado do que seja equilíbrio químico/ agora na graduação não/ tem que ir fundo/ tem que entender o sistema termodinamicamente falando/ se bem que eu achava que a gente devia abordar também no ensino médio/ termodinamicamente/...*
1.2. Razões para o emprego das analogias nos dois níveis de ensino	**Professor A** ((01 16' 50"))*realmente/ o nível médio identificar/ as limitações pro conteúdo/ já seria mais limitado/ agora/ na graduação/ uma vez que eles já têm um pouco de conhecimento do que o./ o que é equilíbrio/ eles vão além;* **Professor B** ((01 17' 04"))*eles vão além/ eu acho que você conseguiria/ eu acho que seria uma estratégia muito interessante/ porque quando você pede para fazer críticas/ eles são bem afiadinhos/ então/ existe uma facilidade nisso/ eu acho que seria/ quem sabe eu vou usar/ né(!?);*
Outras falas importantes para a pesquisa	
Professor C ((41' 39"))*eu não sei/ Alexandre/ se tem a mais adequada/ porque eu acho que a aula vai sendo conduzida/ assim/ é/ eu não quero dizer que a gente não prepara a aula/ em hipótese alguma/ mas/ cê depara com/ algumas coisas/ e ali/ cê precisa de um segundo exemplo/ então/ eu acho que vai complementando/;* **Professor C** ((47' 47"))*sabe o que que eu percebo/ eu percebo que o menino/ ele só começa a dar sentido às coisas/ quando na cabeça dele/ ele acha uma coisa física/* ((47' 57"))[...]/ ((47' 58"))*mais simples/ então/ não adianta/ eu tentar* [inaudível]*/...*	

Professor C

((48' 12"))*sim/* ((48' 13"))[...]/ ((48' 15"))*ele não dá conta/ de pensar numa coisa/ só pelas ciências/ assim/ só pela ciência/ pela fundamentação/ pelos modelos./ pelos modelos que ilustram/ de fato/ o sistema/ então/ se ele não tem uma./ uma coisa/ que remete a algo físico/ ele apropria;*

Professor C

((01 03' 44"))*alguns/ fazem com as nossas analogias/ que a gente usa com eles/ e outras/ fazem entre eles/ sabe por quê(?)/ porque eu já percebi aluna./ aluno bom/ o aluno bom/ entendeu/ e aí/ o colega dele/ não entendeu/ e aí/ ele fala assim/ você não falou que o menino falou/ em nenhum momento/ cê usou aquele exemplo/ aí ele fala assim/ pensa nisso/ e aí/ o colega entende/ aquele pensa nisso/ é a analogia que ele fez/ com alguma coisa dele/ não foi o que eu falei/ mas o que eu falei/ possibilitou a ele/ chegar no mundo dele/ e ele compartilhou o mundo dele/ com o colega dele/ sem que eu nem soubesse/ então/ eu penso/ que todos eles estabelecem essas conexões;*

Professor B

((01 16' 00"))*eu acho que/ no ensino superior/ né(!?)/ na graduação/ eu apresentaria o tema/ com as suas/ o.../ o tema equilíbrio químico/ e com este* {o professor B sinaliza para lâmina da comparação D} *desenho/ eu faria a pergunta que você nos fez/ que é/ levantar o que é/ né(!?)/ o que realmente é positivo/ o que que tem a ver com equilíbrio/ e.../ e as críticas/ né(!?)/ o sentido/ as fragilidades apresentadas/ uma coisa que a gente faz muito/ no ensino de graduação/ é que o aluno consiga/ além de verificar/ além de entender/ que ele já consiga/ fala assim/ ó/ não é bem assim/ eu acho que isso viria até naturalmente;*

Professor C

((01 17' 19"))*achei/ muito bacana a proposta da crítica/* ((01 17' 22")) [...]/ ((01 17' 27"))*se ele é capaz de vê críticas a esse modelo/ significa que ele realmente apropriou do conceito;*

Professor F

((50' 06"))*a minha primeira impressão/ até falei aqui com o [OMITIDO - Professor D]/ a minha primeira impressão/ é que nenhuma dessas situações eu usaria/ porque(?)/ porque eu não acho que isso aqui é uma situação de equilíbrio químico(!)/...*

Professor H

((56' 59"))*eu só acho que para a gente ensinar um assunto a gente tem que procurar entender ele bem primeiro/ e/ equilíbrio químico é um assunto muito difícil para a gente saber/ mais difícil ainda para a gente ensinar/ num é(?)/...*

Professor H

((57' 23"))**[[...]]** *mas a questão do equilíbrio químico/ como eu sempre aprendi/ eu acho que todo mundo aqui/ é/ tomando o referencial da cinética/ e hoje os estudiosos tão*

falando para a gente não trabalhar equilíbrio químico a partir da cinética/ trabalhar o equilíbrio químico a partir da termodinâmica/ e cinética só complementar/ é uma alternativa/ né(!?)/ então/ para a gente trabalhar a partir da termodinâmica/ então/ por que(?)/ se você ensina a partir da cinética/ você ensina muito fragmentado/ muito localizado/ o aluno não entende/ eu lembro quando fui estudar isso no Castelan/ na universidade/ falava assim/ eu achava que eu sabia tudo de equilíbrio químico/ eu sabia o princípio de Le Chatelier/ no técnico usava toda hora/ acertava as questões/ aí começava a explicar assim/ porque a água desce e não sobe/ nos cursos d'água/ porque a maçã cai da árvore pro chão/ não cai do chão pra a árvore/ e começava a fazer uns estudos mais termodinâmicos/ né(!?)/ então/ a recomendação é tratar o equilíbrio químico dentro das transformações naturais/ gerais/ como/ uma reação química como uma das transformações da natureza/ como um todo/ e isso quem dá conta de fazer é a termodinâmica/ bom/ mas o que eu posso falar do equilíbrio/ é aquilo da forma como eu fui conduzida a estudar/ com base na cinética/ então/ o equilíbrio químico/ um sistema químico./ né(!?)/ o equilíbrio não é da reação/ é dum sistema/ é aquela porção de material que você põe no frasco/ você vai dizer que/ esse sistema atingiu um estado/ chamado estado de equilíbrio/ quando algumas condições são replicáveis/...

Professor F

((01 03' 30"))*mas isso não é uma analogia/ isso que o* ***[OMITIDO - Professor H]*** *falou/ isso aí é.../ não./ eu não sou contra analogia/ mas essas aqui/ nenhuma me agrada/* ((01 03' 39"))[...]/ ((01 03' 42"));

Professor E

((01 16' 09"))*eu acho essa aqui do tanque boa/...*

Mediador

((01 16' 11"))*a do tanque(?)/ a comparação B;*

Professor H

((01 16' 13"))*cê continua achando ela boa(?);*

Professor E

((01 16' 14"))*como introdução/ como introdução do assunto/ na primeira aula de equilíbrio químico/...*

Professor H

((01 16' 16"))*mas com o objetivo de ensinar o que com isso?;*

Professor E

((01 16' 18"))*equilíbrio dinâmico/...*

Professor H

((01 16' 19"))*não/ o que que você quer mostrar(?);*

Professor E

((01 16' 20"))*mostrar que o sistema não tá parado/...*

Professor H

((01 16' 22"))*mas cê tem que mostrar que o sistema não perde e nem ganha massa/ porque que essa é boa(?);*

Professor E

((01 16' 25"))*e ele mostra isso;*

Professor H

((01 16' 27"))*isso mostra isso(?);*

Professor D

((01 16' 28"))*ele tá ganhando e perdendo massa;*

Professor H

((01 16' 29"))*ele tá ganhando e perdendo massa;*

Professor F

((01 16' 30"))*ganhando e perdendo e mantendo constante./ o volume tá constante;*

Professor E

((01 16' 34"))*mas gente/ o objetivo não é esgotar o assunto de equilíbrio químico/ é dar uma noção de equilíbrio dinâmico;*

Professor H

((01 16' 40"))*eu acho que é uma noção equivocada;*

Professor F

((01 16' 42"))*equivocada/ por causa do que o* ***[OMITIDO - Professor D]*** *falou/ o mecanismo disso não é o mecanismo./ que o* ***[OMITIDO - Professor H]*** *falou/ é duas ações opostas/ e isso aí não é oposto/ é oposto no sentido de entra e sai/ mas o fluxo é único/ sentido único;*

Professor F

((01 29' 18"))*eu gostaria até de falar isso/ para ressaltar/ né(!?)/ para me despedir/ porque eu preciso ir/ já tô até atrasado/ gostei tanto da discussão aqui/ que tô até atrasado/ mas a questão é a seguinte/ o dia que a gente conseguir uma analogia macroscópica que dê uma ideia de transformação/ as coisas/ talvez/ comecem a ficar mais fáceis/ talvez/ me passou aqui na cabeça aqui/ uma coisa de./ por exemplo/ uma vestimenta/ uma vestimenta pode ser usada num equilíbrio/ por exemplo/ você tem lá várias pessoas/ e tem/ é.../ várias/ sei lá/ camisas de cores diferentes/ num sei/ e aí as pessoas vão trocando de camisa/ não sei o quê./ como lapidaria essa ideia não/ mas tem*

que ter alguma coisa que leva a transformação/ o Alexandre está de vermelho/ agora ele está de azul/ porque peixe não vai mudar de cor do nada/ não sei se camaleão poderia mudar/ entendeu(!?)/ pode/ mas aí tem uma interferência externa/ então/ tem/ o que falta nas analogias é algo que leve a transformação/ porque/ é isso que a gente tem que entender/ o H_2 e o I_2 vão reagir e transformar no HI/ então mudou/ é uma coisa que virou outra/ e aí/ se essa analogia puder ser feita/ aí o aluno tem como fazer essa analogia real/ no equilíbrio químico/ não apenas no dinâmico/ que eu acho que o dinâmico é muito pobre/ é uma parte do equilíbrio químico/ que é muito importante/ mas é uma parte/ então vou me retirar/ agradeço o convite/ obrigado/ ((01 30' 46”))[...]/ ((01 30' 51”)); {o Professor F precisou se retirar devido a um compromisso marcado anteriormente, contudo, não solicitou que sua fala, até o momento, fosse retirada do Grupo Focal}

Professor H

((01 33' 39”))*termodinamicamente/ esse artigo que eu trouxe fala exatamente isso;*

Professor D

((01 33' 40”))*aliás/ eu já vi no livro/ do/ do/ Duzão(*)/ essa abordagem/ e ela não é difícil/ aliás/ eu acho muito mais fácil entender equilíbrio químico/ quando cê usa a termodinâmica/...*

Professor H

((01 33' 52”))*é o que eu disse/ quando cê ensina do modo certo duma vez/ é mais fácil/ do que por paliativos/ mas acontece que nem todo estudante tem paciência/ para ir a fundo/ né(!?)/ naquele/ que eu tô chamando de certo;*

Professor D

((01 34' 05”))*eu até pensei em começar assim/ no próximo semestre/ falar um pouco do equilíbrio químico para uma turma/ com abordagem termodinâmica/ rapidamente assim;*

Apêndice V – Declaração de Anuência

CEFET-MG

DECLARAÇÃO DE ANUÊNCIA DA INSTITUIÇÃO

Eu, Gilmer Jacinto Peres, Diretor do Campus I **[cargo que ocupa na instituição], RG Nº** [redacted], **CPF Nº** [redacted], AUTORIZO **Wilbert Viana Barbosa,** RG [redacted], CPF [redacted], mestrando em Educação Tecnológica, sob matrícula Nº: 20175002901 e **Alexandre da Silva Ferry**, RG: [redacted] CPF: [redacted], Orientador e Professor no Programa de Pós-Graduação em Educação Tecnológica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), a realizarem grupos focais com 10 professores de Química atuantes na Educação Profissional e Tecnológica em Química desta instituição, para a realização do Projeto de Pesquisa intitulado: **ANÁLISE DA SISTEMATICIDADE DE ANALOGIAS EM CONTEXTOS DE ENSINO E DE PESQUISA NA EDUCAÇÃO EM CIÊNCIA**, que tem por objetivo primário contribuir para a compreensão das características estruturais das analogias, especialmente da sistematicidade, no contexto de ensino e de pesquisa na Educação em Ciências.

Os pesquisadores acima qualificados se comprometem a:

1. Iniciarem a coleta de dados somente após o Projeto de Pesquisa ser aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos.
2. Obedecerem às disposições éticas de proteger os participantes da pesquisa, garantindo-lhes o máximo de benefícios e o mínimo de riscos.
3. Assegurarem a privacidade das pessoas citadas nos documentos institucionais e/ou contatadas diretamente, de modo a proteger suas imagens, bem como garantem que não utilizarão as informações coletadas em prejuízo dessas pessoas e/ou da instituição, respeitando deste modo as Diretrizes Éticas da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, nos termos estabelecidos nas Resoluções CNS Nº 466/2012 e CNS Nº 510/2016, e obedecendo as disposições legais estabelecidas na Constituição Federal Brasileira, artigo 5º, incisos X e XIV e no Novo Código Civil, artigo 20.

Belo Hte, 28 de agosto de 2018

(Assinatura e carimbo do Responsável pela Instituição)

Prof. Gilmer Jacinto Peres
SIAPE 1732613 - CEFET-MG
Diretor do Campus I

Anexo I – Comparação A

AMTEC
GRUPO DE PESQUISAS EM METÁFORAS, MODELOS E ANALOGIAS NA TECNOLOGIA, NA EDUCAÇÃO E NA CIÊNCIA

Mapeamento Estrutural de Analogias para o Ensino de Química

Prof. Dr. Alexandre Ferry

GEMATEC
Grupo de Estudos em Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência

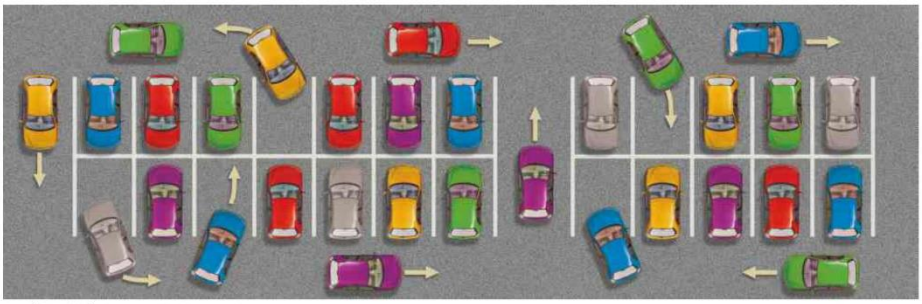
COMPARAÇÃO A

1 Equilíbrio dinâmico

No **equilíbrio dinâmico** o objeto ou fenômeno em estudo está sempre em constante movimento. Existem duas ou mais ações que ocorrem em sentidos opostos ininterruptamente. A situação de equilíbrio é atingida quando as **taxas de desenvolvimento** dessas ações se igualam.

Para entender o que isso significa, podemos fazer a seguinte analogia: imagine o estacionamento de um grande centro de compras no fim de semana que antecede o Natal. As vagas do estacionamento estão todas ocupadas, porém há pessoas que já fizeram compras e estão indo embora, enquanto outras estão chegando e circulando com o carro à procura de uma vaga. À medida que uma pessoa desocupa uma vaga e vai embora, imediatamente outra pessoa estaciona o carro e ocupa a vaga.

Paulo Manzi/Arquivo da editora



Equilíbrio dinâmico no estacionamento

Essa situação se repete continuamente ao longo de todo o dia. Se for constatado que os dois fenômenos – pessoas indo embora e pessoas chegando – ocorrem com a mesma taxa de desenvolvimento, teremos um exemplo de equilíbrio dinâmico.

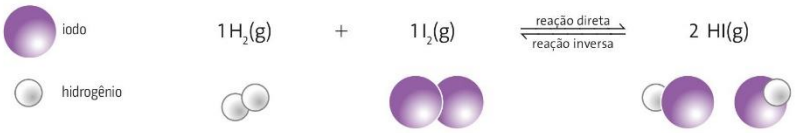
Muitas reações químicas, em determinadas condições, são reversíveis, ou seja, ao mesmo tempo que os reagentes se transformam nos produtos (reação direta), os produtos se transformam nos reagentes (reação inversa).

Quando as taxas de desenvolvimento das reações direta e inversa se igualam, a reação entra em **equilíbrio dinâmico**.

As ilustrações estão fora de escala. Cores fantasia.

Um exemplo é a reação entre gás hidrogênio e gás iodo feita em recipiente fechado. Os reagentes produzem gás iodeto de hidrogênio, cujas moléculas, em determinado momento, começam a reagir entre si formando novamente gás hidrogênio e gás iodo.

Reações reversíveis como essa são representadas por uma dupla seta, que indica a reação direta e a reação inversa.



Banco de imagens/Arquivo da editora

As esferas apresentadas são um modelo, não possuem existência física real. O tamanho dos átomos está fora de escala, e as cores são apenas ilustrativas.

176 Capítulo 8

ONSECA, Martha Reis Marques da. Química: ensino médio. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

Anexo II – Comparação B

AMTEC
GRUPO DE PESQUISAS EM METÁFORAS, MODELOS E ANALOGIAS NA TECNOLOGIA, NA EDUCAÇÃO E NA CIÊNCIA

Mapeamento Estrutural de Analogias para o Ensino de Química

Prof. Dr. Alexandre Ferry

GEMATEC
Grupo de Estudos em Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência

A situação de equilíbrio

Imagine certa quantidade de água contida em um tanque fechado e em temperatura constante. A quantidade de água pode manter-se constante nas duas situações descritas a seguir.

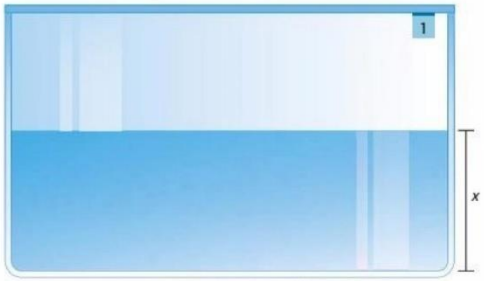
Se não retirarmos água do tanque nem acrescentarmos mais água à já existente, o nível desse líquido permanecerá constante. Nesse caso, teremos um **equilíbrio estático**, e a água contida no tanque será sempre a mesma.

Mas e se uma torneira verter água em um tanque, de modo que, a cada minuto, o volume de líquido que chega a ele seja idêntico ao volume de água que escoa pelo ralo existente no fundo do tanque?

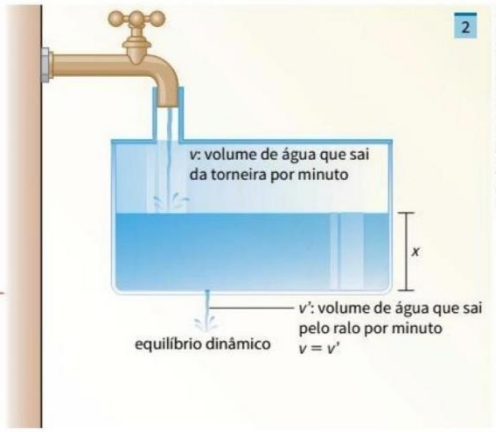
No caso, a quantidade de água no interior do tanque também permanecerá constante ao longo do tempo; porém, nesta segunda situação, teremos um **equilíbrio dinâmico**, e a água contida no tanque será constantemente renovada. Embora as unidades moleculares que constituem o líquido sejam invisíveis, é razoável supor, pelo que estudamos até aqui, que o total de moléculas que constituem a água do interior do tanque permaneça constante, pois o número de moléculas que chega ao tanque por minuto deve ser idêntico ao que sai dele pelo ralo.

Em resumo, nos dois exemplos, o nível do líquido no tanque não varia; porém, em um caso, o equilíbrio é estático e, no outro, dinâmico.

Ilustrações produzidas para este conteúdo. Cores fantasia, sem escala.



equilíbrio estático



equilíbrio dinâmico

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA

Os esquemas representam duas situações de equilíbrio: 1) **equilíbrio estático** – a água que permanece no interior de um tanque fechado; 2) **equilíbrio dinâmico** – depósito cuja quantidade de água que chega por minuto é idêntica à que escoa pelo ralo.

COMPARAÇÃO B

IOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; ANTUNES, Murilo Tissoni. Vivá: química: ensino médio. v. 2. Curitiba: Positivo, 2016.

Anexo III – Comparação C

AMTEC
GRUPO DE PESQUISAS EM METÁFORAS, MODELOS E ANALOGIAS NA TECNOLOGIA, NA EDUCAÇÃO E NA CIÊNCIA

Mapeamento Estrutural de Analogias para o Ensino de Química

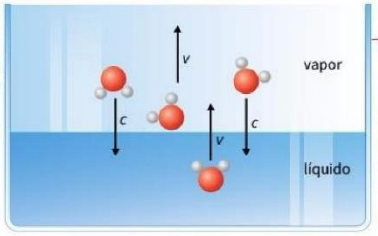
Prof. Dr. Alexandre Ferry

GEMATEC
Grupo de Estudos em Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência

COMPARAÇÃO C

Do ponto de vista submicroscópico, esse processo poderia ser assim representado:

ADILSON SECCO/ARQUIVO DA EDITORA



Ilustrações produzidas para este conteúdo. Cores fantasia, sem escala.

Na figura está representada a situação de equilíbrio vaporização-condensação. Com a utilização de modelos moleculares, ilustra-se que o número de moléculas que deixa o líquido é igual ao número de moléculas que volta a ele. O modelo é coerente com a constância de propriedades macroscópicas do sistema, situação em que o nível do líquido e a pressão de vapor não mais se alteram (pressão a 20 °C: 17,5 mmHg).

Para que você possa entender melhor esse processo, vamos recorrer novamente à analogia envolvendo moscas e lixo.

PAULA FAJARDO/ARQUIVO DA EDITORA

A figura representa uma grande caixa transparente e fechada com duas lixeiras e algumas moscas; como uma das lixeiras está virada, o conteúdo se espalha, e as moscas se aglomeram em torno do lixo.

Como você pode observar, as moscas representadas na figura são atraídas na direção do lixo derramado.

Mas o que acontecerá se a outra lixeira também virar nas proximidades da primeira?

PAULA FAJARDO/ARQUIVO DA EDITORA

Quando a outra lixeira é virada, as moscas começam a se deslocar da lixeira que já estava virada em direção à que acabou de virar. No início, o número de moscas que se deslocam para o lixo recém-esparramado é maior que o número de moscas que se deslocam em sentido contrário.

Repare que as moscas começam a dirigir-se ao local onde o lixo acabou de se espalhar. O número de moscas tende a decrescer na região próxima da primeira lixeira e a crescer no entorno da segunda.

Observação:
Nessa situação hipotética, não estamos levando em conta como as moscas, seres vivos, se comportariam na prática. Nosso único objetivo é que você compreenda que, quando a segunda lixeira vira, uma suposta situação de equilíbrio dinâmico será alterada. Embora após esse fato as moscas continuem moscas e o lixo continue lixo, podemos pensar sobre essa situação e compreender o que acontece em sistemas em que novas substâncias se formam.

O que pode acontecer se o processo continuar? Imagine que se atinja uma situação hipotética de equilíbrio: como ela se daria? O equilíbrio teria de ser dinâmico, já que as moscas continuam a se movimentar, isto é, continuam a sair de uma das porções de lixo e chegar à outra; nesse caso, o número de moscas em cada porção se torna constante, porque o número desses insetos que saem de uma porção é igual ao número de moscas que voltam.

PAULA FAJARDO/ARQUIVO DA EDITORA

Cores fantasia, sem escala.

A figura representa o processo em que moscas se deslocam entre duas porções de lixo. Em uma situação de equilíbrio, as moscas são atraídas para cada uma das superfícies em velocidades iguais. Já a quantidade de insetos em cada superfície não será necessariamente a mesma. Por exemplo, se uma das porções de lixo for maior, haverá maior concentração de moscas sobre ela.

Não se esqueça de que aqui estamos nos valendo de uma analogia, associando o que poderia acontecer quando moscas interagem com lixo a um processo invisível, de transformação química, em nível molecular, que conduz a uma situação de equilíbrio.

JOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; ANTUNES, Murilo Tissoni. Vivá: química: ensino médio. v. 2. Curitiba: Positivo, 2016.

Anexo IV – Comparação D

AMTEC
GRUPO DE PESQUISAS EM METÁFORAS, MODELOS E ANALOGIAS NA TECNOLOGIA, NA EDUCAÇÃO E NA CIÊNCIA

Mapeamento Estrutural de Analogias para o Ensino de Química

Prof. Dr. Alexandre Ferry

GEMATEC
Grupo de Estudos em Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência

COMPARAÇÃO D

Influindo na situação de equilíbrio

Para auxiliá-lo na compreensão do que ocorre quando se interfere na situação de equilíbrio, acompanhe o exemplo a seguir, que supõe um sistema em **equilíbrio dinâmico**.

Imagine um aquário com 11 peixes (figura superior ao lado). Os peixes estão constantemente passando do compartimento da esquerda para o da direita, e vice-versa. Nessa condição de equilíbrio, o número de peixes em cada parte do aquário se mantém constante: 3 à esquerda, 6 à direita e 2 na conexão que une as duas partes.

Suponha agora que se acrescentem 11 peixes do lado esquerdo, mantendo-se as quantidades de alimento e oxigênio e a temperatura adequadas à vida.

O equilíbrio anterior será perturbado, e o sistema buscará uma nova situação de equilíbrio. Como haverá disputa por alimento, espaço e oxigênio, a tendência é que, inicialmente, passem mais peixes da esquerda para a direita do que da direita para a esquerda, até que um novo equilíbrio se estabeleça.

Embora essa seja uma nova situação de equilíbrio, diferente da anterior – no compartimento menor, passamos de 3 para 6 peixes e, no maior, de 6 para 12 (figura inferior ao lado) –, a relação entre o número de peixes do lado direito e o número de peixes do lado esquerdo permanece a mesma. Além disso, por se tratar de uma situação de equilíbrio dinâmico, análoga à anterior, o número de peixes que vão da esquerda para a direita é igual ao número de peixes que fazem o percurso inverso, no mesmo intervalo.

Evidentemente, o equilíbrio inicial poderia ser rompido de outras maneiras, por exemplo, acrescentando-se mais alimento em um dos lados do aquário; mas, apesar dessa alteração, o sistema poderia chegar a uma nova situação de equilíbrio.

Vale relembrar que a situação descrita é hipotética, uma vez que peixes, sendo seres vivos, poderiam não se comportar exatamente dessa forma. O que se pretendeu foi fazer uma analogia que ajude a compreender o que ocorre em dimensões bem diferentes, no nível molecular, conforme veremos ao estudar o princípio de Le Chatelier.

Cores fantasia, sem escala.

No aquário hipotético representado acima a distribuição dos peixes no espaço é, aproximadamente, constante: o número de peixes que passam para o lado esquerdo é igual ao número de peixes que vão para o lado direito. Essa situação de equilíbrio é dinâmica porque os peixes estão continuamente mudando de lado.

Cores fantasia, sem escala.

Mesmo com mais peixes, o número de peixes que passam da esquerda para a direita é, em média, igual ao número de peixes que vão da direita para a esquerda. Essa situação é análoga à do equilíbrio químico, em que a velocidade da reação no sentido direto é igual à velocidade da reação no sentido inverso. Repare que a relação do número de peixes nas duas partes do aquário é a mesma nos dois exemplos: $\frac{3}{6} = \frac{6}{12}$.

NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; ANTUNES, Murilo Tissoni. Vivá: química: ensino médio. v. 2. Curitiba: Positivo, 2016.

Anexo V – Comparação E

AMTEC
GRUPO DE PESQUISAS EM METÁFORAS, MODELOS E ANALOGIAS NA TECNOLOGIA, NA EDUCAÇÃO E NA CIÊNCIA

Mapeamento Estrutural de Analogias para o Ensino de Química

Prof. Dr. Alexandre Ferry

GEMATEC
Grupo de Estudos em Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência

Analogia do pintor e do "despintor"

Figura 2: Um dos habitantes de Pintalândia decide pintar a linha da estrada de 100 metros que conecta o seu povoado com o de Despintalândia, o povoado dos peritos removedores de pintura. O desajeitado pintor começa a linha, mas deixa a lata com a pintura no seu povoado, no lugar onde começa a linha. Por causa disso, cada vez que a broxa seca, ele deve voltar atrás, até a lata, para encharcá-la. Então volta para a linha e continua pintando. Enquanto isso, um despintor, do outro povoado, pega uma esponja com removedor de pintura, caminha até o extremo da linha recém-pintada e começa a removê-la, desfazendo parcialmente o trabalho do pintor. Este despintor é tão desajeitado quanto o pintor, pois cada vez que o removedor acaba, ele deve voltar para seu povoado para molhar novamente sua esponja, para voltar para o extremo da linha e seguir removendo a pintura. Qual é o final da história? Como muda a distância da linha pintada com o tempo?

GARRITZ, A. The painting-sponging analogy for chemical equilibrium. *Journal of Chemical Education*, 74(5), 544-545, 1997.

COMPARAÇÃO E