



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

JOSIANE LETÍCIA HERNANDES

**LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS
UTILIZADAS NO ENSINO DE QUÍMICA**

JOSIANE LETÍCIA HERNANDES

**LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS
UTILIZADAS NO ENSINO DE QUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú

Londrina
2023

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

H5571 Hernandes, Josiane Letícia.
Leitura Semiológica de Analogias Pictóricas Utilizadas no Ensino de Química /
Josiane Letícia Hernandes. - Londrina, 2023.
205 f. : il.

Orientador: Carlos Eduardo Laburú.
Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) -
Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-
Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Analogias Pictóricas - Tese. 2. Multimodalidade Representacional - Tese. 3.
Semiologia - Tese. 4. Ensino de Química - Tese. I. Laburú, Carlos Eduardo. II.
Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de
Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 37

JOSIANE LETÍCIA HERNANDES

**LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS UTILIZADAS
NO ENSINO DE QUÍMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo Laburú
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dra. Ana Paula Hilário Gregório
Instituto Federal do Paraná – IFPR

Prof. Dr. Enio de Lorena Stanzani
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
UTFPR

Prof. Dra. Fernanda Frasson
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dra. Keila Tatiana Boni
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 10 de fevereiro de 2023.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de exprimir meus agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, me auxiliaram e estiveram comigo durante a jornada desafiadora que é o curso de doutorado.

A Deus, por estar comigo em todos os momentos, por me dar saúde e sanidade, por me sustentar e ser meu amparo e por colocar tantas pessoas boas em meu caminho. Obrigada por tudo e por tanto!

Ao meu orientador, Professor Doutor Carlos Eduardo Laburú, pelos ensinamentos, pelo apoio que nunca faltou, pela dedicação, disponibilidade e por todo incentivo que, sem dúvida, foi fundamental para eu concluir esta etapa da vida. Sou grata por seu exemplo como profissional e pesquisador, pela relevância das suas contribuições acadêmicas e por ter aceitado me orientar desde o mestrado. É realmente um privilégio e uma honra ter sido orientada por você!

Às Professoras Doutoras Ana Paula Hilário Gregório, Fernanda Frasson, Keila Tatiana Boni e ao Professor Doutor Enio de Lorena Stanzani por terem aceitado compor a banca examinadora da minha tese, por suas correções, sugestões e valiosas contribuições. Uma vez ouvi de alguém que o bem mais precioso que uma pessoa pode dedicar a outra é o seu tempo. Então, obrigada também pelo tempo dedicado por vocês!

Aos meus pais, Silvia e Ednei e ao meu irmão Mateus, pelo apoio e amor incondicional. Obrigada por todo incentivo e por todas as orações! As minhas também estão sempre direcionadas a vocês!

Aos meus amigos, por estarem sempre comigo e se fazerem presente mesmo na ausência física na fase final do doutorado. Obrigada pela amizade e por deixarem tudo mais leve!

Aos colegas do grupo de pesquisa, pela troca de conhecimentos acadêmicos, por todas as contribuições e pela torcida. Obrigada por compartilharem comigo esse momento! Agradeço de forma especial à Ana, que acompanhou esta tese do início ao fim. Obrigada pelo incentivo à ideia, pelas sugestões, leituras, por tantas vezes ouvir meus desabafos e me apoiar! Você está comigo desde a graduação e fico realmente feliz pelo doutorado ter estreitado ainda mais nossa amizade! Também agradeço particularmente à Fernanda, com quem compartilhei boa parte dos seis anos entre mestrado e doutorado. Obrigada por cada valioso comentário durante

as frequentes apresentações, pelas trocas das experiências na pós-graduação e por todas as conversas de apoio e incentivo!

Aos meus sogros, Mariângela e André, por todo carinho de sempre, pelo incentivo e apoio. Em especial à Mari, pelas leituras, correções e por todo amor dedicado a mim e ao Rafa. Você são demais!

Ao meu “namorado”, Rafael, por me apoiar em mais essa etapa da minha vida, pela paciência nos momentos de estresse na fase final do doutorado e por compreender, sem reclamar, minha ausência durante os estudos. Obrigada por ser meu parceiro em tudo, por compartilhar a vida comigo, por me lembrar que é preciso ter momentos leves e por tornar minha vida mais feliz!

HERNANDES, Josiane Letícia. **Leitura semiológica de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química.** 2023. 205p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

RESUMO

Esta tese problematiza o processo de significação realizado a partir de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química. A pesquisa articula aspectos da Teoria Semiológica de Ferdinand de Saussure e Roland Barthes com fundamentos da Multimodalidade Representacional e propõe um instrumento analítico com o objetivo de compreender as possibilidades e limitações de quatro analogias pictóricas. O estudo realizado corresponde a uma investigação qualitativa de caráter descritivo e interpretativo. Em uma primeira etapa, realizaram-se leituras semiológicas de quatro analogias pictóricas retiradas de diferentes livros didáticos de química destinados ao Ensino Médio. Na perspectiva comunicacional da semiologia, os conhecimentos subjacentes às analogias pictóricas, foram diferenciados em níveis de significação, denotativo e conotativo, enquanto as relações necessárias para a compreensão do conceito científico pretendido foram identificadas segundo a ótica dos eixos estruturantes da linguagem, sintagmático e paradigmático. Em uma segunda etapa, buscou-se realizar uma validação comunicativa com o objetivo de perscrutar a construção de significados a partir das analogias pictóricas investigadas. Como os referenciais que discutem o emprego de analogias no ensino defendem que é papel do professor guiar o raciocínio analógico, a pesquisa foi realizada com estudantes de licenciatura em química, tendo em vista que os conceitos científicos aludidos são conhecimentos acessíveis a eles e que futuramente atuarão como professores. Os resultados da primeira etapa permitiram depreender as possibilidades analógicas das representações imagéticas investigadas, definir as correspondências essenciais para a compreensão da analogia e presumir associações indesejadas, mas possíveis, que levariam a divergências do conceito científico. Já a segunda etapa evidenciou como os licenciandos construíram os significados a partir das analogias pictóricas anteriormente analisadas. Com isso, foi possível reconhecer os equívocos conceituais provocados por atributos das analogias. Por meio do mapeamento das características da analogia que possibilitaram associações indesejadas e levaram a significados diferentes do pretendido, inferiu-se as limitações analógicas. A partir de reflexões em torno do papel desse recurso didático no ensino de ciências e dos processos envolvidos na produção de sentido a partir das diferentes representações, o instrumento analítico proposto mostrou-se eficiente para compreender, de maneira mais aprofundada, como os conhecimentos científicos são construídos por meio de analogias. Por essa razão, conclui-se que a leitura semiológica é capaz de auxiliar professores no planejamento do ensino por analogias pictóricas, além de fornecer informações para intervir no processo de aprendizagem afim de que interpretações divergentes da pretendida sejam evitadas e não sejam reforçadas concepções incompatíveis com o conceito abordado.

Palavras-chave: analogias pictóricas; multimodalidade representacional; semiologia; relações sintagmáticas e paradigmáticas; processos de significação.

HERNANDES, Josiane Letícia. **Semiological reading of pictorial analogies used in chemistry teaching.** 2023. 205p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

This thesis problematizes the meaning process carried out from pictorial analogies used in chemistry teaching. The research articulates aspects of the Semiological Theory of Ferdinand de Saussure and Roland Barthes with foundations of Representational Multimodality and proposes an analytical instrument with the objective of understanding the possibilities and limitations of four pictorial analogies. The study carried out corresponds to a qualitative investigation of a descriptive and interpretative nature. In a first step, semiological readings of four pictorial analogies taken from different chemistry textbooks for high school were carried out. In the communicational perspective of semiology, the knowledge, underlying the pictorial analogies, were differentiated into levels of meaning, denotative and connotative, while the necessary relationships for the understanding of the intended scientific concept were identified according to the perspective of the structuring axes of language, syntagmatic and paradigmatic. In a second stage, we sought to carry out a communicative validation with the objective of scrutinizing the construction of meanings from the investigated pictorial analogies. As the references that discuss the use of analogies in teaching defend that it is the role of the teacher to guide analogical reasoning, the research was carried out with undergraduate students in chemistry, bearing in mind that the scientific concepts alluded to are knowledge accessible to them and that will act in the future as teachers. The results of the first stage made it possible to deduce about the analogical possibilities of the investigated image representations, to define the essential correspondences for the understanding of the analogy and to presume unwanted associations, but possible, that would lead to divergences from the scientific concept. The second stage showed how the undergraduates constructed meanings from the previously analyzed pictorial analogies. With this, it was possible to recognize the conceptual mistakes caused by attributes of the analogies. By mapping the characteristics of the analogy that allowed unwanted associations and led to meanings different from the intended one, the analog limitations were inferred. From reflections on the role of this didactic resource in science teaching and the processes involved in the production of meaning from the different representations, the proposed analytical instrument proved to be efficient to understand, in a deeper way, how scientific knowledge is constructed through analogies. For this reason, it is concluded that semiological reading is capable of helping teachers in planning teaching through pictorial analogies, in addition to providing information to intervene in the learning process so that divergent interpretations from the intended one are avoided and that incompatible conceptions are not reinforced the concept discussed.

Key words: pictorial analogies; representational multimodality; semiology; syntagmatic and paradigmatic relationships; meaning processes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A traição das imagens (1928-1929).....	19
Figura 2 – Significado de analogia	28
Figura 3 – Signo linguístico como entidade psíquica de duas faces.....	44
Figura 4 – Primeiro e segundo sistemas e significação.....	48
Figura 5 – Metáfora espacial da relação entre sistemas de signo denotativo e conotativo	48
Figura 6 – Paradigmas de ‘ensinamento’	53
Figura 7 – Relações paradigmáticas	53
Figura 8 – Relações sintagmáticas X relações paradigmáticas.....	54
Figura 9 – Imagem publicitária	60
Figura 10 – Elementos do inventário denotativos dispostos de forma aleatória	67
Figura 11 – Pudim de passas de origem inglesa.....	80
Figura 12 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 1	81
Figura 13 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 2	105
Figura 14 – Balança de dois pratos em equilíbrio estático	126
Figura 15 – Síntese da Amônia	128
Figura 16 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 3	130
Figura 17 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 4	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Entalpias padrão de formação em 25°C*	151
---	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Relações sintagmáticas e paradigmáticas em sistemas não linguísticos	56
Quadro 2 – Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar	64
Quadro 3 – Instrumento analítico	73
Quadro 4 – Questionário disponibilizado aos participantes da pesquisa.....	75
Quadro 5 – Limitações da analogia pictórica.....	77
Quadro 6 – Modelo atômico de Thomson comparado com um pudim de passas	80
Quadro 7 – Síntese da análise semiológica da analogia pictórica 1.....	82
Quadro 8 – Respostas de L1 ao questionário 1	84
Quadro 9 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 1 ...	86
Quadro 10 – Respostas de L2 ao questionário 1	88
Quadro 11 – Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 1.	90
Quadro 12 – Respostas de L3 ao questionário 1	92
Quadro 13 – Construção de significados por L3 em relação à analogia pictórica 1 .	93
Quadro 14 – Respostas de L4 ao questionário 1	95
Quadro 15 – Construção de significados por L4 em relação à analogia pictórica 1 .	97
Quadro 16 – Limitações da analogia pictórica 1	99
Quadro 17 – Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar	104
Quadro 18 – Síntese da análise semiológica da analogia pictórica 2.....	105
Quadro 19 – Respostas de L1 ao questionário 2	107
Quadro 20 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 2	109
Quadro 21 – Respostas de L2 ao questionário 2	111
Quadro 22 - Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 2	113
Quadro 23 – Respostas de L3 ao questionário 2	114
Quadro 24 – Construção de significados por L3 em relação à analogia pictórica 2	116
Quadro 25 – Respostas de L4 ao questionário 2	117
Quadro 26 – Construção de significados por L4 em relação à analogia pictórica 2	119
Quadro 27 – Respostas de L5 ao questionário 2	121
Quadro 28 – Construção de significados por L5 em relação à analogia pictórica 2	123
Quadro 29 – Limitações da analogia pictórica 2.....	125
Quadro 30 – Equilíbrio dinâmico comparado com um estacionamento lotado	129
Quadro 31 – Síntese da análise semiológica da analogia pictórica 3.....	131

Quadro 32 – Respostas de L1 ao questionário 3	133
Quadro 33 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 3	136
Quadro 34 – Respostas de L2 ao questionário 3	137
Quadro 35 – Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 3	139
Quadro 36 – Respostas de L4 ao questionário 3	140
Quadro 37 – Construção de significados por L4 em relação à analogia pictórica 3	142
Quadro 38 – Respostas de L5 ao questionário 3	143
Quadro 39 – Construção de significados por L5 em relação à analogia pictórica 3	145
Quadro 40 – Limitações da analogia pictórica 3	147
Quadro 41 – Função de estado comparada à altitude de uma localidade na montanha	149
Quadro 42 – Lei de Hess comparada à determinação da altura de uma montanha	152
Quadro 43 – Síntese da análise semiológica da analogia imagética 4	155
Quadro 44 – Respostas de L1 ao questionário 4	157
Quadro 45 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 4	159
Quadro 46 – Respostas de L2 ao questionário 4	160
Quadro 47 – Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 4	163
Quadro 48 – Respostas de L3 ao questionário 4	165
Quadro 49 – Construção de significados por L3 em relação a analogia pictórica 4.	167
Quadro 50 – Respostas de L4 ao questionário 4	169
Quadro 51 – Construção de significados por L4 em relação a analogia pictórica 4.	171
Quadro 52 – Respostas de L5 ao questionário 4	173
Quadro 53 – Construção de significados por L5 em relação à analogia pictórica 4	175
Quadro 54 – Limitações da analogia pictórica 4	177

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
1 MULTIMODALIDADE REPRESENTACIONAL	14
1.1 NATUREZA MULTIMODAL DA LINGUAGEM E PENSAMENTO CIENTÍFICO	15
1.2 IMAGENS NO ENSINO DE CIÊNCIAS	21
2 ANALOGIAS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS	28
2.1 PRINCÍPIOS TEÓRICOS QUE RESPALDAM APRENDIZAGEM POR ANALOGIAS.....	29
2.2 ANALOGIAS NA CIÊNCIA E NO ENSINO	31
2.3 ANALOGIAS PICTÓRICAS	37
3 FUNDAMENTOS DA SEMIOLÓGIA.....	41
3.1 SIGNO: SIGNIFICANTE/SIGNIFICADO	43
3.2 SIGNIFICAÇÃO E VALOR	46
3.3 NÍVEIS DE SIGNIFICAÇÃO: DENOTATIVO E CONOTATIVO	47
3.3.1 Arbitrariade e Motivação	49
3.4 EIXOS ESTRUTURANTES DA LINGUAGEM	50
3.4.1 Relações Sintagmáticas e Paradigmáticas em Sistemas não Linguísticos ..	55
3.5 SISTEMAS DE SIGNOS NÃO LINGUÍSTICOS	57
3.5.1 Subjetividade Das Imagens e Validação Comunicativa	59
4 ARTICULAÇÃO DOS EIXOS TEÓRICOS E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	62
4.1 LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS	64
4.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	68
5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	70
5.1 OBJETOS DE ESTUDO E INSTRUMENTO ANALÍTICO	71
5.2 SUJEITOS DA PESQUISA E COLETA DE DADOS	74
5.3 PROCEDIMENTOS E ORGANIZAÇÃO DA ANÁLISE	76
6 ANÁLISES E DISCUSSÕES	78
6.1 ANALOGIA 1 – MODELO ATÔMICO DE THOMSON COMPARADO COM UM PUDIM DE PASSAS.....	78

6.2	ANALOGIA 2 – MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD COMPARADO COM O SISTEMA PLANETÁRIO	101
6.3	ANALOGIA 3 – EQUILÍBRIO DINÂMICO COMPARADO COM UM ESTACIONAMENTO LOTADO	126
6.4	ANALOGIA 4 – LEI DE HESS COMPARADA COM A DETERMINAÇÃO DA ALTURA DE UMA MONTANHA	149
6.5	DISCUSSÃO GERAL	178
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	182
	REFERÊNCIAS.....	185
	APÊNDICES	196
	APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	197
	APÊNDICE B – Exemplo do Questionário com Perguntas e Respostas	199

INTRODUÇÃO

As analogias são consideradas como uma valiosa ferramenta para a comunicação, ensino e aprendizagem de conceitos científicos. Ao longo da história, o raciocínio analógico tem sido essencial para comunicar ideias científicas e possibilitar sua compreensão, tendo em vista as diversas ideias abstratas e não familiares envolvidas nessa área do conhecimento. Por essa razão, professores e autores de livros didáticos recorrem frequentemente às analogias com o objetivo de tornar mais compreensível a explicação dos conteúdos (GLYNN, 1994).

As analogias baseiam-se na comparação explícita entre dois domínios de conhecimento distintos que mantêm certa semelhança estrutural ou funcional, e possibilitam a transferência de ideias ou concepções acerca de um domínio conhecido pelo sujeito, chamado de análogo, para um domínio desconhecido, denominado alvo (DUIT, 1991; GLYNN, 1994). Como os conceitos científicos têm, em grande parte, uma natureza abstrata, tornam-se necessárias associações com coisas, objetos ou fenômenos conhecidos para que sejam mais acessíveis. Dentro da perspectiva construtivista, o emprego de analogias é particularmente defendido por oportunizar a transição entre o que o estudante já sabe e a nova informação, favorecendo a aprendizagem significativa (LABURÚ; SILVA, 2011).

No entanto, as analogias só serão úteis aos propósitos de ensino se o análogo for realmente familiar ao estudante e se as relações desejadas forem estabelecidas com o conceito científico. Caso contrário, concepções errôneas sobre o análogo serão transferidas para o alvo, levando os aprendizes a conclusões equivocadas (DUIT, 1991). Tendo isso em vista, diversas pesquisas apontam que a aprendizagem por meio de analogias se mostra mais eficiente quando acompanhadas de imagens, pois favorecem a compreensão do análogo e, consequentemente, do alvo (THIELE, TREAGUST, 1991; GINESTE; GILBERT, 1995; MONTEIRO; JUSTI, 2000; OLIVA, et al., 2004). Argumenta-se que, analogias exclusivamente verbais exigem do sujeito a própria visualização do análogo, ao passo que as que recorrem à imagem, denominadas analogias pictóricas, fornecem isso diretamente a ele, apoiando a compreensão das relações estruturais e funcionais contidas na informação verbal (CURTIS; REIGELUTH, 1984; ISSING, 1990).

Embora seja consenso na literatura que o emprego de analogias pictóricas no ensino de ciências, e em particular de química, foco do trabalho, auxilia

e facilita o processo de ensino e aprendizagem, é destacado que o uso de imagens requer atenção para que não provoque equívocos conceituais. Pesquisas como as de Colin e Viennot (2002), Stylianidou, Ormerod e Ogborn (2002) e Klein e Laburú (2009), por exemplo, têm chamado a atenção para a dificuldade dos alunos em interpretar representações imagéticas de maneira coerente e compatível com o objetivo para o qual foram propostas. Portanto, ao trabalhar com analogias pictóricas, também é consenso a imprescindibilidade de caracterizar e explicar os domínios comparados, detalhar as relações estabelecidas e indicar suas limitações e restrições (MOZZER; JUSTI, 2015).

Nesse sentido, encontramos correspondência dessas demandas com o campo de pesquisa da multimodalidade representacional, o qual defende, por um lado, que recorrer a diversos modos discursivos para apresentar um conteúdo e empregar uma multiplicidade de representações contribuem para a compreensão e aprofundamento de conceitos científicos. E, por outro, enfatiza a necessidade de compreender o processo de construção de significados a partir das representações utilizadas na ciência e de definir estratégias para interpretá-las (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006; LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014).

No campo do ensino de ciências, e de química em específico, existem inúmeros trabalhos que se ocupam de propor modelos de ensino com analogias ou ainda investigar a aprendizagem dos estudantes a partir do emprego desse recurso (CLEMENT, BROWN, 1989; GLYNN, 1991; DUIT, 1991; TREAGUST; HARRISON; VENVILLE, 1998; HARRISON, 2008; MOZZER; JUSTI, 2018, entre outros). Porém, ao realizar as buscas para construir a fundamentação teórica, não encontramos nenhum que sistematizasse uma estratégia de análise da perspectiva comunicacional da semiologia e nem que analisasse o processo de significação a partir das representações imagéticas usadas com função de analogia, o que justifica esta pesquisa.

Tendo isso em vista, e inspirados por uma análise semiológica de imagens publicitárias realizada por Penn (2002), nos fundamentamos nas definições de signo e eixos estruturantes da linguagem, propostas por Saussure (2012), e nas discussões de Barthes (2012) acerca dos processos de significação denotativo e conotativo, para propor um instrumento de análise de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química. Esse instrumento, em um primeiro momento, serviu para depreender as possibilidades analógicas das representações imagéticas

investigadas.

Deparamo-nos, no entanto, com o fato de que o processo de construção de significados, principalmente quando envolve representações imagéticas, é idiosincrático e que o sentido que cada leitor atribui depende dos conhecimentos a ele acessíveis. As características da analogia pictórica e as diferentes relações que o sujeito pode estabelecer com o conteúdo científico comunicado pela imagem podem levar a diferentes significações, sendo mais ou menos compatíveis com os objetivos dela.

Por essa razão, em um segundo momento, realizamos uma validação comunicativa – avaliação do uso e da extensão de conhecimentos socialmente compartilhados por um grupo de pessoas (PENN, 2002) – com estudantes de licenciatura em química, na qual investigamos como eles constroem os significados a partir das analogias pictóricas anteriormente investigadas. Por fim, em um terceiro momento, contrastamos os dados obtidos nos dois primeiros momentos para identificar as limitações das analogias pictóricas investigadas, tendo como foco as características da representação imagética e a atribuição de significados pelos licenciandos.

Dito em outros termos, os objetivos foram: *investigar a imagem, de modo a caracterizar os domínios comparados e identificar as relações necessárias para que um leitor aprendiz compreenda o conceito científico pretendido; perscrutar a construção de significados por licenciandos em química a partir das analogias pictóricas analisadas; e inferir as limitações das analogias pictóricas.*

Para alcançar os objetivos propostos, a tese foi dividida em seis capítulos. No capítulo 1, abordamos acerca da Multimodalidade Representacional. Iniciamos com uma discussão a respeito da natureza multimodal da linguagem e pensamento científico, depois trazemos reflexões do papel dos multimodos e múltiplas representações no ensino e aprendizagem de ciências e, finalizamos com reflexões teóricas acerca de pesquisas que abordam especificamente o uso de representações imagéticas.

No capítulo 2, discorremos acerca das potencialidades e implicações do uso de analogias na educação científica. Começamos com as definições de analogias e as contextualizamos em relação às teorias de aprendizagem. Na sequência, apontamos o papel que elas assumem na ciência e no ensino, as vantagens e desvantagens do emprego delas segundo a literatura e, apresentamos

alguns modelos de ensino com analogias que buscam superar as desvantagens apontadas. Finalizamos com uma discussão sobre as analogias pictóricas, das quais nos ocupamos nesta tese.

No capítulo 3, trazemos os fundamentos da semiologia nos quais nos apoiamos teoricamente para propor uma estratégia de análise de analogias pictóricas no ensino de química. Iniciamos com a definição de signo, seguida pela discussão sobre o processo de construção de sentido e determinação do valor do signo. A partir disso, foram apresentados os níveis de significação denotativo e conotativo, juntamente com uma discussão sobre a característica arbitrária do signo. Em seguida, abordamos os eixos estruturantes da linguagem e como se traduzem em sistemas não linguísticos. Finalizamos o capítulo com uma discussão sobre a função da linguagem de ancorar as imagens e sobre a subjetividade na interpretação das representações imagéticas que levam a necessidade de uma validação comunicativa.

No capítulo 4, realizamos a articulação dos eixos teóricos apresentados nos três primeiros capítulos, propomos e descrevemos uma leitura semiológica de analogias pictóricas e, por fim, sintetizamos a problematização da pesquisa.

No capítulo 5, apresentamos os procedimentos metodológicos adotados nesta tese. Primeiro, apontamos o objeto de estudo e sistematizamos o instrumento analítico. Depois, indicamos os sujeitos de pesquisa e explicamos o instrumento de coleta de dados. Por fim, descrevemos os procedimentos de análise de dados e como a pesquisa foi organizada.

No capítulo 6, apresentamos os resultados e discussões. Para cada analogia pictórica investigada, abordamos os conceitos científicos fundamentais para sua compreensão, realizamos a leitura semiológica segundo o instrumento analítico proposto, apresentamos e discutimos os dados de cada licenciando que participou da pesquisa e finalizamos com uma discussão geral sobre os resultados encontrados.

Nas considerações finais, realizamos ponderações gerais a respeito dos resultados obtidos e apresentamos nossas conclusões. Indicamos as contribuições da pesquisa para o ensino e aprendizagem de ciências, as limitações e sugestões para futuras pesquisas.

1 MULTIMODALIDADE REPRESENTACIONAL

Antes de discutir os princípios e fundamentos do referencial da multimodalidade representacional, que situam a linha de pesquisa desta tese, iniciaremos com algumas reflexões e esclarecimentos acerca das definições e diferenças entre os termos que serão utilizados: representação, múltiplas representações, multimodos e multimodalidade representacional.

Para Laburú e Silva (2011) a representação pode ser definida da mesma maneira que se define o signo linguístico. De forma breve, pois o signo linguístico será mais bem caracterizado na seção que discute semiologia, a representação é o vínculo que mantemos entre algo de nossos cinco sentidos e a evocação de outra coisa que está ausente, cuja realidade é simplesmente mental. A representação é, portanto, uma forma de expressar algo, também chamada de representação semiótica (DUVAL, 2004), que vai evocar um significado e, por isso, é comparada com a definição de signos. Como exemplo, temos a linguagem verbal, a linguagem de sinais, as imagens, os símbolos, a álgebra etc. Nessa linha, as múltiplas representações se referem às diversas formas pelas quais um mesmo conceito ou processo científico pode ser representado (PRAIN; WALDRIP, 2006; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007).

No que concerne aos multimodos, ou modos de representação, eles são entendidos como os meios ou “recursos perceptivos” (RADFORD; EDWARDS; ARZARELLO, 2009, p.91 apud. LABURÚ; SILVA, 2011) em que as diversas representações podem ser expressas, pensadas e comunicadas. Nessa conjuntura, Gregório (2021) destaca os modos oral, visual e visual corporal ou gestual como os mais utilizados em sala de aula. O modo oral permite a apreensão e exposição de conceitos por meio de argumentação, discussão, instrução etc. Já o visual envolve diversos recursos normalmente utilizados nas aulas, como desenhos, diagramas, gráficos, textos escritos, atividades experimentais entre outros. Por sua vez, o modo gestual inclui a pantomima, mímica, movimentos corporais, observação de procedimentos e operações em experimentos, constituindo-se de uma subcategoria do modo visual. Adicionalmente, consideramos o modo tátil como outro meio perceptivo que fornecem bases ao campo de ensino, por meio da manipulação de objetos e modelos, por exemplo.

Embora faça mais sentido pensar em multimodos de representação quando se faz referência aos meios sensoriais do que quando se trata de formas de representação semiótica (DUVAL, 2004), sob a perspectiva da comunicação, qualquer forma de representação demanda um meio físico, ou modo de expressão, para se concretizar (LABURÚ; ZÔMPERO; BARROS, 2013). Nesse sentido, Laburú, Zômpero e Barros (2013) concluem que formas e modos não comportam uma separação, ainda que, dependendo do estudo, o interesse possa se voltar mais para uma dimensão do que para outra.

Por fim, a multimodalidade representacional, ou a representação multimodal, se refere à integração, no discurso científico, de diferentes modos e formas de representar processos, descobertas, raciocínios e implicações científicas (TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007; LABURÚ; ZÔMPERO; BARROS, 2013). Laburú, Zômpero e Barros (2013) citam que, na prática, isso corresponde a submeter os estudantes aos mais diversos recursos expressivos, como verbais, gráficos, tabulares, analógicos, diagramáticos, gestuais, imagéticos, figurativos, metafóricos, matemáticos, simbólicos, cinestésicos, diagramáticos, entre outros.

Feitas tais considerações, as discussões que seguem estão organizadas da seguinte forma: iniciaremos com uma reflexão acerca das particularidades da linguagem científica, de natureza multimodal, relacionando pensamento e linguagem; discutiremos o emprego dos multimodos e múltiplas representações no ensino e aprendizagem de ciências; e, por fim, explicitaremos potenciais e dificuldades do emprego das representações imagéticas na construção do conhecimento científico.

1.1 NATUREZA MULTIMODAL DA LINGUAGEM E PENSAMENTO CIENTÍFICO

A natureza do saber científico está edificada sob um tipo particular de linguagem que faz uso de uma multiplicidade de representações e opera diversos modos discursivos para exteriorizar conceitos e ideias. É característico das disciplinas científicas a integração de diversas formas e modos de representação, visto que variadas representações servem a diferentes propósitos (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014). Na química, por exemplo, uma reação de equilíbrio pode ser expressa por meio de linguagem verbal, equação, gráfico, experimento, analogia, simulações

computacionais entre outras, sendo que, cada uma dessas formas exprime diferentes aspectos do conceito.

Diante disso, diversas pesquisas na área da educação científica reconhecem que o discurso científico é uma mescla de linguagens que envolve formas multimodais de representação, em que os modos linguísticos, gráficos, tabulares e numéricos, por exemplo, são integrados e coordenados para traduzir e explicar os conceitos (AINSWORTH, 1999; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007; LABURÚ; SILVA, 2011; LABURÚ; ZÔMPERO; BARROS, 2013). Nessa perspectiva, aprender ciências implica em conhecer as diferentes representações utilizadas, dar significado a elas e saber coordená-las em um discurso consistente (LABURÚ; SILVA, 2011; LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014).

Por sua vez, diversos trabalhos defendem que há necessariamente um vínculo entre a linguagem e o pensamento. Laburú e Silva (2011) afirmam que uma das contribuições da teoria construtivista para a educação, especificamente para a educação científica, foi destacar que o pensamento só existe em termos de linguagem, ou seja, que o pensamento se desenvolve por meio, e a partir, dela. Encontramos a origem dessa ideia em Vygotsky (2009) quando diz que o desenvolvimento do pensamento é determinado pela linguagem, isto é, pelos meios sociais e simbólicos de pensamento. Ainda nesse sentido, a semiologia trata o pensamento como um processo simbólico e a sua análise é realizada com base na estrutura da língua (FIDALGO, 1998).

Em virtude dessas duas concepções, natureza multimodal da linguagem científica e a indissociabilidade do pensamento e linguagem, Laburú, Zômpero e Barros (2013) abordam o tema pensamento e linguagem de Vygostky e o relacionam com os multimodos e múltiplas representações como leituras convergentes para o ensino de ciências. Em seu trabalho, os autores afirmam que o pensamento científico está ligado ao uso de grande quantidade de signos e a articulação desses em um tipo específico de linguagem.

Como a linguagem científica é caracterizada pela integração de variadas formas e modos de representações comunicativas, entendemos que cada representação semiótica funciona como instrumento do pensamento, que abre diferentes possibilidades de interpretação e reflexão (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2013). Para compreender e expressar fenômenos de química, por exemplo, com frequência fazemos uso de modelos, expressos por representações verbais,

imagéticas, gestuais, gráficas, algébricas e de recursos didáticos, como experimentos e analogias. Por ser um conteúdo abstrato e de difícil visualização, está intrínseco na compreensão e comunicação desse domínio o caráter multimodal. Sendo assim, não se pode separar o pensamento científico das suas diversas formas representacionais, pois essas são usadas para representar conceitos, ideias, princípios e grandezas que constituem as teorias envolvidas e os fenômenos estudados (LABURÚ; SILVA, 2011).

Diante do exposto, o ato de pensar, ou seja, de atribuir significações, não é um processo exclusivamente dependente da linguagem verbal, mas sim da interação de diferentes sistemas representacionais. Em virtude disso, pesquisas em multimodos e múltiplas representações tem focado justamente nas demandas representacionais como algo essencial para o ensino e aprendizagem de ciências.

A multimodalidade representacional é uma linha de pesquisa na área de ensino de ciências que pressupõe que “os significados são produzidos, distribuídos, recebidos, interpretados e refeitos a partir da leitura de vários modos de representação e comunicação” (MORTIMER et al., 2014). Parte-se da premissa que recorrer a diversos modos de apresentar um conteúdo, e empregar as diversas formas pelas quais ele pode ser representado, contribuem para a compreensão e aprofundamento de conceitos científicos (PRAIN; WALDRIP, 2006; TYTLER; PRAIN, 2007).

Diversas pesquisas indicam que há um forte vínculo entre atividade científica, processo de produção de significados e escolhas representacionais que apoiam a aprendizagem dos estudantes (KLEIN, 2003; TYTLER; PRAIN; PETERSON, 2007). Como vimos, o saber científico é constituído por uma linguagem multimodal, com símbolos e representações próprias, assim, estes são usados para representar conceitos, ideias, princípios e grandezas que fazem parte das teorias e fenômenos envolvidos nesse campo de estudo, o que justifica a força desse pensamento (LABURÚ; SILVA, 2011).

Prain e Waldrip (2006) pontuam que há um crescente reconhecimento de que os estudantes necessitam compreender e integrar diversos modos de representação. Aprender sobre novos conceitos implica em aprender como representá-los e compreender o que essas representações significam (AINSWORTH, 1999). Assim, ao dizer que um aprendiz está entendendo ou que aprendeu algo, pressupõe-se que ele é capaz de mobilizar o conhecimento dentro e fora do contexto de cada representação ensinada e que consegue realizar conversões de registros, ou

seja, traduzir o conhecimento em diferentes representações (LABURÚ; SILVA, 2011).

Diante disso, torna-se necessário que os estudantes aprendam as diferentes formas representacionais oficiais e que não fiquem dependentes de apenas uma, pois isso limita as possibilidades de compreensão de determinado conceito científico (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2011). Nessa direção, Zômpero e Laburú (2010) apontam que quanto mais representações semióticas forem proporcionadas durante a instrução, mais bem-sucedida e facilitada será a aprendizagem. A integração de diversos modos de representação é considerada por Lemke (1998) a chave para compreender os conceitos científicos. Isso porque cada modalidade representacional atende a diferentes necessidades em relação ao raciocínio e ao registro de questões científicas (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014).

Tomando essa linha de pensamento, podemos admitir que se os aprendizes não forem capazes de representar seus entendimentos de diferentes maneiras, provavelmente, seu aprendizado a respeito da ciência não será suficientemente robusto e durável (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014). Em contrapartida, se durante o ensino for oportunizado que os conceitos sejam estudados e pensados por diversos modos e formas representacionais, a ocorrência de apropriações conceituais mais permanentes e profundas será favorecida (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2010).

Corroborando com as ideias apresentadas, já na década de 80 Shulman (1986) incluía no Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK, da sigla em inglês “*Pedagogical Content Knowledge*”)¹ que o modo de representar o conceito e apresentar aos demais é o que o torna comprehensível. O autor aponta que é necessário que o professor tenha um arsenal de formas de representação e indica as analogias, exemplos, demonstrações e ilustrações como possibilidades úteis aos propósitos de ensino. Ou seja, está na essência do PCK a noção de que o professor deve buscar múltiplas formas de representar os conceitos que ele pretende ensinar. A esse respeito, Peterson et al. (2021) também citam o PCK para justificar a importância dos multimodos e múltiplas representações no ensino de ciências. Segundo os autores, “um componente essencial do PCK é a compreensão das ‘formas

¹ Em Shulman (1986), o PCK é um dos componentes essenciais do conhecimento que um professor precisa para exercer sua profissão. Trata-se da junção do conhecimento específico do conteúdo a ser ensinado e da pedagogia, que permite transformar o conteúdo de forma a torná-lo comprehensível aos estudantes.

mais úteis de representação' de ideias-chave do currículo" (SHULMAN, 1986, p. 9 apud. PETERSON, 2021, p. 314).

Ademais, importa destacar que qualquer professor, de qualquer área, tem muito o que refletir sobre a dinâmica entre as representações e os objetos representados. A ideia é que sempre fazemos uma representação de um conceito, e é dessa forma que levamos os conceitos até os alunos, mas a representação simplifica o objeto representado de alguma forma e, por consequência, algumas propriedades se perdem.

A fim de refletir sobre as representações, podemos pensar na pintura "A traição das imagens" (1928-1929) de René Magritte (1898-1967) exposta na Figura 1.

Figura 1 – A traição das imagens (1928-1929)



Fonte: René Magritte (1898-1967).

Nesse quadro encontra-se escrito “isso não é um cachimbo”, o que pode causar um estranhamento inicial, mas não há como discordar do autor. De fato, o que temos aqui não é um cachimbo, mas sim uma representação de um cachimbo. Essa representação não possui as propriedades do objeto que ela representa, não se pode segurar o quadro como se segura um cachimbo, ele não tem o mesmo peso ou o formato tridimensional e não se pode colocar fumo dentro do cachimbo do quadro. A esse respeito, o próprio René Magritte disse:

O famoso cachimbo... Como fui censurado por isso! E entretanto... Vocês podem encher de fumo, o meu cachimbo? Não, não é mesmo? Ela é apenas uma representação. Portanto, se eu tivesse escrito sob meu quadro: ‘isto é um cachimbo’, teria mentido (apud. FOUCAULT, 2008, p.91).

Da mesma forma, entendemos que cada representação, seja ela verbal, imagética, algébrica, gráfica ou outra qualquer, limita e restringe o conteúdo apresentado. Segundo Laburú, Zômpero e Barros (2013, p. 14), “[...] cada sistema semiótico encerra propriedades específicas que limitam intrinsecamente suas possibilidades de representação”. Diante disso, podemos inferir que nenhum modo representacional é capaz de representar o todo de um conceito ou ideia científica, embora alguns modos representacionais apresentem maior potencialidade em determinados contextos do que outros.

No ensino de química, especificamente, temos conceitos abstratos que necessitam de experimentos, modelos, cálculos e uma série de recursos comunicativos e de pensamento para serem compreendidos e explicitados. Portanto, oferecer e instigar representações multimodais é uma estratégia de ensino fértil para que a mensagem científica alcance um entendimento mais aprofundado, visto que o significado se encontra distribuído entre as diversas representações e não se encerra em uma única (JAIPAL, 2009).

Contudo, vale ressaltar que os significados dos conceitos não surgem de uma simples adição ou justaposição de representações, mas, sim, da integração, e combinação entre elas (ZÔMPERO; LABURÚ, 2014). Quando diferentes modos representacionais são empregados, os estudantes precisam ser capacitados para fazer conexões entre eles, identificando suas relações, e para que consigam identificar qual modo é mais adequado em certa situação (PRAIN; WALDRIP, 2006).

Outro ponto a destacar é que a integração de múltiplas representações permite abranger de maneira mais igualitária os aspectos cognitivos, emocionais e motivacionais ao trabalhar os conceitos científicos. Isso porque a multimodalidade representacional possibilita alcançar preferências, habilidades e necessidades dos diferentes sujeitos. Laburú et al. (2014) afirmam que cada indivíduo mostra preferência por certo modo de expressão em detrimento de outro, o modo escrito ao invés do oral, o visual ao invés do verbal etc. Portanto, empregar representações mais adequadas ao perfil subjetivo do estudante, favorece uma atmosfera mais confiante de aprendizagem.

Conforme discutido anteriormente, a implementação da multimodalidade e múltiplas representações na prática pedagógica é capaz de potencializar a aprendizagem de conceitos científicos. Para Corrêa (2016), o uso de

variadas representações rompe com o padrão de ensino no qual as atividades não estimulam o pensamento e a comunicação de ideias.

As analogias e as imagens, foco da presente pesquisa, são formas de apresentar e representar o conteúdo que auxiliam e complementam a construção dos conceitos científicos. Combinadas aos demais modos e representações, elas são capazes de, além de complementar, apoiar e aprimorar a formação do pensamento científico. Como as analogias serão discutidas mais a fundo no próximo capítulo, faremos, na próxima seção, em discussões pertinentes às representações imagéticas.

1.2 IMAGENS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

O modo de expressão visual tem sido cada vez mais presente na nossa modernidade cotidiana, seja por meio das comunicações em massa, como jornalismo, cinema, publicidade, entretenimento, ou pelo contato frequente com imagens que permeiam as relações sociais, como fotografias digitais e, principalmente, aquelas relacionadas às mídias sociais (KLEIN, 2011). Santaella e Nöth (2005 apud. KLEIN, 2011) pontuam que apesar de as imagens serem adotadas pelos homens como forma de expressão desde a antiguidade, antecedendo, inclusive, a escrita, seus diferentes suportes tem sido cada vez mais requisitados como um recurso discursivo. Tal fato deriva do desenvolvimento tecnológico que ocasionou um deslocamento da predominância da escrita no modo papel para uma realidade multimidiática (LEMKE, 1998), na qual outras formas de expressão visual têm ganhado cada vez mais espaço. Klein (2011) considera que o avanço das imagens sobre os demais modos expressivos, como os textos, também se faz presente no campo científico.

Em acordo com o abordado nas seções anteriores, entendemos que a comunicação em geral, mais especificamente a científica, não é monomodal, dependente exclusivamente do modo verbal, mas sim multimodal, ou seja, constituída por diversos modos para se realizar, cujos conceitos se formam por “híbridos semióticos” (LEMKE, 1998). Segundo Lemke (1998, p. 283),

Os significados expressos de forma multimodal não são fixos e adicionais (o

significado construído pelo texto verbal adicionado ao significado construído pela imagem), são multiplicativos (o significado construído do texto verbal modificado pelo contexto da imagem; o significado construído pela imagem modificado pelo contexto do texto verbal), construindo, assim, um todo que é maior que a soma de suas partes.

Nessa linha, com vistas à compreensão dos aspectos relacionados às representações que afetam a aprendizagem, diversas pesquisas têm dado enfoque a função das imagens na construção e na representação de conceitos científicos (MARTINS; GOUVÉA; PICCININI, 2005). Apesar de as pesquisas apresentarem diferentes perspectivas teóricas e metodológicas, o interesse em compreender as relações entre imagens, o saber científico e o ensino e aprendizagem de ciências é compartilhado entre elas. Por exemplo, Mayer e Gallini (1990) e Pallacios (2006) investigam o papel da imagem para auxiliar a compreensão e interpretação de textos científicos; Gobert e Clement (1999) examinam os benefícios da produção de diagramas por alunos em relação a resumos escritos na compreensão conceitual do conteúdo científico; Pacca et al. (2003) propõem o desenho de modelos para exteriorizar os entendimentos dos alunos, assim como Gouveia e Laburú (2005) os utilizam como símbolos-ponte antes de aprender as representações convencionais dentro do conteúdo de física trabalhado; Shah e Hoeffner (2002) e Tytler et al. (2006) investigam as dificuldades em interpretar e compreender as representações gráficas; Colin e Viennot (2002), Pintó e Ametller (2002) e Stylianidou, Ormerod e Ogborn (2002) pesquisam sobre a dificuldade dos alunos do ensino básico em interpretar as imagens de forma coerente e compatível com a significação esperada; e, como último exemplo, Klein e Laburú (2009) identificam aspectos necessários no processo de conceitualização e na produção de significados científicos ao utilizar imagens em sala de aula.

Em geral, defende-se a ideia de que certos tipos de representações podem ser mais favoráveis à aprendizagem do aluno do que outros e alguns trabalhos indicam que imagens oferecem vantagens específicas sobre os textos (GOBERT; CLEMENT, 1999; VAN METER, 2001 apud. WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006). As imagens têm sido consideradas como importantes recursos para a comunicação em ciências, visto que elas contribuem para a inteligibilidade do discurso científico, por meio da visualização mais concreta de fenômenos e conceitos desse domínio, e exercem um papel fundamental na constituição e conceituação de ideias científicas (GOUVÉA; MARTINS; PICCININI, 2005).

Klein (2011) defende que, além de facilitar a explicação e compreensão de conceitos, as representações imagéticas consistem em um importante veículo para comunicação de ideias científicas, considerando que os símbolos, figuras e esquemas são essenciais para descrever e desenvolver significados dentro desse domínio. Martins, Gouvêa e Piccinini (2005) consideram as imagens como facilitadoras da explicação de conceitos e como um recurso importante para comunicação das ideias científicas. Para diSessa (2004), os alunos geralmente possuem um rico conjunto de competências na interpretação de textos visuais, vindo de suas experiências anteriores, portanto, argumenta que usar representações visuais em sala de aula pode ser algo motivador para os alunos. Pallacios (2006) discute as influências e as possibilidades didáticas da imagem em seus diferentes formatos na educação científica formal e informal e, entre outras coisas, apontam que quando os alunos dispõem de informação verbal e visual simultaneamente, há probabilidade de uma melhor aprendizagem. Mayer e Gallini (1990) focam no papel da imagem como auxiliadora na interpretação de textos e indicam que elas melhoraram o rendimento em certos tipos de atividades avaliativas.

Certas pesquisas que abordam as representações visuais como forma de auxiliar o texto mostram que elas facilitam a compreensão e recordação (LEVIN, ANGLIN; CARNEY, 1987; MAYER; GALLINI, 1990), mas pontuam que, para alcançar um entendimento conceitual, elas devem ter um papel explicativo. Nesse mesmo sentido, Sweller et al. (1990) defendem que aprender a partir de textos e imagens pode aumentar a carga de memória ou pode exigir um esforço cognitivo adicional para integrar as duas representações. Em contrapartida, pesquisas mais recentes, como a de Tomio et al. (2013, p. 27), destacam que o objetivo é fazer os alunos desenvolverem uma compreensão mais profunda e que “as imagens nas aulas de ciências possuem um papel mais central na construção e comunicação das ideias científicas do que aqueles tradicionalmente a elas atribuídos, como os de meras ilustrações ou de auxiliares na memorização”.

No entanto, alguns trabalhos têm chamado a atenção para a dificuldade dos alunos em interpretar as imagens de forma coerente e compatível com o objetivo para o qual foram propostas (COLIN; VIENNOT, 2002; STYLIANIDOU; ORMEROD; OGBORN, 2002). Nessa perspectiva, Klein e Laburú (2009) consideram que a alfabetização visual é essencial no processo de educação científica. Corroborando com isso, Unsworth (2001), Gee (2004) e Waldrip, Prain e Carolan

(2006) destacam que os alunos precisam aprender a respeito das diversas representações utilizadas pela ciência e as estratégias para interpretá-las. Para Pintó e Ametller (2002), não se pode simplesmente supor que as imagens são inteligíveis ou claras para os estudantes, mas se deve considerar a necessidade de conhecimentos prévios dentro de um contexto para que o significado da imagem seja relevante e que o significado da imagem seja enfatizado por meio de legendas ou explicações verbais.

Consequentemente, apesar de haver um consenso sobre a importância pedagógica das imagens no processo de ensino e aprendizagem, diversas pesquisas destacam que a leitura das mesmas precisa ser ensinada (MARTINS, 1997; AMADOR; CARNEIRO, 1999; CASSIANO, 2002; SILVA, 2006), e que o professor tem um papel essencial na forma como esse recurso pode favorecer a produção de significados pelos estudantes (SILVA, 2006). Por conseguinte, torna-se necessário que o professor esteja familiarizado e habilitado a trabalhar com esse tipo de representação, afinal, o conhecimento sobre como os recursos semióticos são empregados na construção do conhecimento científico facilita a intervenção dos professores na aprendizagem dos alunos (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006).

Assim como ocorre na linguagem verbal, os significados de uma imagem são construídos a partir da relação entre os participantes envolvidos: quem produziu, quem está lendo, a imagem em si e o contexto no qual ela aparece. Por esta ótica, as imagens retratam o princípio do dialogismo bakhtiniano para o modo verbal, no qual o significado se constrói a partir da interação entre o escritor e o leitor por meio do texto (CARVALHO; ARAGÃO, 2015).

Essas discussões tornam-se pertinentes principalmente se considerarmos a grande quantidade de imagens em materiais didáticos. Sobre isso, Issing (1990) destaca que as imagens são bastante comuns em textos expositivos em qualquer nível instrucional e as classificam em três tipos: imagens representativas (ou realistas), imagens lógicas (ou arbitrárias) e analogias pictóricas. Nessa classificação, as imagens representativas têm uma semelhança física com as coisas ou conceitos representados e desempenham um papel importante nos livros didáticos. As imagens lógicas compreendem diagramas, gráficos, mapas e outros esquemas e podem ser encontradas em quase todos os livros didáticos e na maioria dos textos científicos. As analogias pictóricas se assemelham às imagens representativas, mas elas se referem a algo diferente do conteúdo que é retratado abertamente na ilustração. As analogias

pictóricas destinam-se a ajudar o sujeito a entender conceitos ou estruturas a serem ensinados, extraíndo e inferindo informações relevantes de experiências prévias e bem conhecidas, às quais as analogias pictóricas se referem. Nos interessamos particularmente por este último tipo de imagem, mas ele será discutido mais a fundo no próximo capítulo.

Para Klein e Laburú (2009, p. 3), “a escrita não é mais considerada o modo central de representação nos livros didáticos, ou em materiais produzidos pelos professores”. Portanto, incluir o recurso imagético na prática escolar nem sempre é uma escolha do professor, pois as imagens fazem parte tanto da produção científica como do âmbito pedagógico e estão presentes nos diversos materiais didáticos em qualquer nível instrucional (KLEIN, 2011). Apesar de saber que as imagens científicas fazem parte do cotidiano das pessoas, seja no ambiente escolar ou por meio de jornais, revistas, cinema, programas televisivos etc., e que envolvem diferentes representações, como fotografias, desenhos, esquemas, modelos, filmes, entre outras, é importante compreender como os indivíduos interagem com as imagens e como ocorre a interpretação das mensagens contidas nela (KLEIN, 2011).

Além disso, o uso crescente de imagens em livros didáticos de ciências tem sido alvo de críticas, visto que, muitas vezes, as ilustrações encontram-se desarticuladas dos textos ou trazem relações errôneas que podem culminar em erros conceituais (MONTEIRO; JUSTI, 2000; OTERO et al., 2002; PALLACIOS; JIMÉNEZ, 2002; GIRALDI; SOUZA, 2006). Para a Kress e Van Leeuwen (2006), as representações visuais carregam mensagens, ou seja, comunicam significados, assim como as representações linguísticas, portanto, tornam necessárias interpretações específicas quando aparecem integradas a textos multimodais, como é o caso dos textos científicos.

Em Unsworth (2001), para ler textos multimodais, é necessário entender como as diversas modalidades constroem diferentes dimensões de significados, tanto em suas interações com as demais quanto separadamente. Conforme o autor, isso requer o conhecimento de um tipo de gramática visual e verbal, para relacionar os elementos e estruturas aos significados, e da natureza do contexto no qual essas representações interagem. Em vista disso, foi desenvolvida uma explicação funcional chamada de “Gramática do Design Visual” (GDV) (KRESS; VAN LEEUWEN 1990, 1996; apud. UNSWORTH, 2001; KRESS; VAN LEEUWEN, 2006 apud. CARVALHO; ARAGÃO, 2015), na qual o funcionamento das imagens adota da

linguística funcional sistêmica a organização meta-funcional para criação de significados (UNSWORTH, 2001). Segundo Carvalho e Aragão (2015), as meta-funções foram desenvolvidas para a linguagem verbal por Halliday (1978, 1985) e adaptadas por Kress e Van Leeuwen (2006) para as imagens. Assim, elas expressam significados por meio de três meta-funções: representacional, interacional e composicional.

[...] estamos representando o mundo, as ideias e as experiências que temos do mundo (função representacional); estamos estabelecendo relações sociais com os observadores e com a própria imagem (função interacional) e organizamos os elementos dentro da imagem de forma intencional (função composicional). O pressuposto é que, como a gramática da língua verbal, a gramática da comunicação visual pode ser descrita como um sistema de escolhas semântico-funcionais (KRESS; VAN LEEUWEN, 2006 apud. CARVALHO; ARAGÃO, 2015, p. 18).

No que se refere à questão semântica das imagens, trata-se da maneira como o contexto irá influenciar para que a imagem adquira significado. Sobre isso, ao abordar a relação entre texto e imagem, Barthes (2012) traz o conceito de ancoragem, no qual afirma que independente do sistema de signos utilizado, será necessária a mediação da linguagem. A esse respeito, Lemke (2003) diz que os elementos dos significados linguísticos estão sempre presentes na interpretação de qualquer sistema de signos. Isso quer dizer que para interpretar uma imagem, equação ou diagrama, por exemplo, não é possível suprimir totalmente a criação de significados da semântica pela criação de significados da linguagem verbal. O autor afirma que, embora as diferentes representações possam apresentar autonomamente um estado das coisas ou aspectos relevantes do conteúdo, a organização, argumentação e a ligação entre elas são mediadas pela linguagem verbal. Principalmente na imagem, que possui um caráter ambíguo, a interpretação é direcionada, ou contextualizada, pela linguagem verbal. Conforme Klein e Laburú (2009), para que os efeitos das imagens sobre a aprendizagem sejam otimizados, é necessária uma condução verbal e tarefas específicas.

Por fim, para não adentrarmos mais em aspectos semiológicos, pois eles serão abordados no terceiro capítulo, reforçamos que os conceitos envolvidos na comunicação e no trabalho científico não são encerrados ou totalizados em uma única representação, mas sim na união dos significados implicados nas diversas representações que esse domínio nos fornece (LEMKE, 1998). “O que chamamos de

conceito abstrato é apenas um atalho para uma construção semiótica multimodal, um conjunto simultâneo e multiarticulado de práticas interdependentes" (LEMKE, 1998, p. 17). Portanto, ainda que o foco da tese seja em imagens pictóricas, reforçamos que essa maneira de apresentar e representar o conceito deve ser considerada dentro da perspectiva da multimodalidade representacional.

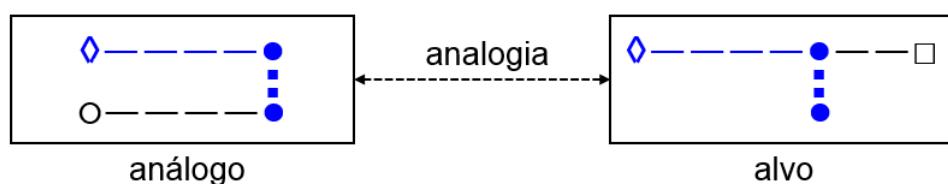
2 ANALOGIAS NO ENSINO E APRENDIZAGEM DE CIÊNCIAS

Antes de contextualizar o emprego de analogias como uma ferramenta para auxiliar o ensino e aprendizagem de ciências, iniciaremos com esclarecimentos acerca de sua definição, das terminologias envolvidas e dos dois principais tipos de relações analógicas, a estrutural e a funcional.

A analogia é definida como uma comparação explícita que estabelece relações entre dois fenômenos, ou domínios de conhecimento, que mantêm certa semelhança no nível estrutural ou funcional (DUIT, 1991; OLIVA, 2004; MOZZER; JUSTI, 2015; CARMONA, 2021). Ao identificar semelhanças entre dois domínios diferentes, as ideias e concepções podem ser transferidas de um domínio familiar para um desconhecido (GLYNN, 1991). O domínio familiar ao sujeito é também chamado de “base” (GENTNER, 1983), “fonte” (HOLYOAK; THAGARD, 1995) ou “análogo” (DUIT, 1991; GLYNN, 1994), enquanto o domínio desconhecido ou pouco familiar é chamado de “alvo” (GENTNER, 1983; DUIT, 1991; GLYNN, 1994; HOLYOAK; THAGARD, 1995). Para que não haja confusão, adotaremos na tese as designações análogo e alvo para referirem, respectivamente, aos domínios familiar e desconhecido.

Para Glynn (1994), quando análogo e alvo compartilham características ou recursos, que ele chama de atributos, comuns ou semelhantes, uma analogia pode ser realizada entre eles. A fim de explicar o uso do termo analogia referindo-se à comparação entre similaridades de dois domínios, Duit (1991) propôs o esquema adaptado na Figura 2.

Figura 2 – Significado de analogia



Fonte: Adaptado de Duit (1991).

Conforme a Figura 2, há atributos semelhantes entre análogo e alvo, destacado em azul, o que possibilita uma relação analógica entre eles. Segundo Duit

(1991), a relação analógica, ou a analogia propriamente dita, é simétrica, pois a comparação pode ser realizada nas duas direções – indicada pela seta dupla –, não havendo uma hierarquia lógica. Duit (1991) destaca ainda que é muito comum usar o termo analogia para se referir ao análogo e não à relação entre os domínios. Apesar disso, pensamos não se tratar de um problema, desde que se tenha em mente que quando dizemos “analogia”, nos referimos a todo o processo, visto que o análogo é usado para fazer referência ao alvo por meio das relações analógicas.

Em Curtis e Reigeluth (1984) e Curtis (1988) existem dois principais tipos de relações analógicas. A primeira é do tipo estrutural, na qual análogo e alvo possuem similaridades em termos de construção ou aparência (dimensão, forma, estado, organização espacial etc.) (BARBOSA; ROMERO; MONTEIRO, 2022). Como exemplo, podemos pensar no modelo atômico de Dalton comparado com uma bola de bilhar, cuja semelhança se baseia no formato e na estrutura maciça. A segunda é do tipo funcional que, por sua vez, se estabelece quando os domínios comparados compartilham funções semelhantes, como comportamento, funcionamento, localização, intensidade etc. (BARBOSA; ROMERO; MONTEIRO, 2022). Um exemplo seria a comparação entre mol e dúzia, em que ambas funcionam como unidades de medidas.

Na sequência, fundamentaremos o emprego de analogias no ensino segundo a ótica de teorias de aprendizagem construtivistas.

2.1 PRINCÍPIOS TEÓRICOS QUE RESPALDAM APRENDIZAGEM POR ANALOGIAS

No ensino, as analogias têm como finalidade “esclarecer, estruturar e avaliar o desconhecido a partir do que se conhece” (DUARTE, 2005, p. 8). Nesse cenário, o análogo diz respeito às coisas que fazem parte do contexto de vivência dos alunos, ou seja, seu conhecimento prévio, enquanto o alvo é o conteúdo que se pretende ensinar. Isso vai ao encontro da perspectiva construtivista da aprendizagem e da teoria da Aprendizagem Significativa, pois essas comparações e relações entre os domínios funcionam como pontes que oportunizam relacionar o conhecimento prévio do sujeito com o conhecimento a ser aprendido (GLYNN, 1995; GONZÁLES, 2005; CARMONA, 2021).

Conforme a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (MOREIRA, 2006, 2007), os conhecimentos e esquemas previamente adquiridos pelo sujeito formam uma base de sustentação com subsunções que tornam os novos significados compreensíveis. Dito de outro modo, o conhecimento pré-existente do sujeito permite a construção de uma ponte conceitual para os novos conhecimentos, por meio de um mecanismo cognitivo chamado ancoragem, no qual uma aprendizagem significativa é favorecida (LABURÚ; SILVA, 2011).

Assim como os subsunções, que são os conhecimentos existentes na estrutura cognitiva do sujeito, ancoram novas informações e conceitos, as analogias assumem o papel de resgate e ativação desses conhecimentos para que suceda uma aprendizagem significativa (LABURÚ; SILVA, 2011). Nesse sentido, a construção do conhecimento científico ocorre por meio da formação de relações analógicas entre um conceito alvo, de difícil compreensão, e um exemplo-âncora, ou análogo, que se vale de algo familiar ao estudante. O propósito do exemplo-âncora, portanto, é direcionar as representações prévias e intuitivas do estudante, que são de alguma forma compatíveis ou similares às teorias científicas, para o ponto de vista científico (CLEMENT et al., 1989 apud. LABURÚ; SILVA, 2011). Em outras palavras, por meio de uma aproximação de semelhança, as pontes conceituais e o exemplo-âncora buscam alcançar conceitos desconhecidos a partir de ideias conhecidas.

Pelos mesmos motivos já apresentados, o emprego das analogias no processo de ensino e aprendizagem também encontra respaldo no movimento teórico de mudança conceitual. Brown e Clement (1989), Duit (1991) e Treagust et al. (1996) tratam de analogias, dentro da perspectiva construtivista, como ferramentas valiosas na aprendizagem e como sendo capazes de promover uma mudança conceitual.

Laburú e Silva (2011) atribuem a elaboração do chamado modelo de mudança conceitual ao avanço nas pesquisas em educação científica nas últimas três décadas do século vinte. Moreira e Greca (2003, p. 2), inclusive, classificam a década de oitenta, no que se refere a didática das ciências, como a “década da mudança conceitual”. Esse modelo surgiu a partir do movimento das concepções alternativas no final dos anos setenta e se fundamenta na filosofia da ciência (POSNER et al., 1982) e na psicologia cognitiva (OSBORNE; WITTRICK, 1983).

Segundo Laburú e Silva (2011), o modelo de mudança conceitual passou a ser referência para a compreensão do processo de aprendizagem científica e para a concepção de metodologias de ensino de ciências. Com seu avanço, duas

principais estratégias de ensino foram propostas com a intenção de promover mudanças conceituais (SCOTT et al., 1991 apud. LABURÚ; SILVA, 2011). A primeira, inspirada em Piaget, busca colocar em confronto as ideias científicas e as concepções prévias dos estudantes, por meio do emprego de conflitos cognitivos, pelos quais espera-se que o conhecimento prévio seja abandonado. Diferentemente desta, a segunda estratégia aproveita as ideias prévias do estudante sem a intenção de descartá-las. Para isso, é possível fazer uso de representações, por meio de analogias e metáforas por exemplo, com o objetivo de estender e desenvolver suas concepções em direção ao ponto de vista científico, sem que haja um confronto direto com as concepções do estudante. O objetivo não é que o estudante troque suas concepções pelas científicas, mas que seja favorecida a tomada de consciência de ambos, de modo que a aprendizagem se faça pelas diferenças entre os conhecimentos (LABURÚ; SILVA, 2011). A segunda estratégia vai ao encontro da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel citada anteriormente.

Diante do abordado, as analogias se mostram como instrumento útil para o ensino de ciências, uma vez que contribuem para a construção do conhecimento por oportunizar a transição entre o que o estudante já sabe e a nova informação, facilitando o processo de mudança conceitual e favorecendo a aprendizagem significativa. Nessa mesma direção, Duit (1991) defende que o emprego de analogias se constitui de um processo de aprendizagem que segue princípios construtivistas, visto que favorecem o trânsito entre o desconhecido e o familiar, conduzindo o estudante a reestruturar seus conhecimentos e, possivelmente, a formar novos esquemas ou ainda acrescentar informações àqueles já formados.

Na seção seguinte, contextualizaremos o emprego de analogias na ciência e no ensino e abordaremos as diferentes perspectivas pelas quais as analogias têm sido investigadas nas pesquisas.

2.2 ANALOGIAS NA CIÊNCIA E NO ENSINO

De um ponto de vista histórico, as analogias sempre fizeram parte da ciência como um recurso essencial para comunicar as concepções científicas e possibilitar sua compreensão (GLYNN, 1994; ACEVEDO, 2004; RAVIOLI; GARRITZ,

2008; CARMONA, 2021). Na química, por exemplo, encontramos algumas analogias “clássicas”, tais como as usadas na explicação dos modelos atômicos: o modelo de Dalton comparado a uma bola de bilhar, o de Thomson comparado a um pudim de passas e o de Rutherford/Bohr comparado ao sistema solar. Outro exemplo de analogia que remete à história da química é a fórmula estrutural do benzeno associada a uma cobra mordendo a própria cauda, após um sonho de Kekulé. Atribuímos a frequência das analogias ao fato de os conceitos científicos terem natureza abstrata, o que requer associações com coisas, objetos ou fenômenos conhecidos para se estabelecer. Corroborando com isso, Taylor e Dewsbury (2018) apontam que os cientistas recorrem frequentemente ao raciocínio analógico para desenvolver hipóteses, interpretar resultados e comunicar suas ideias aos pares e ao público. Em outras palavras, o uso de analogias parece ser algo inerente ao desenvolvimento da ciência (BROWN; SALTER, 2010 apud. CARMONA, 2021).

Sob o mesmo ponto de vista, Glynn (1994) argumenta que as analogias têm desempenhado um importante papel na explicação, descoberta e *insight* ao longo da história da ciência e que, por esse motivo, não é surpreendente que professores e autores de livros didáticos recorram rotineiramente às analogias para explicar conceitos complicados. No ensino de química, em específico, Justi (2010) destaca as analogias como um dos modelos de ensino mais utilizados e atribui isso, além da natureza abstrata dos conceitos químicos, à importância do pensamento analógico nos processos cognitivos envolvidos na aprendizagem que, segundo ela, é considerado um componente básico da cognição humana. Para Coll (2006 apud. MOZZER, 2008), alguns conceitos que os alunos consideram difíceis, como estrutura atômica e ligação química, são os que mais se beneficiam das analogias e, não por coincidência, estes são os mesmos conteúdos em que os cientistas mais propõem analogias para expressar suas ideias.

Em conformidade com isso, pesquisas em educação científica têm destacado a utilidade educativa das analogias (CLEMENT, 1993; GLYNN, 1994; DUIT, 1991; OLIVA, 2004; DUARTE, 2005; HARRISON, 2008; MOZZER; JUSTI, 2015; MOZZER; JUSTI, 2018; entre outras). Argumenta-se que utilizar as analogias no ensino pode contribuir para a compreensão de conceitos abstratos por meio de similaridades com conceitos concretos, a visualização desses conceitos, a busca por conhecimentos prévios, ou ainda para possibilitar a modificação de concepções alternativas, partindo sempre do que os estudantes já conhecem (DUIT, 1991;

CLEMENT, 1993; HARRISON, 2008; MOZZER; JUSTI, 2015; MOZZER; JUSTI, 2018).

Ainda sobre as potencialidades das analogias, Glynn (1989) afirma que elas podem ser usadas para prever certos aspectos do domínio alvo e, se for proposto que os estudantes elaborem suas próprias analogias, ajudam na identificação de problemas e equívocos, além de possibilitar que gerem hipóteses. Outros trabalhos também discutem a criação de analogias pelos estudantes (JUSTI; MENDONÇA, 2008; RAVIOLI; GARRITZ, 2008; RAMOS; MENDONÇA; MOZZER, 2019). Justi e Mendonça (2008), por exemplo, propuseram o emprego de analogias no ensino de química com função criativa. No estudo foi solicitado para os alunos que criassesem analogias a fim de explicar a formação de ligações químicas e que explicitassem os seus aspectos positivos e negativos. A partir da elaboração de analogias pelos alunos, a professora pôde identificar as suas dificuldades em relação ao entendimento do conceito e, assim, intervir no ensino em busca de superar os problemas identificados. As autoras consideram que esse tipo de atividade favorece a expressão das ideias dos alunos de modo autêntico e criativo, o engajamento na discussão de ideias, a percepção da importância de considerar as possibilidades e limitações das analogias e, ainda, que tem a possibilidade de ser um instrumento valioso para auxiliar o professor no diagnóstico das concepções dos alunos.

Outro proveito do emprego de analogias, segundo Duit (1991) é a capacidade de despertar o interesse dos estudantes e motivá-los, visto que parte de algo já conhecido por eles. Nesse mesmo viés, ao investigar como os professores de química utilizavam essa ferramenta na prática, Thiele e Treagust (1994) observaram que elas parecem ter um grande impacto motivacional nos alunos, principalmente quando análogos diretamente relevantes para eles são utilizados. Os autores citam como exemplo uma analogia realizada entre um baile estudantil e a teoria da colisão de partículas em uma das aulas que observaram. Destacam, no entanto, que quando os professores usavam analogias mais próximas das suas competências do que das dos alunos, estes demonstravam dificuldades e que isso era reduzido quando o análogo se baseava em experiências mais próximas à realidade deles. Logo, frente às potencialidades discutidas, cabe destacar que se não for utilizada adequadamente, a analogia pode prejudicar o processo de ensino.

Estudos como os de Duit (1991), Clement (1993) e Mozzer e Justi (2015), por exemplo, mostram que nem sempre as analogias alcançam os resultados

esperados. Isso porque, segundo Clement (1993), analogias tidas como óbvias pelos professores podem ser diferentemente interpretadas pelos estudantes. Nesse sentido, Duit (1991) se refere a elas como uma “faca de dois gumes” e pondera que uma analogia só será eficiente se as relações necessárias forem estabelecidas e que se os estudantes tiverem concepções errôneas sobre o análogo, o raciocínio analógico as transferirá para o alvo. O autor afirma ainda que é comum os estudantes estabelecerem relações não pertinentes entre os dois domínios da analogia, interpretando-as de forma literal e imaginando que o familiar e o alvo se encaixam perfeitamente.

Sendo assim, mesmo as analogias sendo úteis e importantes para determinados fins, seu uso requer atenção para não gerar conclusões equivocadas. Alguns problemas identificados na literatura são: esperar que os estudantes identifiquem e compreendam as relações analógicas e que elas sejam claras (DUIT et al., 2001); escolher analogias cujo domínio conhecido não seja familiar ou até mais complexo que o alvo (DUIT, 1991); ignorar e não dar a devida atenção a identificação e discussão das limitações e restrições da analogia (MOZZER; JUSTI, 2013).

As inconveniências resultantes do emprego de analogias, no entanto, podem ser reduzidas se as relações analógicas forem esclarecidas e explicadas aos alunos. Por essa razão, defende-se que é papel do professor auxiliar o aluno no processo de transferência analógica, em vez de apenas apresentar o análogo e o alvo e esperar que o aluno faça as conexões adequadas (THIELE, TREAGUST, 1991). Além disso, é preciso atentar-se para que o análogo seja realmente familiar ao sujeito, de outro modo, o princípio analógico é perdido.

Assim, apesar de diversos estudos apontarem para o potencial das analogias como ferramentas didáticas, é consenso a necessidade de caracterizá-las e detalhá-las, ou seja, esclarecer os domínios comparados, evidenciar as relações e correspondências estabelecidas, suas limitações e restrições (MOZZER; JUSTI, 2015). Nesse sentido, as correspondências entre os elementos ou características dos domínios análogo e alvo, processo que muitos autores chamam de mapeamento das similaridades (GENTNER, 1989; GLYNN, 1991; FERRAZ, TERRAZZAN, 2003; MOZZER; JUSTI; 2015), deve ser realizado de maneira explícita (MOZZER; JUSTI; 2015). Segundo Mozzer e Justi (2015), identificar o que está sendo mapeado, bem como conhecer os domínios comparados, são requisitos para que a analogia seja útil aos propósitos de ensino e para que se identifique as limitações existentes.

A questão das limitações das analogias é um ponto que merece destaque, pois é amplamente enfatizado na literatura. Para Duit (1991) a analogia nunca será uma associação perfeita entre o análogo e o alvo e algumas características dela podem levar a conclusões equivocadas. Vale lembrar que o modo analógico é um meio de apresentar determinado conceito ou ideia a partir de algo análogo, mas não se trata de uma tentativa de retratar o alvo. Sendo assim, os dois domínios comparados possuem “atributos não compartilhados que constituem as limitações da analogia” (RAVIOLI; GARRITZ, 2008, p. 13). Sobre isso, Bozelli e Nardi (2006) apontam a imprescindibilidade de identificar os limites da analogia, ou seja, não só aquilo que é similar, mas também o que não é, já que nem todas as características do domínio familiar possuem correspondência com o domínio em estudo. Nesse viés, Justi (2010) destaca a necessidade de o professor compreender detalhadamente os processos envolvidos no raciocínio analógico para que possam empregar as analogias de forma clara e criativa e, assim, favorecer a aprendizagem.

Corroborando com essa ideia, destacamos o trabalho de Monteiro e Justi (2000) no qual os autores investigam o emprego de analogias em livros didáticos e discutem acerca do papel do professor no uso delas. Dentre as análises realizadas, a indicação das limitações pelo autor do livro foi foco da pesquisa e, de 126 analogias analisadas, somente em duas elas eram citadas e explicadas. A este respeito, três hipóteses foram levantadas:

- (i) os autores podem pensar que limitações analógicas não são relevantes de serem incluídas nos livros;
- (ii) os autores podem estar presumindo que os alunos não têm dificuldade em estabelecer as relações analógicas corretas;
- e (iii) os autores podem estar deixando esta responsabilidade para os professores. Qualquer que seja o caso, a importância de o professor discutir as limitações das analogias apresentadas nos livros fica evidente (MONTEIRO; JUSTI, 2000, p. 16).

No entanto, segundo Mozzer e Justi (2015), a maneira com que os professores fazem uso dessa ferramenta no ensino de ciências, incluindo seu entendimento acerca dela, é, muitas vezes, limitada e inadequada. Thiele e Treagust (1994) e Harrison e Jong (2005), por exemplo, investigaram o emprego de analogias pelos professores e constataram que raramente discutiam as limitações. Conforme Ferraz e Terrezan (2003), utilizar analogias de maneira não planejada, e até de forma inconsciente ou automática, pode favorecer a compreensão equivocada dos conceitos pelos alunos. Em vista disso, algumas estratégias instrucionais foram desenvolvidas.

Glynn (1991), por exemplo, desenvolveu o modelo TWA (*Teaching with Analogies* ou *Ensino com Analogias*) que é dividido em seis etapas: 1. introduzir o conceito alvo; 2. recordar com os estudantes o que eles sabem sobre o conceito análogo; 3. identificar características relevantes do alvo e do análogo; 4. mapear as similaridades; 5. tirar conclusões sobre o alvo e; 6. indicar as limitações da analogia. A principal ênfase do autor está na necessidade de acompanhar mais de perto as analogias em situações de ensino. Além disso, alerta que é fundamental o cumprimento de todas as etapas, embora possa haver variação na ordem em que são realizadas.

Treagust, Harrison e Venville (1998) fazem uma crítica do modelo TWA, afirmando que a quantidade de etapas pode atrapalhar a implementação, visto que, em uma situação real, uma ou mais etapas têm chance de serem esquecidas. Motivados por isso, propuseram o Guia FAR (*Focus-Action-Reflection ou Foco-Ação-Reflexão*), em que há três etapas para apresentar e interpretar as analogias: 1. foco – identificar o que os estudantes sabem e entender o objetivo da analogia; 2. ação – garantir que o análogo é realmente familiar aos estudantes e abrir espaço para discutir as similaridades e diferenças entre os domínios; e 3. reflexão – refletir sobre os objetivos, resultados alcançados e se a analogia foi realmente útil. Os autores enfatizam que cada uma das etapas pode ser conciliada de acordo com o planejamento do professor.

Clement e Brown (1989 apud. CLEMENT, 1993) também elaboraram uma estratégia, chamada Analogias Ponte (“*Bridging Analogies*”), com base em estudos das concepções alternativas e intuitivas de estudantes na área de física. Tomando consciência de que nem sempre a relação entre o análogo e o alvo é imediatamente compreendida, os autores propõem uma ou mais analogias intermediárias (analogia ponte), que se relacionem umas com as outras e minimizem um grande “salto” entre os dois domínios. Ao transitar entre as analogias, são estabelecidas discussões que procuram fazer uma ligação entre elas e, assim, engajar o estudante no desenvolvimento do raciocínio analógico.

Os trabalhos apresentados têm em comum o destaque para a necessidade de evidenciar as similaridades entre o análogo e o alvo, com o objetivo de garantir que as relações analógicas almejadas pelo professor sejam estabelecidas pelos estudantes (MOZZER; JUSTI, 2015). O modelo TWA e o Guia FAR buscam ainda garantir que as limitações da analogia sejam identificadas para que elas não

sejam interpretadas e extrapoladas de forma inadequada (MOZZER; JUSTI, 2015). Embora o modelo TWA e o Guia FAR proponham como etapas a compreensão do análogo, o mapeamento das similaridades entre análogo e alvo e a identificação das limitações das analogias, elas são trazidas como uma estratégia de ensino com analogias e não delimitam de forma sistemática uma análise estrutural da analogia em si, lacuna a qual buscamos preencher com a proposta teórico-metodológica desta tese.

Como o foco da pesquisa são as analogias pictóricas, na próxima seção discutiremos trabalhos que focam nesse tipo em específico.

2.3 ANALOGIAS PICTÓRICAS

As analogias pictóricas são aquelas nas quais o domínio análogo é reforçado por uma imagem, que pode ser um desenho ou uma fotografia (CURTIS; REIGELUTH, 1984), ou seja, são utilizadas para fazer referência a um domínio diferente do que é retratado na imagem (ISSING, 1990). Na literatura, elas são diferentemente denominadas como analogias pictóricas (BEAN et al., 1990; ISSING, 1990; THIELE; TREAGUST, 1991; LIN; SHIAU; LAWRENS, 1996), analogias ilustradas (GINESTE; GILBERT, 1995) analogias pictórico-verbais (CURTIS; REIGELUTH, 1984) e analogias ilustrativo/verbais (MONTEIRO; JUSTI, 2000). Apesar de darem diferentes enfoques, diversas pesquisas analisam o uso de imagens como forma de apoiar as analogias em situações de ensino.

Ao investigar de que forma as analogias têm sido apresentadas em livros brasileiros para o ensino de química no nível médio, Monteiro e Justi (2000) indicam a frequência de analogias verbais, ilustrativos/verbais e somente ilustrativas. Os autores analisaram 11 coleções de livros, totalizando 28 volumes, e encontraram 126 analogias. Como resultado, encontraram que a maioria das analogias eram ilustrativo/verbais (53,96%), seguida pelas verbais (43,65%) e ilustrativas (2,3%). Os autores apontam que a aprendizagem se torna mais eficiente quando se utiliza a ilustração, pois essa favorece a compreensão do análogo e, consequentemente, do alvo. Com efeito, as ilustrações são utilizadas para apoiar a analogia. Apesar disso, verificaram que, em muitos casos, as ilustrações mostram-se desnecessárias, induzem a erros conceituais ou complicam a sua compreensão. Concluem que isso

se deve a fatores como a falta de indicação das limitações e explicações consistentes. Quanto ao fato de apontar que há ilustrações desnecessárias, argumentam que algumas não adicionam informações diferentes do texto.

Porém, apoiado nos referenciais da multimodalidade representacional discutidos no primeiro capítulo, entendemos que, longe de serem redundantes, diferentes representações do mesmo conteúdo permitem auxiliar a compreensão e favorecer a aprendizagem. Entendemos, assim como afirmado por Laburú et al. (2014), que utilizar representações variadas oportuniza que as preferências e habilidades de diferentes sujeitos sejam estimuladas. Em outras palavras, a representação ilustrativa/imagética pode ser mais adequada ao perfil subjetivo de um estudante, enquanto para outros a expressão verbal seria melhor ou suficiente.

Além disso, para Curtis e Reigeluth (1984), enquanto as analogias exclusivamente verbais exigem que o aluno providencie a própria visualização do análogo, as que recorrem à imagem fornecem isso a ele. Os autores afirmam que analogias estritamente verbais podem ser suficientes para compreender as relações analógicas, mas ponderam que as pictórico-verbais podem ser mais eficientes quando forem destinadas a alunos com baixas habilidades.

Issing, Hannemann e Haack (1989) discutem a visualização por analogias pictóricas na compreensão de textos expositivos. Segundo eles, as analogias pictóricas auxiliam na interpretação de novas informações. Porém, destacam a necessidade de decodificar a analogia e de descrever os componentes relevantes representados na ordem correta.

Issing (1990) publicou uma pesquisa sobre o ensino com analogias pictóricas e discutiu a ligação do texto informativo que geralmente as acompanha. Concluiu que as analogias pictóricas são valiosas na aprendizagem por apoiar, especialmente, a compreensão das relações estruturais e funcionais contidas na informação verbal. O autor reforça que o processo de entender e realizar as relações de similaridade entre análogo e alvo deve ser apoiada pelos autores de materiais didáticos ou professores, de forma a interconectar a informação alvo do texto com as características relevantes da analogia pictórica utilizada.

Bean et al. (1990) combinaram analogias pictóricas com sua forma escrita, a fim de verificar se elas produziriam maior compreensão de conceitos de biologia do que o uso apenas da representação verbal. Os resultados indicaram que, ao integrar analogias pictóricas e escritas no momento da instrução, os alunos

apresentaram uma compreensão significativamente melhor do que seus pares em condições em que a representação pictórica não foi incluída. Os autores argumentam que o uso de analogias se justifica por auxiliar os alunos a formarem imagens mentais de um conceito alvo e que essa imagem pode ser aprimorada quando combinada a analogias pictóricas.

Thiele e Treagust (1991), ao investigar analogias no ensino química, defendem que, dada a ênfase no uso dessa ferramenta para tornar os conceitos abstratos mais fáceis de serem aprendidos, o uso de imagens é considerado mais vantajoso, visto que o processo de visualização é muito importante na aprendizagem dos conceitos. Segundo os autores, a analogia pictórica permite a introdução dos atributos do análogo evitando que o aluno crie mentalmente atributos não presentes. Por fim, ressaltam que a vantagem de usar imagens para apresentar o análogo e que ela deve aumentar a probabilidade de que o análogo seja familiar aos estudantes. Nesse mesmo sentido, Gineste e Gilbert (1995) defendem que as ilustrações assumem a função de materializar um conhecimento, facilitar seu resgate e oferecer um suporte figurativo.

Lin, Shiao e Lawrens (1996) avaliaram qualitativamente e quantitativamente a eficácia do ensino de ciências, especificamente com analogias pictóricas. Para isso, empregaram analogias verbais em uma turma controle e analogias pictórico-verbais em outra. No estudo, constataram que os alunos ensinados com analogias pictóricas tiveram melhor desempenho do que seus colegas. Além disso, identificaram que os alunos que já tinham baixo desempenho foram os que mais se beneficiaram dessa estratégia.

Diversos estudos que investigam o emprego de analogias no ensino de ciências utilizam analogias verbais seguidas de representações pictóricas (BROWN; CLEMENT, 1989; DUIT, 1990; CLEMENT, 1993; HARRISON; TREAGUST, 1993; TREAGUST et al., 1996; MONTEIRO; JUSTI, 2000; OLIVA et al., 2003; etc.) entretanto, poucas são as que focam unicamente nas representações pictóricas (CURTIS; REIGELUTH, 1984; THIELE; TREAGUST, 1991; GINESTE; GILBERT, 1995; LIN; SHIAU; LAWRENS, 1996). Além disso, não encontramos trabalhos que discutam a interpretação de imagens usadas com função de analogias da perspectiva comunicacional da semiologia.

Em decorrência disso, e levando em consideração as potencialidades e ressalvas do emprego do recurso analógico, propomos na tese um instrumento que

permita analisar analogias pictóricas, de modo a diferenciar os significados atribuídos ao análogo e ao alvo, evidenciar as similaridades entre um domínio e outro e identificar suas limitações. No próximo capítulo serão abordadas as bases teóricas da semiologia para, na sequência, realizar a articulação dos referenciais teóricos e explicar o instrumento analítico.

3 FUNDAMENTOS DA SEMIOLOGIA

A semiologia foi concebida com “uma ciência que estuda a vida dos signos no seio da vida social” (SAUSSURE, 2012, p. 47). Ela teve origem a partir da obra póstuma, *Curso de Linguística Geral* (CLG), de Ferdinand de Saussure, publicada em 1916, que reúne anotações de alunos que assistiram seus cursos ministrados na Universidade de Genebra (1906-1911), tendo sido editada e publicada após seu falecimento (SOUZA; SILVEIRA, 2020). Em sua essência, a semiologia é um tipo de teoria social baseada na linguística (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014). Partindo do pressuposto que o pensamento é moldado pela linguagem, e que ele molda a cultura, Johnson (2011, p.6) afirma que “se estivermos procurando uma chave mestra para encontrar o sentido da cultura e, em particular, da cultura científica, faz sentido começar pelas estruturas fundamentais da própria linguagem, tais como signos”. Por meio das ferramentas fornecidas pela semiologia, podemos interpretar qualquer discurso (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014), incluindo os multimodais.

A perspectiva semiológica ajuda a entender como a linguagem natural, as representações visuais e as demais representações usadas na ciência formam um único sistema de construção do sentido (LEMKE, 2003). Para Lemke (2003), a semiologia é útil tanto por sua explicação a respeito da linguagem, quanto para a construção do sentido como prática social. Por essa perspectiva, entende-se que os signos não operam sozinhos, mas fazem parte de um processo contínuo de construção de significados. Na comunicação com os outros, na resolução de problemas ou realização de atividades práticas, as representações semióticas são mobilizadas dentro de sistemas organizados de signos, nos quais cada signo, embora tenha um significado em específico, se relacionam entre si na construção do sistema (LEMKE, 2003).

Existem duas correntes que se ocupam do estudo dos signos, do sentido e da comunicação: a semiologia e a semiótica. Geralmente, o termo semiótica é relacionado aos estudos pautados na visão peirceana, enquanto a semiologia é usada por aqueles que têm presente a definição saussuriana (ECO, 1997). É importante ressaltar que essa ciência dos signos teve uma origem dupla e simultânea, visto que Charles Sanders Peirce (1839-1914) e Ferdinand de Saussure (1857-1913) fundaram, respectivamente, a semiótica e a semiologia ao mesmo tempo e sem que um tivesse conhecimento das pesquisas do outro (FIDALGO; GRANDIM, 2005).

A fim de mostrar uma breve diferenciação, Eco (1997) aponta, baseado nas ideias de Barthes, que a semiologia estuda todos os sistemas de signos como reportáveis a leis da linguagem. Em contrapartida, um estudo dos sistemas de signos que não necessariamente dependa da linguística, se refere à Semiótica (ECO, 1997). Como usaremos, em maior parte, as discussões e pressupostos de Saussure, optamos por adotar a nomenclatura semiologia, compreendendo-a, assim como Eco (1997, p. 386), como “uma teoria geral da pesquisa sobre fenômenos de comunicação vistos como elaboração de mensagens com base em códigos convencionados como sistemas de signos”. Portanto, mesmo quando aplicada a sistemas de signos não linguísticos, ela recai sobre regras advindas da linguística. Para Saussure (2012, p. 108) “a linguística pode erigir-se em padrão de toda a semiologia”.

Saussure postulou que a semiologia se trata de uma ciência geral dos signos da qual a linguística faz parte (BARTHES, 2012). Nesse sentido, possui como objeto de estudo qualquer sistema de signos, incluindo a linguagem em todas as suas formas, as imagens, os gestos, os sons, os objetos e os sistemas de significação mais complexos advindos deles. A esse respeito, Barthes (2012) levanta questões que contrapõem a ideia de que a linguística seria se não uma parte da semiologia, visto que quaisquer outros conjuntos significativos recaem na linguagem. Os gestos, as imagens, sinais sonoros etc. podem significar, e de fato significam, mas nunca de forma independente, ou seja, qualquer sistema semiológico é mediado pela linguagem (BARTHES, 2012). Para Barthes (2012, p. 14),

[...] parece cada vez mais difícil conceber um sistema de imagens ou objetos, cujos significados possam existir fora da linguagem: perceber o que significa uma substância é, fatalmente, recorrer ao recorte da língua: sentido só existe quando denominado, e o mundo dos significados não é outro senão o da linguagem.

Mesmo que a princípio se trabalhe com objetos não linguísticos, o estudo semiológico encontrará a linguagem em seu caminho, seja na mediação ou na composição do significado. Portanto, Barthes (2012, p. 14) considera que “a Linguística não é uma parte, mesmo que privilegiada, da ciência geral dos signos: a Semiologia é que é uma parte da Linguística; mais precisamente, a parte que se encarregaria das grandes unidades significantes do discurso”.

O propósito aqui não é defender que a linguística faça parte da semiologia ou vice-versa, mas apresentar visões divergentes de Barthes e Saussure

a esse respeito. Essa questão será retomada à frente, na seção que tratará de sistemas de signos não linguísticos. Para concluir este ponto, destacamos que a semiologia é considerada por Eco (1997) como um domínio interdisciplinar pelo qual qualquer fenômeno cultural pode ser examinado sob a ótica da comunicação. Em outras palavras, realça-se a natureza comunicacional do fenômeno examinado através de instrumentos adequados.

Nas próximas seções serão apresentadas noções fundamentais da semiologia, como as de signo, processos de significação e eixos estruturantes da linguagem. Ainda que o foco deste capítulo seja apresentar definições gerais e instrumentos da semiologia, o objetivo é organizar um fundamento teórico-metodológico que possibilite analisar analogias pictóricas e que possa gerar contribuições para o campo do ensino de ciências.

3.1 SIGNO: SIGNIFICANTE/SIGNIFICADO

Tendo um enfoque estruturalista, a linguagem na semiologia é vista como um sistema constituído de unidades chamadas signos e no qual existem regras que as mantém unidas (PENN, 2002). Saussure foi o precursor do estruturalismo, embora esse termo não fosse ainda utilizado quando ministrava seu curso de linguística (SAUSSURE, 2012).

Sobre essas unidades chamadas signo, Saussure (2012) as define como uma entidade de dupla face que une um significado a um significante ou, respectivamente, um conceito a uma imagem acústica. O conceito é a representação mental de algo, sendo condicionada pela formação sociocultural do sujeito, ou seja, conceito é usado como sinônimo de significado. Já o significante, ou imagem acústica, é o veículo do significado (som, símbolo, gesto, imagem etc.), mas não é uma coisa material, puramente física, e sim a impressão psíquica dele. A essência psíquica da imagem acústica pode ser observada em nossa própria linguagem. Não precisamos escrever ou mover os lábios para pensar ou recitar um poema mentalmente, justamente porque as palavras são para nós imagens acústicas (SAUSSURE, 2012).

Independente do sistema de signos, linguísticos ou não, o significante sempre apontará para um significado. Porém, seja qual for o meio de expressão do significante ou recurso perceptivo ou modo de representação como já apontamos em

capítulo anterior (verbal, imagético, simbólico etc.), o significado terá sempre a mesma natureza (PENN, 2002). O signo é, portanto, uma entidade psíquica de duas faces, a qual Saussure representou conforme a Figura 3.

Figura 3 – Signo linguístico como entidade psíquica de duas faces



Fonte: Saussure (2012, p. 107).

Significado e significante são partes inseparáveis do signo e, embora essas duas entidades possam ser analisadas separadamente, estão intimamente ligadas e são interdependentes. Em outras palavras, sem significante não existe significado e sem significado não há significante. Um exemplo seria o signo “árvore”, que só pode ser chamado de signo porque exprime o conceito de árvore a partir de sua forma de expressão, que pode ser a palavra “árvore” ou uma imagem da árvore, de modo que a ideia da parte sensorial implica a do total (SAUSSURE, 2012).

Não cabe, porém, pensar que o signo se traduz na atribuição de um significante a um significado preexistente ou, ao contrário, na soma de um significado a um significante que já tenha sido dado (VOLLI, 2007). A partir do momento em que a relação entre as duas faces do signo se instaura, não é possível pensar em significado sem seu significante e vice-versa, pois são inseparáveis como duas faces de uma folha de papel (VOLLI, 2007). Caso se retenha apenas um desses elementos, no lugar de um objeto concreto, haverá apenas uma abstração (SAUSSURE, 2012). Ainda segundo Saussure (2012), poderia se pensar na composição química da água, que é a combinação do hidrogênio e do oxigênio. No entanto, se tomados separadamente, nenhum desses elementos tem as propriedades da água.

Para Saussure (2012), o signo linguístico, assim definido, apresenta duas características primordiais: a arbitrariedade e a linearidade. A união entre significante e significado é imotivada, portanto, arbitrária, o que explica cada idioma usar diferentes significantes para um mesmo significado (PERUCCI, 2015). Saussure

(2012) pontua que o conceito (significado) de mar não possui nenhuma relação obrigatória com a palavra mar (significante), que poderia ser representado por outro significante escrito qualquer (*mer* em francês, *sea* em inglês etc.). Entretanto, não é arbitrária do ponto de vista do sujeito falante, pois depende do contexto cultural ao qual ele está inserido: “com efeito, todo meio de expressão aceito numa sociedade repousa em princípio num hábito coletivo ou, o que vem a dar na mesma, na convenção” (SAUSSURE, 2012, p. 108). Assim, não se deve pensar que o significado seja dependente da livre escolha de quem fala.

É preciso ponderar, no entanto, que os símbolos são uma exceção, pois jamais serão completamente arbitrários, ou seja, “existe um rudimento de vínculo natural entre o significante e o significado” (SAUSSURE, 2012, p. 108). Um exemplo é a balança como símbolo da justiça, que não poderia ser substituída por um objeto qualquer, como um carro (SAUSSURE, 2012).

Para Santaella (2005), a arbitrariedade, ou a convencionalidade, é o traço mais característico do signo linguístico. Embora a linguagem tenha um caráter individual, em que cada sujeito cria significações próprias, ela também possui caráter social, já que seus significados são compartilhados por um grupo de falantes. Desta forma, um signo pode ser uma unidade constitutiva, coletiva e bem determinada e, ao mesmo tempo, possuir alto grau de particularidade de seus significados, sem fronteiras definidas (SANTAELLA, 2005).

A segunda característica do signo linguístico é a linearidade. Ela estabelece que cada termo de um enunciado segue uma determinada ordem de sucessão na cadeia da fala ou da escrita, ou seja, seus elementos se apresentam um após o outro. Na linguagem verbal oral, os significantes se desenvolvem na sucessão do tempo, enquanto na escrita se desenvolvem pela linha espacial dos signos gráficos (SAUSSURE, 2012). Nas palavras de Saussure (2012, p. 110) “o significante, sendo de natureza auditiva, desenvolve-se no tempo, unicamente, e tem as características que toma do tempo: a) representa uma extensão, e b) essa extensão é mensurável numa só dimensão: é uma linha”. Em contrapartida, os signos visuais se desenvolvem em várias dimensões, mas essa questão será retomada mais à frente.

3.2 SIGNIFICAÇÃO E VALOR

A significação é entendida como o processo que une o significante e o significado, cujo produto é o signo (BARTHES, 2012; COELHO NETTO, 2003; SAUSSURE, 2012). Coelho Netto (2003) destaca que o significado não deve ser confundido com a significação de um signo e que a significação é a efetiva união entre significado e significante. Para o autor, a significação é um processo individual, determinado pelo tempo e espaço, ao passo que o significado depende da convenção social, ou seja, vem antes e acima do ato individual (COELHO NETTO, 2003). A fim de compreender essa afirmação, tomemos o seguinte exemplo:

Uma pessoa vê-se diante do signo ‘macutena’. Supondo-se que não conheça previamente seu significado, o que ela vê aí é um simples significante, estando no máximo autorizada a dizer (pelo modo como a palavra está composta) que se trata de um possível signo. O fato de não conhecer o significado desse signo não implica, naturalmente, a inexistência desse significado: ele está no dicionário, devidamente transscrito. Trata-se, portanto, de um signo perfeito, com significante e significado. Para essa pessoa, porém (que não conhece seu significado), esse signo não tem significação. A partir do momento em que alguém lhe diz: o significado de ‘macutena’ é ‘pessoa azarenta’, ela está em condições de unir esse significado ao significante dado, formando-se aí, para ela, a significação do signo. [...] a significação é uma questão fenomenológica, só sendo possível de delimitação e descrição numa manifestação concreta e isolada (COELHO NETTO, 2003, p. 23).

O processo de significação foi representado graficamente por Hjelmslev (apud. BARTHES, 2012) como a relação (R) entre o significante, que constitui o plano da expressão (E), e o significado, que constitui o plano de conteúdo (C). Neste caso, o sistema obtido (signo) é dado por ERC (BARTHES, 2012; COELHO NETTO, 2003). Porém, segundo Barthes (2012) o signo não pode ser tratado somente como a união do significante e significado, pois resta ainda considerá-lo em relação aos seus “contornos”, que é a questão do valor (BARTHES, 2012).

O valor de um signo é determinado pelo que está à sua volta e depende da relação recíproca com outros signos (COELHO NETTO, 2003). Para Saussure (2012), o valor constitui um elemento da significação, mas pondera ser necessário esclarecer suas diferenças. Uma mensagem qualquer é composta por diversos signos e cada um adquire valor à medida em que se relaciona com os outros. Cada signo é dividido em duas partes, significante e significado, e a união delas constituem a significação. Por conseguinte, entre os diferentes signos que compõem

a mensagem e suas respectivas partes instaura-se relações, de maneira que a significação é determinada pelo valor e o valor é afetado pela significação (COELHO NETTO, 2003).

Saussure (2012, p. 161) aponta essa questão como um aspecto paradoxal: “[...] de um lado, o conceito nos aparece como a contraparte da imagem auditiva no interior do signo, e, de outro, esse mesmo signo, isto é, a relação que une seus dois elementos, é também, e de igual modo, a contraparte dos outros signos da língua”. Nesse sentido, o sistema linguístico é tido como solidário, visto que o valor se origina da presença simultânea de outros signos.

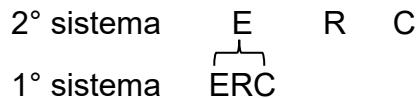
Por exemplo, o signo ‘cobra’ pode remeter a um ‘réptil’ ou a ‘pessoa maldosa e não confiável’ dependendo da relação com seu entorno, ou seja, os signos que estão à sua volta ou o contexto em que ele aparece. As relações que unem os signos se desenvolvem em duas esferas distintas e cada uma gera certa ordem de valor. Essa ideia exprime o princípio dos eixos estruturantes da linguagem, que será retomado em uma seção mais adiante. Por enquanto, importa saber que a produção de sentido não é concebida apenas como a união de significante e significado. O sentido será fixado somente a partir da determinação da significação e do valor (BARTHES, 2012), o que nos leva à abordagem de dois fenômenos: denotação e conotação (COELHO NETTO, 2003).

3.3 NÍVEIS DE SIGNIFICAÇÃO: DENOTATIVO E CONOTATIVO

A relação entre significante e significado, segundo a análise estrutural do signo de Saussure, aparece de maneira simples, direta e bem delimitada em certos casos, enquanto em outros, o significante pode evocar significados mais amplos e vagos (VOLLI, 2007). Lembremos que o significante constitui o plano de expressão (E), o significado o plano de conteúdo (C) e que a significação coincide com a relação (R) entre os dois planos (BARTHES, 2012). O sistema ERC compõe o signo denotativo, que veicula o primeiro significado. Por sua vez, o signo conotativo traz outro significado, que será agregado ao primeiro pela mesma relação significante/significado. Nesse cenário, o primeiro sistema se torna mero elemento de um segundo sistema (BARTHES, 2012; COELHO NETTO, 2003): “o primeiro sistema (ERC) tona-se o plano de expressão ou significante do segundo sistema” (BARTHES,

2012, p. 113), conforme expresso na Figura 4:

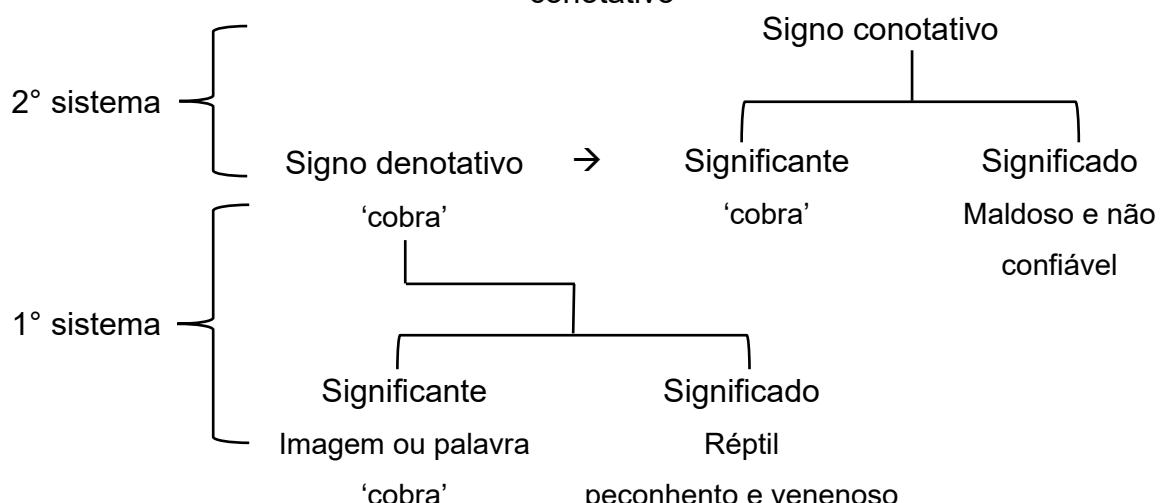
Figura 4 – Primeiro e segundo sistemas e significação



Fonte: Barthes (2012, p.113).

Retomando o exemplo dado anteriormente, na frase ‘tem uma cobra na minha casa’ o signo ‘cobra’ pode atribuir à mensagem duas significações diferentes, conforme o contexto: tomado de forma literal, a denotação é que um réptil, peçonhento e venenoso, invadiu a minha casa; em um sentido figurativo, conotamos que uma pessoa que está na minha casa é maldosa e não confiável. O signo ‘cobra’ une um significante (uma imagem ou a própria palavra) e um significado (réptil peçonhento e venenoso), dando origem ao sistema de primeiro nível (denotação). Entretanto, no segundo nível (conotação), perde-se a literalidade e o signo se torna um andaime para uma significação que ultrapassa a significação original: o signo ‘cobra’ torna-se significante para outro significado ‘maldoso e não confiável’. Desta forma, o sistema conotativo pode ser diferentemente decifrado dependendo do léxico (sistemas de significantes) que o indivíduo possui, resultando em leituras mais ou menos “profundas” (BARTHES, 2012, p. 60). A Figura 5 ilustra a relação entre os dois sistemas usando o exemplo do signo ‘cobra’.

Figura 5 – Metáfora espacial da relação entre sistemas de signo denotativo e conotativo



Fonte: Adaptado de Barthes (apud PENN, 2002, p.323).

Conforme Coelho Netto (2003, p. 24), a conotação está ligada à significação e ao valor, portanto, “esse fenômeno não está situado ao nível do signo isolado, mas, sim, ao nível do discurso em sua totalidade no qual se insere o signo em questão”. Deste modo, a conotação também pode ser entendida como uma outra forma de conceber o signo a partir de uma concepção subsidiária dele. Em Pietro (apud COELHO NETTO, 2003, p. 25), a operação realizada no primeiro sistema é de representar, designar e anotar. Por isso, diz que o termo ‘denotação’ poderia ser substituído por ‘notação’. Por sua vez, a segunda operação se realiza com a notação inicial e sobre ela.

Destacamos que, ao passar do signo denotativo para o signo conotativo, não ocorre uma substituição de significados. O significado denotativo continua no signo, unido ao seu significante. Por esse motivo é que surge a ambiguidade das mensagens (COELHO NETTO, 2003).

3.3.1 Arbitrariedade e Motivação

Uma diferença importante entre linguagem e imagem está relacionada a distinção entre arbitrário e motivado (PENN, 2002). O significante, como já discutido, é “um mediador (material) do significado”, mas não há uma ligação natural entre eles² (o conceito de mar não leva a imagem acústica de mar, motivo pelo qual essa imagem acústica é diferente em outras línguas) (BARTHES, 2012, p. 63). Porém, a união significante/significado repousa em uma construção coletiva, a qual Saussure chamou de convenção. Nesse sentido, Claude Lévi-Strauss (apud BARTHES, 2012, p. 64) afirma que o signo linguístico é arbitrário, ou, imotivado *a priori*, mas não *a posteriori*. O signo passa a ser entendido, então, como relativamente motivado, pois a significação é sustentada pelo que Claude Lévi-Strauss chama de naturalização (BARTHES, 2012).

Afora da língua, no entanto, existem sistemas de signos altamente motivados (BARTHES, 2012). “A fotografia, por exemplo, repreSENTA seu sujeito de

² Em Barthes (2012, p.64) “[...] há certa motivação no caso (restrito) das onomatopeias e sempre que uma série de signos é estabelecida pela língua por imitação de certo protótipo de composição ou derivação: *pereira*, *laranjeira*, *mangueira* etc., uma vez estabelecida a imotivação entre seu radical e seu sufixo, apresentam uma analogia de composição”.

maneira mais ou menos fiel, e é por isso o tipo de signo menos arbitrário” (PENN, 2002, p.323). Da mesma forma, certas imagens podem ser motivadas, seja pela representação mais ou menos fiel do objeto ou fenômeno representado, ou pela convenção conforme o signo linguístico.

Uma maneira de analisar a questão da motivação é sob a ótica dos sistemas de significação denotativo e conotativo (PENN, 2002). A significação do sistema, no nível denotativo, depende apenas de conhecimentos antropológicos e linguísticos, sendo relativamente motivada ou convencionada. Por sua vez, na conotação serão necessários conhecimentos adicionais e a interpretação dependerá de diferentes saberes, conforme as diferenças de “cultura”, sendo, consequentemente, mais arbitrário, ou imotivado (BARTHES, 2012; PENN, 2002).

Para Barthes (2012) a motivação relativa da articulação significativa da denotação é sustentada pela naturalização do arbitrário apriorístico indicado por Claude Lévi-Strauss, enquanto outros sistemas, como a conotação, podem ir da motivação para a imotivação. No entanto, Barthes (2012) defende que há sempre uma tendência em naturalizar o imotivado e culturalizar o motivado. Dito de outro modo, o signo denotativo é imotivado *a priori*, mas é naturalizado pela convenção, tornando-se motivado. Por conseguinte, o signo conotativo, imotivado, tende a ser naturalizado pela denotação, enquanto a conotação enriquece de léxicos o signo denotativo.

3.4 EIXOS ESTRUTURANTES DA LINGUAGEM

As discussões feitas até este momento levam a compreender que o processo de significação ocorre por uma série de relações, como entre significante/significado e denotação/conotação. A primeira tem como característica a arbitrariedade que, como já vimos, é relativa, visto ser dependente de convenções sociais, e não da livre escolha do falante. A última decorre das relações dos signos com seu entorno, que permite a atribuição de valores a cada um individualmente e ao sistema complexo de signos em que está inserido (uma frase, um texto ou um discurso qualquer). Em Saussure (2012), o todo de um discurso vale pelas suas partes, assim como suas partes têm um valor em virtude da significação de seu todo. Portanto, surge uma relação recíproca entre cada elemento individual do discurso com o significado geral dele.

Retomando da seção em que se definiu signo, o estruturalismo comprehende que a língua é um sistema, ou seja, um conjunto de unidades, chamadas signos, que seguem certos princípios de funcionamento e que juntas constroem um todo coerente (COSTA, 2011). No que se refere aos princípios que mantém os signos unidos, Saussure distingue dois eixos que estruturam o sistema linguístico: as relações sintagmáticas e paradigmáticas. Segundo ele, “as relações e diferenças entre termos linguísticos se desenvolvem em duas esferas diferentes, cada uma das quais é geradora de certa ordem de valores” (SAUSSURE, 2012, p. 171).

As relações sintagmáticas partem do princípio de que um elemento da comunicação está ligado a todos os elementos que lhe estão próximos. Via de regra, na linguagem verbal, não usamos palavras (signos) isoladas³, mas sim uma sequência complexa da qual elas são componentes, como frases (VOLLI, 2007). Assim, os termos, em um discurso, estabelecem entre si, em efeito de seu encadeamento, relações firmadas no caráter linear da língua, excluindo a possibilidade de expressar dois termos simultaneamente (SAUSSURE, 2012). Na cadeia da fala, cada termo se alinha um após o outro, e a combinação destes, baseada na extensão, são chamadas de sintagma que “[...] se compõe sempre de duas ou mais unidades consecutivas” (SAUSSURE, 2012, p. 171).

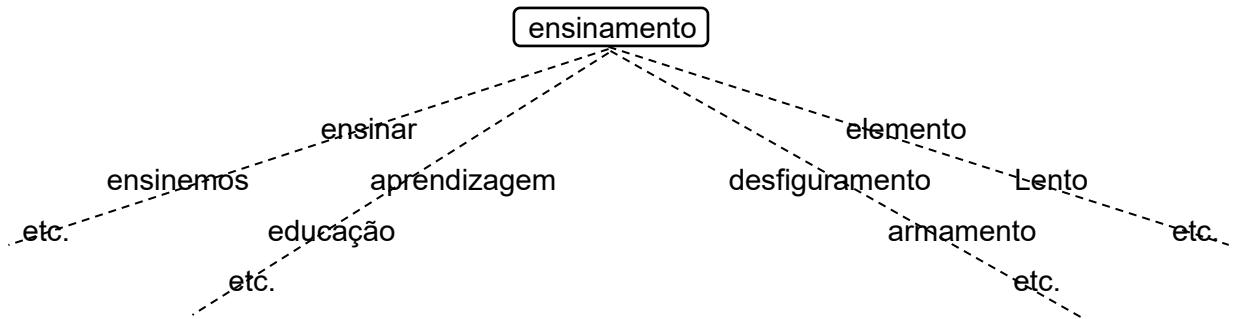
O processo de construção do conjunto significativo (sintagma) “não é livremente inventado por quem o realiza, mas corresponde a certos modelos gerais, que estão à disposição de quem produz a comunicação e de quem a recebe, e constituem a norma, necessária para que a comunicação funcione” (VOLLI, 2007, p. 55). Em outras palavras, existem regras na construção do sintagma e cada elemento precisa ser combinado seguindo uma sequência lógica. Tomemos como exemplo a frase ‘a Ariel está usando saia longa’, que consiste em um sistema que envolve vários signos, no caso termos linguísticos, e formam um conjunto significativo (PENN, 2002). É possível reestruturá-la, de forma coerente, trocando a posição dos termos por ‘longa saia a Ariel está usando’, mas seria ininteligível dizer ‘saia a usando está Ariel longa’. Para que haja sentido, é necessário que algumas combinações sejam permitidas e outras não, e que nem todas sejam equivalentes (VOLLI, 2007).

³ A exceção são unidades independentes da língua, como *sim*, *não*, *obrigado* etc., que não apresentam relações sintagmáticas, nem com outras partes, nem com outras unidades (SAUSSURE, 2012, p.117), mas, geralmente, não conseguimos exprimir ideias complexas a partir de unidades simples.

Nessa perspectiva, as relações sintagmáticas determinam que cada termo do sintagma se ordena um após o outro, e que cada um obtém valor, ou sentido, conforme se relaciona com seu anterior ou posterior, ou ambos (SAUSSURE, 2012). Na frase ‘a Ariel está usando saia longa’, cada termo ocupa um lugar no sintagma, e a oposição, ou contraste, com os termos que o precedem ou o seguem determina seu valor. A partir da articulação das palavras, podemos atribuir significados a frase, em um processo de significação: a ↔ Ariel = gênero feminino; Ariel ↔ está = em certo momento; está ↔ usando = condicionalmente; usando ↔ saia = vestindo; saia ↔ longa = característica. Essas relações podem nos fazer significar que se trata de uma mulher que está vestindo certo tipo de roupa e, provavelmente, em um local que não seja muito frio. Destacamos, no entanto, que essa é uma análise do processo de significação a partir de possíveis relações sintagmáticas, mas elas são possíveis somente por conta do vínculo estabelecido com o segundo eixo estruturante da linguagem, as relações paradigmáticas. Assim como ocorre na análise estrutural do signo, as relações sintagmáticas e paradigmáticas podem ser analisadas separadamente, porém, a significação ocorre somente com a união delas.

As relações paradigmáticas, assim como a anterior, também estabelecem relações com outros elementos comunicativos, todavia, de maneira mais abstrata (VOLLI, 2007). Fora do discurso, termos que apresentam algo em comum se associam na memória, formando grupos dentro dos quais imperam relações diversas (SAUSSURE, 2012). As relações paradigmáticas, portanto, são relações associativas entre cada termo do discurso e outros que se assemelham, ou se opõem, em algum aspecto. Nesse sentido, cada termo adquire sentido à medida que se associa mentalmente a outros termos ou classes do repertório cognitivo do sujeito (SAUSSURE, 2012). Nas palavras de Saussure (2012, p. 175) “uma palavra qualquer pode sempre evocar tudo quanto seja suscetível de ser-lhe associado de uma maneira ou outra”. O autor compara um termo dado como o centro de uma constelação, para o qual convergem outros termos mentalmente associados, conforme a Figura 6.

Figura 6 – Paradigmas de ‘ensinamento’

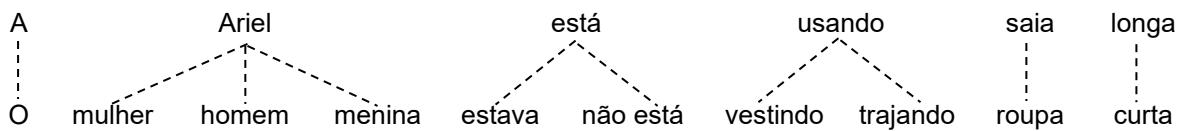


Fonte: Saussure (2012, p.175).

Os termos que possuem algo em comum com ‘ensinamento’ são associados na memória e formam grupos em que se estabelecem relações diversas, os quais Barthes (2012) chamou de paradigmas. No caso da Figura 6, ensinamento pode ser associado pelo sentido à aprendizagem, educação, ensinar e ensinemos, ou pelo sufixo ‘ento’ a elemento, desfiguramento, lento e armamento.

Voltando ao exemplo dado no primeiro eixo estruturante da linguagem, na frase ‘a Ariel está usando saia longa’, diversas relações paradigmáticas seriam possíveis, e algumas delas estão esboçadas na Figura 7:

Figura 7 – Relações paradigmáticas



Fonte: Autora (2023).

Nesse exemplo, cada termo foi relacionado com outros que poderiam estar em seu lugar e que são, de certa forma, semelhantes. No entanto, essas associações poderiam continuar, assim como na Figura 6, pois não apresentam número definido e nem uma ordem determinada (SAUSSURE, 2012).

Coelho Netto (2003, p.27) afirma que “a associação pode ser estimulada por uma série de razões” e que cada elemento da mesma forma pode ser associado denotativa ou conotativamente a outros signos. Assim, ‘saia’ pode ser associada a ‘roupa’, mas também a religião cristã pentecostal. Conforme discutimos na seção anterior, a denotação e a conotação também estão ligadas a significação e ao valor, e levam em consideração o discurso em sua totalidade e o contexto no qual

o signo está inserido. Logo, ‘a Ariel está usando saia longa’ pode denotar apenas a descrição da roupa de uma pessoa, ou, se o contexto é de uma mulher que se tornou adepta da religião cristã pentecostal, pode conotar um costume ou uma crença.

Nesse sentido, o valor de um termo, em determinado contexto, dependerá do contraste com termos alternativos a ele, mas que não foram escolhidos (relações paradigmáticas), e das relações com os demais termos que lhe estão próximos (relações sintagmáticas) (PENN, 2002). A Figura 8 exprime a articulação dos dois eixos estruturantes da linguagem em dois planos: o sintagmático na horizontal e o paradigmático na vertical.

Figura 8 – Relações sintagmáticas X relações paradigmáticas

↔ Relações Sintagmáticas →						
	A	Ariel	está	usando	saia	Longa
	(Gênero)	(Pessoa)	(Situação)	(Emprego)	(Roupa)	(Comprimento)
↑ Relações Paradigmáticas ↓	A	mulher	não está	trajando	vestido	Curto
	A	menina	estava	vestindo	blusa	cumprida
	O	homem	esteve	roupando	calça	Curta

Fonte: Adaptado de Penn (2002, p. 321).

Destacamos que, na Figura 8, definimos os agrupamentos paradigmáticos (indicados entre parênteses), ou paradigmas, a fim de limitar as associações. Como dissemos, as relações paradigmáticas podem decorrer de diversas razões e motivações, e dependem dos diferentes saberes, relativos às diferenças de ‘cultura’, dos consumidores ou leitores. Isso explica o fato de que um mesmo conjunto significativo pode ser distintamente decifrado dependendo do indivíduo (BARTHES, 2012). Nesse sentido, ‘Ariel’, que é um nome neutro, poderia ser associado a ‘pessoa’, ‘homem’, ‘mulher’, ‘gênero’, e de cada uma dessas associações fariam ainda surgir outros agrupamentos paradigmáticos. Dito de outro modo, os eixos sintagmático e paradigmático “[...] definem e organizam os recursos culturais e comunicativos disponíveis para uma certa função em uma determinada sociedade” (VOLLI, 2007, p.59).

Em Barthes (2012), a atividade analítica implicada no sintagma é o recorte, enquanto nas associações é a classificação. O recorte permite identificar as unidades significantes que compõem o conjunto significativo, possibilitando que elas

sejam classificadas em paradigmas. Apesar de os eixos estruturantes se desenvolverem de formas distintas, ambos funcionam simultaneamente e não existem isoladamente: cada um está relacionado, e é validado, pelo outro (COELHO NETTO, 2003). Isso quer dizer que as relações sintagmáticas, ou seja, o arranjo dos termos linguísticos no espaço, contribuem para criar coordenações associativas, ou relações paradigmáticas, que, por sua vez, são indispensáveis para analisar as partes do sintagma (SAUSSURE, 2012). Na perspectiva de compreender a articulação desse duplo sistema no discurso, Saussure (2012, p. 178) pondera que a “nossa memória tem em reserva todos os tipos de sintagmas mais ou menos complexos, de qualquer espécie ou extensão que possam existir, e no momento de empregá-los fazemos intervir os grupos associativos para fixar nossa escolha”.

Em síntese, as relações sintagmáticas agem sob a lógica do arranjo das palavras e das combinações possíveis para formar o significado, enquanto as relações paradigmáticas agem sob a lógica da similaridade, das associações por semelhança e do repertório de significados (HERNANDES, 2019). “A relação sintagmática existe *in praesentia*; repousa em dois ou mais termos igualmente presentes em uma série efetiva. Ao contrário, a relação associativa une termos *in absentia* numa série mnemônica virtual” (SAUSSURE, 2012, p. 172). Esses dois eixos correspondem a duas formas de nossa atividade mental, sendo ambos imprescindíveis para a vida da língua (SAUSSURE, 2012).

3.4.1 Relações Sintagmáticas e Paradigmáticas em Sistemas não Linguísticos

Embora as relações sintagmáticas e paradigmáticas tenham sido originalmente entendidas como formas da atividade mental que regem o sistema linguístico, elas são extrapoladas a outros sistemas de signos (BARTHES, 2012; PENN, 2002; VOLLI, 2007). Em Volli (2007), a oposição sintagma/paradigma pode se refazer em todas as formas de estrutura e não somente na língua. Na mesma direção, Barthes (2012) afirma que esses dois planos da linguagem articulada se encontram em outros sistemas de significação, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 – Relações sintagmáticas e paradigmáticas em sistemas não linguísticos

	Relações paradigmáticas	Relações sintagmáticas
Vestuário	Grupo de peças, encaixes ou pormenores que podemos usar ao mesmo tempo e em um mesmo ponto do corpo e cuja variação corresponde a uma mudança do sentido indumentário: touca/ gorro/ capelina etc.	Justaposição num mesmo conjunto de elementos diferentes: saia – blusa – casaco.
Comida	Grupo de alimentos afins e dessemelhantes no qual escolhemos um prato em função de certo sentido: as variedades de entradas, assados ou sobremesas.	Encadeamento real dos pratos escolhidos ao longo da refeição: é o cardápio.
	O “cardápio” no restaurante atualiza os dois planos: a leitura horizontal das entradas, por exemplo, corresponde ao sistema, a leitura vertical corresponde ao sintagma.	
Mobiliário	Grupo das variedades “estilísticas” de um mesmo móvel (uma cama).	Justaposição dos móveis diferentes num mesmo espaço (cama – armário – mesa etc.
Arquitetura	Variações de estilo de um mesmo elemento de um edifício, diferentes formas de telhados, sacadas, entradas etc.	Encadeamento dos pormenores no nível do conjunto do edifício.

Fonte: Barthes (2012, p. 80).

Para Coelho Netto (2003), embora os exemplos dados por Barthes não possam ser tomados como retrato fiel da teoria linguística de Saussure, esse modelo pode servir com um instrumento da análise semiológica. Nas palavras do autor:

O modelo permanece válido, assim, para os que consideram que além das línguas naturais há sistemas de signos (como o da arte) que podem ser considerados como sistemas de modelização secundária em relação a essas línguas naturais ou sistemas básicos, o que pode implicar inclusive a noção de que a consciência humana é uma consciência linguística (COELHO NETTO, 2003, p. 28).

Levando em conta que nosso objetivo é utilizar a semiologia como apporte teórico para analisar analogias pictóricas, destacamos uma importante diferenciação entre os eixos estruturantes na linguagem verbal e em imagens: na linguagem verbal os signos são organizados sequencialmente, enquanto nas imagens eles estão presentes de forma simultânea e as relações sintagmáticas são espaciais, não lineares e temporais (PENN, 2002).

Saussure (2012) apontou a linearidade como uma característica do signo linguístico, pois os termos que compõem um sintagma se desenvolvem no tempo e, portanto, representam uma extensão mensurável em uma linha. Assim, cada termo se alinha um após o outro e cada um adquire valor ao se relacionar com seu anterior ou posterior. Em contrapartida, em um sintagma imagético, os elementos que compõem a imagem aparecem de forma simultânea e não são dispostos em uma só dimensão. Como consequência, as relações sintagmáticas se estabelecem em várias dimensões.

Independentemente do sistema (linguístico, imagético etc.), as relações sintagmáticas engendram valor por meio da relação entre dois ou mais elementos presentes no conjunto significativo. Por sua vez, as relações paradigmáticas não diferem da linguagem verbal, portanto, são delimitadas pelas possíveis associações mentais com elementos que compõem a imagem. Entendemos, assim, que os dois eixos estruturantes da linguagem são também eixos estruturantes da imagem, e ambos entram em jogo no processo de significação.

Para Barthes (2012, p. 78), “o essencial da análise semiológica consiste em distribuir os fatos inventariados segundo cada um desses eixos”, logo, seria coerente iniciar pelo recorte do sintagma, o qual fornecerá as unidades que deverão ser classificadas em paradigmas. Esse estudo estrutural do sintagma permite explicar estruturalmente a naturalização dos discursos conotados (BARTHES, 2012).

3.5 SISTEMAS DE SIGNOS NÃO LINGUÍSTICOS

Conforme visto, o curso de linguística geral que Saussure ministrou em Genebra desenvolveu a concepção de linguagem como um sistema solidário único (BRODEN, 2017). Durante as conferências que ocorreram entre 1906 e 1911, que deram origem ao CLG, Saussure especificou que para definir o signo linguístico é necessário partir do todo do qual ele faz parte e não o contrário. Junto a isso, estipulou um mecanismo de linguagem quando adicionou a noção dos eixos estruturantes (BRODEN, 2017). Em suas pesquisas a respeito das epopeias germânicas durante essa mesma época (1903-1911), Saussure ampliou o conceito de signo e de semiologia para fenômenos e formas comunicativas não linguísticas (BRODEN, 2017). Nesse cenário, as demais unidades semiológicas seriam regidas pelos

mesmos princípios que comandam os signos linguísticos.

Porém, cabe ainda trazer uma discussão importante sobre o papel da linguagem no processo de construção dos significados independentemente do meio de expressão utilizado. Ainda que as imagens, símbolos, objetos e comportamentos possam significar, e assim o fazem, o processo de significação nunca é realizado de forma autônoma, pois sempre recaem sobre a linguagem (BARTHES, 2012; PEEN, 2002). Assim, qualquer sistema de signos necessita da mediação da linguagem. Uma imagem, por exemplo, confirma sua significação por meio da ancoragem com o texto que a acompanha. Em outras palavras, o significado da substância visual é repetido por uma mensagem linguística, de forma que pelo menos uma parte da mensagem encontra-se numa relação estrutural de redundância ou revezamento com a linguagem (BARTHES, 2012). Em outros sistemas, como de objetos e comportamentos, estes alcançam o *status* de sistema somente por meio da “mediação da língua, que lhes recorta os significantes (sob a forma de nomenclaturas) e lhes denomina os significados (sob a forma de usos ou razões)” (BARTHES, 2012, p. 14).

Portanto, mesmo quando trabalhamos com sistemas não linguísticos, encontramos a linguagem no caminho como componente de mediação do significado. Dentro dessa discussão, Penn (2002) afirma que a ancoragem pode ser entendida por diferentes perspectivas e cita argumentos filosóficos e pragmáticos.

Do ponto de vista filosófico, emerge a relação entre pensamento e língua, em que o sentido do sistema só é adquirido quando articulado verbalmente, por meio da interpretação. Quando se toma uma postura pragmática, por sua vez, não é negado o potencial de significação do meio visual, mas argumenta-se que ele só é ancorado, ou esclarecido, por meio da linguagem. Independente da perspectiva adotada, entende-se que a análise de sistemas de signos não linguísticos exige a linguagem para que a expressão seja precisa.

Conforme Penn (2002, p. 322) “esta questão realça uma diferença importante entre linguagem e imagens: a imagem é sempre polissêmica ou ambígua”. Por esse motivo, na maioria das vezes, aparece acompanhada de algum texto que retira sua ambiguidade e contribui para a construção do sentido completo (BARTHES, 1964 apud. PENN, 2002). Corroborando com esse pensamento, Eco (1997) aponta que o principal motivo pelo qual o registro verbal tem a função de ancorar a mensagem contida em imagens se deve ao fato de, frequentemente, a comunicação visual se mostrar ambígua, podendo ser interpretada de diversos modos. Destacamos, no

entanto, que alguns sistemas imagéticos, como sinalizações de trânsito, não têm como característica a ambiguidade, dada a necessidade de serem prontamente compreendidos sem a necessidade de explicações verbais, como legendas.

3.5.1 Subjetividade Das Imagens e Validação Comunicativa

Penn (2002), em um capítulo de livro intitulado “Análise semiótica⁴ de imagens paradas”, utiliza os conceitos de Barthes e Saussure para analisar imagens publicitárias e traz reflexões importantes sobre o processo de significação em sistemas imagéticos, que inspiraram nossa transposição didática dos referenciais abordados neste capítulo para o campo do ensino de ciências.

Para Penn (2002), Barthes fornece uma visão mais clara e mais útil da semiologia com relação a análise de imagens. Conforme já adiantado no início do capítulo, quando discutimos a concepção de semiologia, Barthes a comprehende como parte da linguística e não o contrário, como afirmado por Saussure. Nessa perspectiva, extrai-se da linguística conceitos que servem de instrumentos analíticos para a pesquisa semiológica em diferentes formas comunicativas.

Assim como Barthes (2012) e Volli (2007), Penn (2002, p. 321) defende que “o sistema do signo linguístico seria o modelo para a análise de outros sistemas de signos”. Apoiado nisso, o processo de análise empreendido pela autora consistiu em dissecar uma imagem publicitária e, na sequência, articular, ou reconstruir a imagem “semanticizada”, com o objetivo de “tornar explícitos os conhecimentos culturais necessários para que o leitor compreenda a imagem”. Para isso, a análise foi dividida em quatro estágios: escolher o material, realizar um inventário denotativo, identificar os níveis mais altos de significação e apresentar um relatório.

Durante a análise, a autora explica que os anúncios publicitários têm a intencionalidade de promover a fama e a venda de um produto e que utilizam imagens cuja mensagem denotativa objetiva naturalizar a mensagem conotada (PENN, 2002). Vejamos a imagem analisada pela autora na Figura 9 e, na sequência,

⁴ Semiótica, nesse caso, foi utilizada como sinônima a semiologia. Embora Penn (2002) tenha intitulado seu capítulo como “análise semiótica”, em todo o texto traz o termo semiologia em suas discussões e análises.

algumas inferências realizadas a partir dela.

Figura 9 – Imagem publicitária



Fonte: Adaptado de Penn (2002, p. 326).

O conjunto significativo da imagem (sintagma) traz uma mulher, uma embalagem de perfume e um fundo que pode ser a areia de um deserto. No entanto, a cada um desses elementos, uma série de associações podem ser realizadas. Por exemplo, a mulher é alta, esbelta, uma modelo fascinante. Assim, a embalagem de vidro colocada ao lado da mulher, com proporções equivalentes, sugere que “as conotações da moda e da fascinação são transferidas da modelo para a marca (o perfume é a mulher)”. Valendo-se de um conhecimento cultural específico, a autora supõe que a roupa e a postura da mulher parecem uma referência à cariátide, o que acrescenta “conotações clássicas da Antiga Grécia”, porém, moderniza o ideal grego e conota “uma imagem de beleza perene, ou ‘clássica’”, que também é transferida ao perfume. Outra equivalência “sugere que a modelo pode ser lida como o espírito da garrafa - o gênio da lâmpada - prometendo, assim, a realização de todos os desejos do/da comprador/a (a modelo é o perfume)” (PENN, 2002, p. 329-330-331).

Contudo, essa é uma leitura idiossincrática e nada garante que diferentes sujeitos produzam relações e conotações semelhantes (PENN, 2002). A

interpretação de uma imagem ou um texto varia de acordo com quem o lê, e isso aparece mais pronunciado nas imagens que, como já discutimos, é geralmente ambígua. Assim, o sentido que o leitor vai atribuir está sujeito aos conhecimentos a ele acessíveis (PENN, 2002), seu *background* cultural. Para associar a modelo da imagem à cariátide, por exemplo, é necessário que se saiba inicialmente o que é uma cariátide. A interpretação denotativa, nesse caso, é considerada mais universal, visto ser esperado que os leitores incluam uma garrafa de perfume e uma mulher (PENN, 2002). No entanto, outras são mais subjetivas, pois dependem da extensão do léxico do leitor.

Na discussão acerca da subjetividade, Penn (2002, p. 328) propõe que seja realizada uma validação comunicativa com o objetivo de “avaliar a extensão e o uso de conhecimentos culturais socialmente partilhados dentro de um determinado grupo de pessoas”. Para isso, sugere uma coleta interativa de dados, combinada com a semiologia, na qual os participantes foquem no material analisado, sem que sejam conduzidos a uma resposta. Segundo a autora, a validação comunicativa é particularmente útil nas imagens publicitárias porque o importante não é o idiosincrático, mas sim as associações e conotações realizadas pelos leitores a fim de levá-los à atração pelo produto e sua aquisição. Neste caso, o interesse é comercial.

4 ARTICULAÇÃO DOS EIXOS TEÓRICOS E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA

A abordagem da linguagem e pensamento científico na perspectiva da multimodalidade representacional, realizada no primeiro capítulo, nos leva a compreender que os diversos modos e representações utilizados na ciência, e consequentemente no ensino, são fundamentais para a conceitualização e comunicação desse domínio de conhecimento. Cada modalidade representacional atende a diferentes necessidades em relação ao raciocínio e registro de questões científicas (LABURÚ; BARROS; SILVA, 2014). Daí, parte-se do pressuposto que a integração de uma diversidade representacional favorece a aprendizagem (PRAIN; WALDRIP, 2006; TYTLER; PRAIN, 2007).

Nesta tese, ocupamo-nos da apresentação de conceitos de química por meio de analogias expressas por representações imagéticas, igualmente denominadas de analogias pictóricas. Reforçamos que essa é apenas uma das formas complementares de apresentar o conteúdo e que, embora possa auxiliar a construção do conhecimento, deve ser articulada e integrada aos demais modos e múltiplas representações. Como afirmado por Lemke (1998), os conceitos envolvidos na comunicação e no trabalho científico, não se encerram em uma única representação, mas sim na união dos significados implicados nas diversas representações que esse domínio fornece.

Ainda no primeiro capítulo, vimos que há um consenso a respeito da importância das imagens no processo de ensino e aprendizagem de ciências. De acordo com Gouvêa, Martins e Piccinini (2005), as imagens possibilitam uma visualização mais concreta dos conceitos e fenômenos envolvidos nesse domínio de natureza abstrata e contribuem para a inteligibilidade do discurso científico. No entanto, alguns trabalhos indicam que muitos estudantes apresentam dificuldades ao interpretá-las e que nem sempre as interpretam de forma coerente e compatível com o esperado (COLIN; VIENNOT, 2002; STYLIANIDOU; ORMEROD; OGBORN, 2002). Por essa razão, defende-se que a leitura de imagens precisa ser ensinada (KLEIN; LABURÚ, 2009) e que o professor tem um papel fundamental ao trabalhar com esse tipo de representação (SILVA, 2006), pois a forma como ele entende e usa esse recurso pode favorecer, ou não, a produção de significados pelos estudantes (WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006). Essas mesmas questões surgem no emprego das analogias pictóricas, sobre as quais discutimos no segundo capítulo.

As analogias são consideradas uma importante ferramenta de ensino que contribui para a construção de conhecimento ao oportunizar a relação entre os conhecimentos prévios do estudante e os conceitos científicos. Dentro de uma perspectiva construtivista, elas favorecem uma aprendizagem significativa (LABURÚ; SILVA, 2011). As analogias que fazem uso de imagens são particularmente defendidas por favorecer a compreensão do domínio análogo e facilitar a comparação com o alvo (MONTEIRO; JUSTI, 2000). Além disso, entendemos que oportunizam que as preferências e habilidades de diferentes sujeitos sejam estimuladas, tendo em vista que a representação imagética pode se adequar melhor ao perfil subjetivo de um estudante (LABURÚ et al., 2014). No entanto, em conformidade com as dificuldades a respeito da interpretação das imagens, indicadas no capítulo um, é enfatizado no capítulo dois a necessidade de decodificar a analogia pictórica e que esse processo deve ser apoiado pelos professores e autores de materiais didáticos, a fim de estabelecer uma conexão entre as explicações verbais e as características importantes da ilustração utilizada (ISSING; HANNEMANN; HAACK, 1989; ISSING, 1990).

Apesar de as analogias serem uma ferramenta valiosa na aprendizagem, diversos autores apontam que o uso inadequado pode remeter para o surgimento de concepções alternativas (DAGHER, 1994), que as relações necessárias para a compreensão da analogia podem não ser estabelecidas, ou ainda que sirvam para estabelecer relações não pertinentes (DUIT, 1991).

Destaca-se, adicionalmente que, como qualquer representação, as analogias possuem limitações e, caso não sejam identificadas, podem levar a conclusões equivocadas (HARRISON, 2008). Paralelo a isso, Monteiro e Justi (2000) indicam que quando aparecem em materiais didáticos, raramente as limitações são explicadas, ficando por conta do leitor identificá-las.

Diante do exposto, para que as analogias sejam úteis aos propósitos de ensino e aprendizagem, é consenso na literatura ser fundamental caracterizar os domínios comparados, detalhar as relações estabelecidas e indicar suas limitações e restrições (MOZZER; JUSTI, 2015). Também estão de acordo que, ao trabalhar com determinada representação, é preciso aprender estratégias para interpretá-las (UNSWORTH, 2001; GEE, 2004; WALDRIP; PRAIN; CAROLAN, 2006).

Frente a essas necessidades, buscamos na semiologia um respaldo teórico que permitisse investigar o processo de construção de significados a partir de

diferentes sistemas de signos, a fim de sistematizar uma estratégia de análise para analogias pictóricas.

4.1 LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS

A analogia é definida como uma comparação explícita que estabelece relações de similaridade entre dois domínios de conhecimento, denominados análogo e alvo (DUIT, 1991; OLIVA, 2004; MOZZER; JUSTI, 2015; CARMONA, 2021). No contexto do ensino de ciências, o análogo se refere aos conhecimentos que fazem parte do contexto de vivência dos estudantes, enquanto o alvo é o conceito científico, e, portanto, um conhecimento mais específico, que se pretende ensinar. No caso das analogias pictóricas, o domínio análogo é representado por uma imagem, a partir da qual serão estabelecidas as relações com o domínio alvo. Tomemos como exemplo a analogia que compara o modelo atômico de Rutherford⁵ ao sistema planetário, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 – Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



O modelo atômico de Rutherford foi comparado com o sistema solar pelo fato de o seu modelo considerar que os elétrons giram ao redor do núcleo do átomo em trajetórias fechadas, assim como no sistema solar os planetas giram em órbitas ao redor do sol.

Fonte: Adaptado de Fonseca (2013).

Com base nos fundamentos da semiologia abordados por Barthes (2012), Coelho Netto (2003) e Penn (2002), dois sistemas de significação operam nas analogias pictóricas: o denotativo e o conotativo. Pela perspectiva da análise estrutural

⁵ O modelo atômico proposto por Rutherford é frequentemente associado ao sistema planetário em livros didáticos, porém, existem discussões a respeito de que o movimento dos elétrons nas órbitas não foi proposto por Rutherford, sendo o principal novo atributo do modelo proposto por Bohr (JUSTI, 2010). Embora tenhamos ciência dessas discussões, optamos por trazer o exemplo do sistema planetário associado ao modelo atômico de Rutherford conforme encontrado no livro didático utilizado nesta tese.

do signo de Saussure, a imagem utilizada é um signo, pois une um significante, expresso por meio da representação imagética, e um significado, o Sistema Solar. Nas discussões que tecemos acerca da arbitrariedade do signo linguístico, viu-se que a união entre o significante e o significado é imotivada *a priori*, pois não há um vínculo natural entre eles, mas que essa imotivação apriorística dá lugar a uma motivação relativa, derivada da convenção (BARTHES, 2012; SAUSSURE, 2012). No entanto, fora da língua, existem sistemas de signos altamente motivados (BARTHES, 2012), como o caso da imagem que apresenta, de maneira mais ou menos fiel, o sistema solar. Sendo assim, a significação, ou a efetiva união entre significante e significado (BARTHES, 2012), é sustentada pelo sistema da denotação, que une o significante ao significado literal por uma relação relativamente motivada, dando origem ao signo denotativo (sistema solar).

Porém, o valor de um signo é determinado pelo que está à sua volta (COELHO NETTO, 2003), ou seja, pelo contexto no qual está inserido. No Quadro 2, a imagem está acompanhada de um texto de química, que assume a função de ancorá-la e colocá-la dentro do contexto científico de estruturas atômicas. A esse respeito, destacamos que a ancoragem das analogias pictóricas, em outros casos, pode ocorrer por meio de legendas ou por uma explicação verbal oral. Seja qual for a situação, a mediação dessa linguagem verbal será necessária, visto que nada liga naturalmente o signo ‘Sistema Solar’ ao modelo atômico de Rutherford. Nessa conjuntura, a ligação entre o significante dado e novo significado é mais arbitrária, imotivada, e a significação é sustentada pelo sistema da conotação. Logo, o signo denotativo perde sua literalidade e torna-se um andaime para outro significado, o conotativo.

Como a finalidade das analogias no ensino e na comunicação científica é esclarecer, estruturar e compreender conceitos abstratos de difícil imaginação a partir de algo já conhecido, encontramos correspondência com a tendência apontada por Barthes (2012) de naturalização do imotivado. Assim como nas imagens publicitárias abordadas por Penn (2002), a mensagem denotativa da analogia pictórica serve para naturalizar a mensagem conotada.

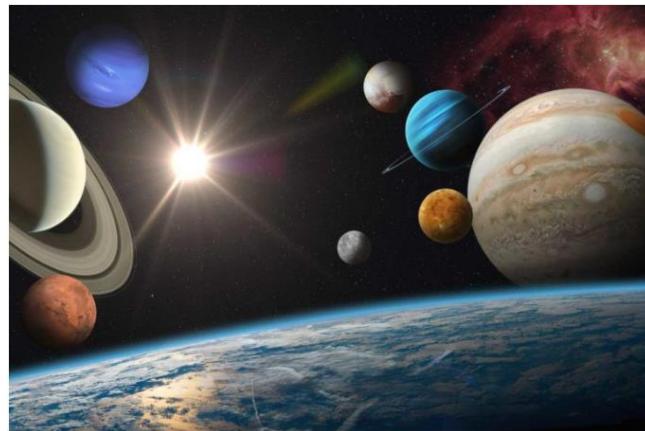
Posto isso, é preciso voltar a atenção para a natureza construída da imagem a fim de explicar estruturalmente a naturalização dos discursos conotados (BARTHES, 2012; PENN, 2002). No contexto didático, isso vai ao encontro da necessidade de identificar as relações de similaridade entre análogo e alvo quando se

opta por trabalhar com analogias no ensino (BROWN; CLEMENT, 1989; TREAGUST; HARRISON; VENVILLE, 1998; GLYNN, 1991; MOZZER; JUSTI, 2015). Cabe, portanto, analisar as analogias pictóricas sob a ótica dos eixos estruturantes da linguagem, os quais concluímos, a partir das teorias expostas, ser também eixos estruturantes da imagem.

Retomando a seção que aborda os eixos estruturantes em sistemas não linguísticos, as imagens são compreendidas como um conjunto significativo (sintagma) composto por diversas unidades significantes (elementos) que estabelecem relações em dois planos distintos. O plano sintagmático age sob a lógica do arranjo dos elementos e de como se relacionam uns com os outros a fim de produzir significado, ou seja, é espacialmente relacional. Por sua vez, o plano paradigmático age sob a lógica da similaridade, das associações por semelhança pontual. Nas relações paradigmáticas, elementos da imagem são associados mentalmente a outros elementos ou unidades significantes que se assemelham em algum aspecto.

Em Barthes (2012), seria coerente iniciar a análise semiológica pelo recorte do sintagma, que fornece as unidades a serem classificadas em paradigmas. O recorte do sintagma consiste em realizar um inventário denotativo (PENN, 2002), ou, catalogação dos elementos que compõem a imagem. Na analogia pictórica em questão, temos o sol, planetas, órbitas e estrelas. A maneira como esses elementos estão dispostos na imagem e as relações sintagmáticas – o sol na posição central, os planetas ao redor do sol, órbitas ao seu redor e planetas dispostos nas diversas órbitas – possibilitam atribuir o significado literal, ou denotativo, a imagem: representa um sistema solar. Caso esses elementos estivessem combinados de outra forma, como na Figura 10, por exemplo, não se poderia dizer que se trata do sistema solar.

Figura 10 – Elementos do inventário denotativos dispostos de forma aleatória



Fonte: Carter (2022).

Até esse momento, a análise permanece no campo denotativo. Na sequência, ao nos movermos para a significação conotativa, os elementos inventariados no recorte do sintagma devem ser associados mentalmente a aspectos do modelo atômico de Rutherford: o sol deve ser associado ao núcleo do átomo, os planetas aos elétrons e as órbitas dos planetas à eletrosfera. Essas relações paradigmáticas são possíveis apenas porque o sintagma apresenta aspectos similares com o modelo atômico de Rutherford, o que justifica a analogia. As estrelas não foram relacionadas a nenhum aspecto do conteúdo, pois não há uma correspondência para elas no referido modelo atômico. Assim, a partir das associações entre os recortes do sintagma e aspectos do conteúdo científico, nos movemos em direção à significação conotativa da imagem: o átomo com um núcleo de carga positiva e elétrons girando ao redor do núcleo, na região chamada eletrosfera.

Convém destacar que as relações paradigmáticas podem decorrer de diversas razões (COELHO NETTO, 2003), porém, na analogia pictórica, os recortes sintagmáticos devem ser associados conotativamente, visto que o contexto no qual a imagem aparece define que as associações devem ocorrer no paradigma da conotação. Em consonância com Saussure (2012), o todo de um sintagma vale pelas suas partes, assim como suas partes têm um valor em virtude da significação de seu todo. Portanto, há uma relação recíproca entre cada elemento individual da imagem com o significado geral dela.

4.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A análise semiológica proposta permite compreender o processo de construção do significado das analogias e tornar explícitos os conhecimentos e relações necessárias para a significação pretendida. Em vista disso, elaboramos e sistematizamos um instrumento de análise de analogias pictóricas que busca contribuir com o ensino de ciências. Por conseguinte, o primeiro objetivo da pesquisa foi *investigar a imagem, de modo a caracterizar os domínios comparados e identificar as relações necessárias para que um leitor aprendiz compreenda o conceito científico pretendido.*

Entretanto, o instrumento tem um ponto a considerar. A interpretação de imagens é subjetiva e não há garantia de que diferentes sujeitos estabeleçam relações e conotações iguais (PENN, 2002). Além disso, o sentido atribuído à imagem dependerá dos conhecimentos acessíveis a cada leitor. Sabemos que Duit et al. (2001) e Mozzer e Justi (2015; 2013) indicam que um erro comum ao trabalhar com analogias é acreditar que elas são suficientemente claras e que, portanto, os estudantes serão capazes de identificar e estabelecer as relações sozinhos. Diante disso, surge a necessidade de realizar uma validação comunicativa, conforme sugerido por Penn (2002), para avaliar o uso dos conhecimentos dentro de um determinado grupo de pessoas. Apesar da interpretação ser idiossincrática, o mais importante serão as associações e conhecimentos socialmente partilhados que esse grupo específico de leitores empregam.

Tem sido defendido o papel do professor em guiar o raciocínio analógico dos estudantes, o que implica ele compreender a funcionalidade da analogia, trilhar um caminho para interpretação e entender tanto suas correspondências com o conteúdo científico quanto suas restrições (JUSTI, 2010). Por essa razão, defendemos que uma amostra adequada para realizar a validação comunicativa sejam estudantes de licenciatura, pois supõe-se que os conceitos abordados pelas analogias pictóricas utilizadas no ensino de química são conhecimentos acessíveis a eles. Além disso, futuramente os licenciandos atuarão como professores, tornando relevante a investigação nesse grupo de sujeitos. Com isso, o segundo objetivo foi *perscrutar a construção de significados por licenciandos em química a partir das analogias pictóricas analisadas.*

Por fim, importa retomar a questão das limitações das analogias, abordadas do terceiro capítulo. A analogia se baseia em relações de similaridade entre dois domínios de conhecimento distintos, porém, ambos possuem características não compartilhadas, que constituem suas limitações (RAVIOLO; GARRITZ, 2008). Embora a analogia não seja um encaixe perfeito entre análogo e alvo, é comum os estudantes estabelecerem relações não pertinentes entre eles (DUIT, 1991). Por essa razão, diversos autores, como Ferraz e Terrazzan (2003), Bozelli e Nardi (2006) e Mozer e Justi (2013), apontam para a imprescindibilidade de dar a devida atenção à identificação e discussão das limitações das analogias. Nesse sentido, como último objetivo da tese, buscamos *inferir as limitações das analogias pictóricas* a partir do contraste entre a análise semiológica das analogias pictóricas e a validação comunicativa realizada com licenciandos.

Em síntese, respondemos aos seguintes problemas: *Quais são os conhecimentos e relações, subjacentes às analogias pictóricas, necessários para que o leitor compreenda o conceito científico pretendido? Como licenciandos em química constroem os significados a partir das analogias pictóricas? Quais são as limitações das analogias pictóricas para os fins que se prestam ao ensino?*

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa é do tipo investigação qualitativa, de caráter descritivo e interpretativo. Bogdan e Biklen (1994) definem cinco características desse tipo de investigação, as quais descrevemos brevemente na sequência, mas ponderam que nem todas precisam constar no estudo para que ele seja assim classificado. A primeira característica aponta que a fonte de dados é o ambiente natural de ocorrência, que os materiais são revistos em totalidade e que a compreensão que o investigador tem acerca deles é o instrumento-chave de análise. A segunda assinala que a investigação é descritiva, ou seja, que os dados são coletados em forma de imagens ou palavras, mas não de números, e que é respeitado, dentro do possível, a maneira como eles foram registrados ou transcritos. A terceira se refere ao fato de os investigadores se interessarem mais no processo do que nos possíveis resultados ou produtos. Já a quarta característica, conforme os autores, diz respeito aos investigadores tenderem a fazer uma análise indutiva dos dados, pois estes não são considerados provas para confirmar uma ideia prévia, mas, ao contrário, é dos dados que surgem as inferências à medida que eles são recolhidos e agrupados. E, por fim, a quinta característica define que o significado tem importância prioritária na abordagem qualitativa, ou seja, os investigadores se preocupam com as perspectivas participantes.

Dentro desse enquadramento, consideramos a pesquisa como qualitativa por satisfazer parcialmente essas características. Os dados foram coletados a partir de materiais didáticos e de um questionário proposto a licenciandos no ambiente universitário. Além disso, o registro das respostas dos licenciandos foram revistos em sua totalidade pela investigadora. A investigação é descritiva, pois os dados foram recolhidos em forma de palavras e imagens e incluem as transcrições das respostas dos licenciandos. Interessamo-nos mais pelo processo de criação de significados a partir da interpretação de analogias do que nos resultados. E, por último, nosso foco está no modo como diferentes sujeitos dão sentido a analogias, em direcionamento ao que Bogdan e Biklen (1994) designa como perspectivas participantes.

Assim sendo, neste capítulo, detalhamos os procedimentos teórico-metodológicos que direcionam as etapas de investigação para alcançar os objetivos da tese: *investigar a imagem, de modo a caracterizar os domínios comparados e*

identificar as relações necessárias para que um leitor aprendiz compreenda o conceito científico pretendido; perscrutar a construção de significados por licenciandos em química a partir das analogias pictóricas analisadas; e inferir as limitações das analogias pictóricas.

Inicialmente, expomos o objeto de estudo, descrevemos a metodologia utilizada para realizar a leitura semiológica de analogias pictóricas e sistematizamos o instrumento analítico. Em seguida, caracterizamos os sujeitos que participaram da pesquisa e explicitamos a estratégia de coleta de dados para submissão ao instrumento analítico. Para finalizar, abordamos os procedimentos adotados na organização da análise.

5.1 OBJETOS DE ESTUDO E INSTRUMENTO ANALÍTICO

Em um primeiro momento, foram selecionadas quatro analogias pictóricas retiradas de livros didáticos de química destinados ao Ensino Médio. A primeira e segunda analogia são do livro “Química Cidadã” de Santos e Mol (2016), a terceira do livro “Química: Ensino Médio” de Fonseca (2013) e a quarta do livro “Química: Físico-Química” de Hartwig, Souza e Mota (1999). A opção por utilizar livros didáticos se deu em função deles serem considerados como mediadores da prática curricular e como um importante instrumento no auxílio da prática docente (FRISON et al., 2009). Além disso, Frison et al. (2009) apontam que representam a principal fonte de trabalho impressa no ambiente escolar e que, por essa razão, se constitui em um recurso básico para o processo de ensino e aprendizagem. Logo, entendemos que professores e alunos se deparam, frequentemente, com analogias veiculadas por esse meio.

A primeira e a segunda analogia pictórica são referentes ao tópico de estruturas atômicas, no qual Monteiro e Justi (2000) constataram que aparece o maior percentual de analogias em livros brasileiros para o ensino de química no nível médio. Dentro desse tópico, foi escolhida uma analogia do modelo atômico de Thomson comparado a um pudim de passas e uma do modelo atômico de Rutherford comparado ao sistema solar. A terceira analogia compara a lei de Hess com a determinação da altura de montanhas e se refere ao conteúdo de Termoquímica. Por fim, a quarta analogia pictórica refere-se ao conteúdo de equilíbrio químico e compara o equilíbrio

dinâmico a um estacionamento de carros lotado. Embora as duas últimas analogias não sejam tão frequentes como as primeiras, optamos por elas porque são do tipo funcionais, diferentemente das primeiras que são estruturais.

Conforme abordado no segundo capítulo, nas analogias estruturais, os domínios comparados compartilham características semelhantes em termos de construção ou aparência, como forma, dimensão ou organização espacial, por exemplo. Já nas analogias funcionais, as relações entre análogo e alvo se baseiam em funções semelhantes, como funcionamento, comportamento, intensidade etc. (BARBOSA; ROMERO; MONTEIRO, 2022). Pensando em utilizar o instrumento analítico nos dois principais tipos de analogias (CURTIS; REIGELUTH, 1984; CURTIS, 1988), justificamos nossa escolha.

Para realizar a leitura semiológica das analogias pictóricas, elaboramos o instrumento analítico que se encontra no Quadro 3, formulado segundo os eixos estruturantes da linguagem e os níveis de significação denotativo e conotativo, discutidos no capítulo 3. O instrumento analítico examina a imagem para caracterizar os domínios comparados e identificar as relações necessárias para que o leitor compreenda o conceito científico pretendido.

Para isso, seguimos cinco passos; são eles: 1) inventariar os elementos que compõem a imagem; 2) estabelecer as relações sintagmáticas; 3) indicar o significado denotativo; 4) determinar as relações paradigmáticas; e 5) identificar o significado conotativo.

O primeiro passo descreve os elementos que constituem a imagem e faz um inventário denotativo. No inventário, todos os elementos identificados são listados. O segundo passo estabelece as relações sintagmáticas com o intuito de mostrar como os elementos inventariados estão dispostos na imagem e como se relacionam uns com os outros a fim de produzir um significado. Dito de outro modo, parte-se do inventário denotativo e busca-se descrever como cada elemento contido na imagem se relaciona com os demais. Destacam-se o posicionamento, a cor, o tamanho e tudo o que o analista achar relevante.

A maneira com que os elementos da imagem se relacionam é o que dá sentido a cada elemento. Desse modo, investigar as relações sintagmáticas permite construir o significado literal da imagem, ou seja, o significado denotativo, que é o terceiro passo. Compreender o significado denotativo é essencial para criar relações com o conteúdo científico.

Até o terceiro passo, permanecemos no campo de significação denotativo e, a partir dele, nos movemos em direção a significação conotativa, em que a mensagem literal começa a ser relacionada com aspectos do conteúdo científico que se pretende alcançar.

Assim, o quarto passo estabelece as relações paradigmáticas e consiste em explicitar as correspondências, ou associações mentais, entre aspectos do significado denotativo e aspectos do conceito químico. O quinto e último passo identifica o conceito químico relacionado à analogia pictórica, enfim, o significado conotativo pretendido.

O Quadro 3 sistematiza os cinco passos do instrumento analítico apresentado.

Quadro 3 – Instrumento analítico

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas
		Elementos Denotativos → Elementos Conotativos
Descrição dos elementos que constituem a imagem.	Descrição de como os elementos prescritos no inventário denotativo estão dispostos espacialmente na imagem e como se relacionam uns com os outros.	Busca das associações entre aspectos similares do significado denotativo (análogo) e do significado conotativo (conceito químico).
Significado Denotativo		Significado Conotativo
Consiste na descrição do significado literal da imagem.		Consiste na descrição do significado científico pretendido com a imagem.

Fonte: autora (2023).

O Quadro 3 deve ser lido da seguinte forma. Ele caminha em duas direções: seta da esquerda para a direita, em que partimos do nível denotativo para níveis mais altos de significação; e de cima para baixo, indicado pelas chaves que exibem como foi construído cada significado. Inicialmente, lê-se o lado esquerdo do quadro, de cima para baixo. O inventário denotativo e as relações sintagmáticas fornecem a construção do significado denotativo, ou a compreensão literal da imagem. A partir das duas primeiras colunas, identificamos os aspectos essenciais do análogo que precisam ser relacionados com aspectos do conceito científico. Daí se segue para

o lado direito do quadro, onde as relações paradigmáticas ficam estabelecidas. Por fim, na leitura do lado direito do quadro, de cima para baixo, as relações entre aspectos do análogo e do conceito científico dão a construção do significado conotativo pretendido pela analogia pictórica. Para cada analogia pictórica os cinco passos do instrumento analítico foram seguidos, conforme o Quadro 3.

5.2 SUJEITOS DA PESQUISA E COLETA DE DADOS

Em um segundo momento, investigamos a construção de significados, realizadas por licenciandos em química de uma universidade pública do Paraná, em agosto de 2022, a partir das analogias pictóricas selecionadas e analisadas na tese. Os dados foram extraídos por meio de questionário disponibilizado via *Google Forms*. Foi um requisito que os participantes da pesquisa já tivessem sido aprovados nas disciplinas de Química Geral I e Química Geral II, que aborda os conceitos das analogias pictóricas, visto que os conteúdos não foram trabalhados pela pesquisadora com os estudantes. Embora as analogias tenham sido retiradas de livros didáticos destinados ao Ensino Médio, buscamos garantir que os participantes já tivessem estudado os conceitos no curso de Licenciatura em Química. Foram convidados para a pesquisa duas turmas, sendo uma do 5º e uma do 7º semestre. No total, dez licenciandos aceitaram participar, dos quais cinco efetivamente retornaram o questionário. Contudo, um deles não respondeu todas as perguntas sobre a analogia pictórica 1 e outro não respondeu todas as perguntas sobre a analogia pictórica 3. Logo, contamos com as respostas de quatro licenciandos para as analogias pictóricas 1 e 3 e de cinco licenciandos para as demais.

Antes de os licenciandos responderem o questionário, foi entregue o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, exibido no Apêndice A, o qual foi lido em conjunto com as turmas. Foram explicados os objetivos da pesquisa, esclarecido que a participação era voluntária e que suas identidades seriam preservadas. Solicitou-se que os licenciandos assinassem o documento, caso estivessem de acordo. Na sequência, apresentamos o questionário a todos, de forma que se familiarizassem com a plataforma *Google Forms*. Instruímos como responder o questionário trazendo um exemplo de uma analogia pictórica com as perguntas e respostas, exibido no Apêndice B, as quais foram discutidas com as turmas para que

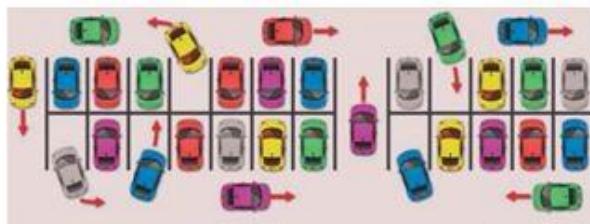
pudessem tirar suas dúvidas quanto ao preenchimento. No Quadro 4, encontra-se o questionário disponibilizado. Para cada analogia, as seis perguntas do questionário foram repetidas.

Quadro 4 – Questionário disponibilizado aos participantes da pesquisa

Os exercícios não são testes ou jogo de adivinhar. A leitura é de natureza subjetiva, então, sintam-se à vontade para falar sobre os aspectos do material que lhes causam determinada interpretação.

Equilíbrio Dinâmico

Imagine o estacionamento de um grande centro de compras no fim de semana que antecede o Natal. As vagas de 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, como mostra a imagem a seguir:



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.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

3. Explique o significado literal da imagem.

4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

As cinco primeiras perguntas do questionário seguem os passos do instrumento analítico para realização da leitura semiológica das analogias. A primeira concentra-se no inventário denotativo, a segunda nas relações sintagmáticas, a terceira no significado denotativo, a quarta nas relações paradigmáticas e a quinta foca no significado conotativo. O objetivo do questionário foi conduzir os licenciandos para uma análise semiológica das analogias pictóricas, a fim de perscrutar a construção dos significados alcançados por eles. Por sua vez, a sexta pergunta objetivou identificar se os licenciandos observaram características das analogias que levam à equívocos conceituais, pois um dos objetivos da pesquisa está em identificar as limitações.

5.3 PROCEDIMENTOS E ORGANIZAÇÃO DA ANÁLISE

Os procedimentos metodológicos da tese são divididos em três momentos, em consonância com os três objetivos da tese. Assim, no primeiro momento, para cada analogia pictórica selecionada, iniciamos com uma breve revisão acerca dos conceitos científicos essenciais aos quais elas se referem. Importa esclarecer que esses conceitos essenciais não foram trabalhados ou disponibilizados aos licenciandos, mas servem para fundamentar os principais pontos a serem considerados na leitura semiológica, realizada na sequência conforme o instrumento analítico proposto. No segundo momento, os dados de cada licenciando, codificados de L1 a L5, obtidos por meio do questionário, são apresentados na íntegra, depois são discutidos e sintetizados de acordo com o instrumento analítico. Posteriormente, no terceiro momento, contrastamos os resultados da leitura semiológica com a validação comunicativa feita com os participantes da pesquisa e mapeamos as relações sintagmáticas e paradigmáticas que levam a construção equivocada do conceito científico e que evidenciam as limitações das analogias. O mapeamento das limitações das analogias pictóricas, ou seja, de características não compartilhadas entre análogo e alvo, foi esquematizado conforme o Quadro 5.

Quadro 5 – Limitações da analogia pictórica

Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas		Significado Conotativo
	Elementos Denotativos	→ Elementos Conotativos	
Características que levam a construção equivocada do conceito científico.	Associações incorretas possíveis entre aspectos do análogo e aspectos do conceito químico.		Significados divergentes do conceito científico objetivado.

Fonte: autora (2023).

O quadro 5 é proveniente do instrumento analítico sistematizado no quadro 3, mas, ao invés de buscar os aspectos similares entre análogo e alvo, identifica o que não deve entrar em correspondência entre os domínios comparados. As relações sintagmáticas indicam as características da imagem, empregada para representar o análogo, que não são compartilhadas com o conceito científico. As relações paradigmáticas explicitam possíveis associações com essas características que culminam em inferências inconsistentes do domínio alvo. E, por fim, o significado conotativo evidencia o equívoco conceitual gerado.

Após realizar todas as etapas descritas nesta seção para as quatro analogias pictóricas, discutimos os resultados e percepções gerais acerca das analogias investigadas, do emprego do instrumento analítico e do questionário proposto aos licenciandos.

6 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Este capítulo está dividido em cinco seções. Nas quatro primeiras, analisamos analogias pictóricas encontradas em livros didáticos de química destinados ao Ensino Médio. Cada seção está organizada da seguinte forma: conceitos essenciais; leitura semiológica da analogia; análise e discussão dos dados dos licenciandos; e, considerações e limitações da analogia. Em cada uma das quatro seções, resgatamos os conceitos científicos essenciais para a compreensão da analogia. Depois, realizamos a leitura semiológica da analogia, cuja interpretação é feita à luz do instrumento analítico. Na sequência, apresentamos os dados obtidos por meio do questionário respondido pelos licenciandos seguida da discussão de cada dado. Encerramos cada seção com considerações acerca dos resultados e com a indicação das limitações encontradas. Por fim, na quinta seção, trazemos uma discussão acerca dos resultados gerais encontrados e das percepções em relação as analogias investigadas, ao instrumento analítico e à estratégia de coleta de dados.

6.1 ANALOGIA 1 – MODELO ATÔMICO DE THOMSON COMPARADO COM UM PUDIM DE PASSAS

Conceitos Essenciais

Em 1897, o físico Joseph John Thomson trouxe a primeira evidência experimental da estrutura interna dos átomos ao investigar tubos de raios catódicos (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018). Segundo Thomson (1904 apud. LOPES; MARTINS, 2009), os átomos seriam constituídos por corpúsculos eletricamente negativos que circulam em anéis coplanares dentro de uma esfera uniformemente positiva. Segundo Thomson (1904, p. 254-255 apud. LOPES; MARTINS, 2009, p. 7):

Nós temos primeiramente uma esfera positiva uniformemente eletrificada, e dentro dessa esfera um número de corpúsculos distribuídos numa série de anéis paralelos, o número de corpúsculos varia de anel para anel: cada corpúsculo está girando em alta velocidade na circunferência do anel que está situado, e os anéis estão distribuídos de forma que os com maior número de corpúsculos estão mais próximos da superfície da esfera, enquanto aqueles com menor número de corpúsculos estão mais internos.

Thomson acreditava ainda que os corpúsculos estavam em grande quantidade no átomo e que, portanto, eram os responsáveis pela massa do átomo (LOPES; MARTINS, 2009).

O modelo atômico proposto por Thomson ficou conhecido como o “modelo do pudim de passas”, popularizado por diversos professores e encontrado na maioria dos materiais instrucionais de diferentes níveis de ensino (RAMOS; MOZZER, 2018). Um estudo realizado por Souza et al. (2006) evidenciou que muitas vezes os estudantes não reconhecem o “pudim de passas” como uma analogia e confundem análogo e alvo, usando muitas vezes como sinônimos, e não percebem as similaridades e limitações existentes. Uma dessas limitações é a questão da dinamicidade do modelo atômico proposto por Thomson que a analogia não consegue expressar (LOPES; MARTINS, 2009). Lopes e Martins (2009) e Ramos e Mozzer (2018) destacam que as explicações de Thomson enfatizam a característica dinâmica do átomo, no qual os elétrons, até então denominados corpúsculos negativos, se movimentavam em anéis.

A analogia do “pudim de passas” é uma das mais frequentes em livros didáticos (MONTEIRO; JUSTI, 2000) e diversos autores avaliam essa analogia quanto a sua utilidade para auxiliar a compreensão do conceito (MONTEIRO; JUSTI, 2000; SOUZA et al., 2006; LOPES; MARTINS, 2009; RAMOS; MOZZER, 2018). Em um panorama geral, essas pesquisas concluem que a analogia pode levar a erros conceituais e que, portanto, é necessário identificar as semelhanças, correspondências e, também, as diferenças entre análogo e alvo. As propriedades do análogo não podem ser transferidas na íntegra para o conceito, pois esse modelo estático foge da ideia proposta por Thomson.

Outro aspecto que merece atenção nessa analogia é o fato de o domínio análogo não ser exatamente familiar à maioria dos estudantes, pois essa é uma sobremesa típica inglesa. Além disso, o que conhecemos como um pudim é bastante diferente do pudim de passas ao qual a analogia faz referência, conforme podemos observar na Figura 11.

Figura 11 – Pudim de passas de origem inglesa



Fonte: Hardy (2009).

Para Ramos e Mozzer (2018), isso pode tornar ainda mais difícil a compreensão do conceito pretendido com a analogia, pois o análogo precisa ser construído primeiro, para somente depois compreender as relações com o alvo. A representação imagética do análogo, em alguns materiais didáticos, já traz alternativas ao pudim de passas, como é o caso da analogia pictórica escolhida nesta tese, que apresenta algo mais parecido com o que conhecemos como um panetone.

Leitura Semiológica

A primeira analogia pictórica se refere ao modelo atômico de Thomson, conforme o Quadro 6, que ficou conhecido como “pudim de passas”. Apesar de a analogia trazer a imagem de algo parecido com um panetone, o texto que a acompanha faz referência ao pudim de passas.

Quadro 6 – Modelo atômico de Thomson comparado com um pudim de passas



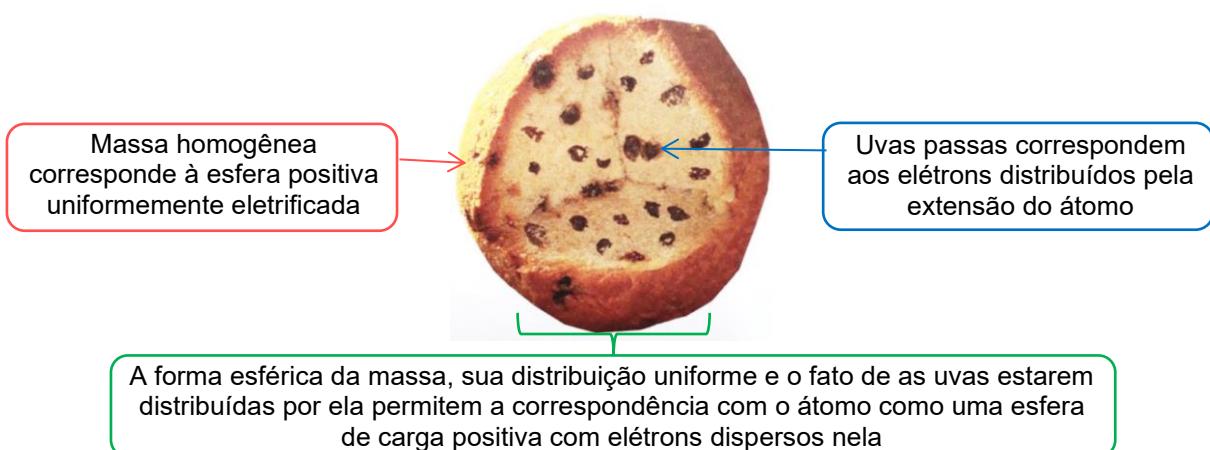
Historicamente, o modelo atômico de Thomson ficou conhecido como um bolo inglês, chamado pudim de passas, representado acima.

Fonte: Santos e Mol (2016, p. 158).

No **inventário denotativo**, identificamos os elementos que constituem a imagem: uma massa e uvas passas. No **eixo sintagmático**, buscamos compreender de que maneira os elementos inventariados estão dispostos na imagem e como se relacionam uns com os outros, a fim de produzir um significado: destacamos o formato esférico da massa, a distribuição uniforme da massa e as uvas passas dispersas por ela de maneira mais ou menos regular. Observamos também que as uvas passas são significativamente menores do que a massa do “pudim”. O **significado denotativo** nesse caso é simples, visto que temos algo parecido presente em nosso cotidiano, um panetone. Além disso, podemos inferir que, por serem menores do que o “pudim”, ou panetone, as uvas passas devem contribuir pouco para a massa total.

Na sequência, nos movemos em direção à conotação ao relacionar aspectos do nível denotativo com aspectos do conceito científico por meio das seguintes **relações paradigmáticas**: a massa do pudim associa-se a esfera de carga elétrica positiva; e, as uvas passas, distribuídas pela massa, aos elétrons que ficam distribuídos na esfera de carga positiva. Outra possibilidade é associar a contribuição das uvas passas para a massa total do panetone com a contribuição dos elétrons para a massa total do átomo. Entretanto, essa seria uma associação indesejada e, portanto, uma limitação da analogia, visto que Thomson acreditava que os elétrons seriam os responsáveis pela massa do átomo. A Figura 12 resume as relações sintagmáticas e paradigmáticas encontradas e consideradas essenciais para a compreensão conceitual da analogia.

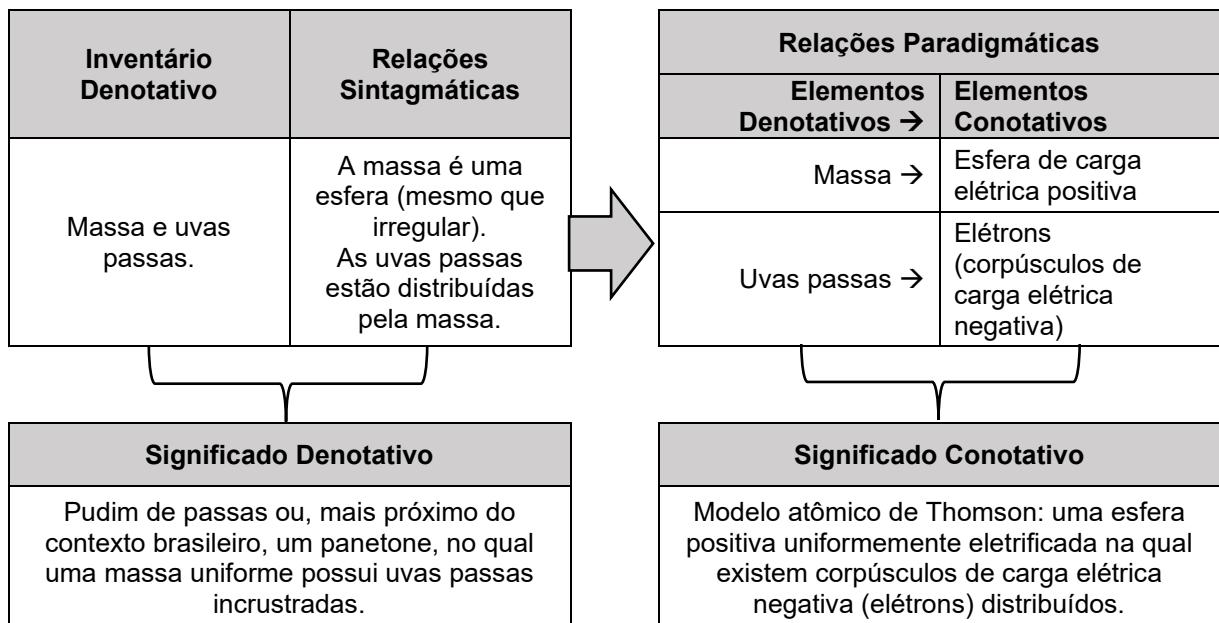
Figura 12 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 1



Fonte: Autora (2023).

O **significado conotativo**, ou seja, o conceito químico relacionado à analogia pictórica, remete ao átomo como uma esfera de carga positiva com corpúsculos negativos distribuídos por ela. O Quadro 7 sintetiza a leitura semiológica e destaca com setas o caminho percorrido para a compreensão correta da analogia.

Quadro 7 – Síntese da análise semiológica da analogia pictórica 1



Fonte: Autora (2023).

Conforme a análise realizada, sintetizada no Quadro 7, as relações necessárias para a compreensão da analogia são relativamente simples e fáceis de estabelecer. Atribuímos a isso o fato de a analogia realizada entre o análogo e alvo se basear em relações estruturais apenas, ou seja, em similaridades de construção e aparência, no caso a forma e a organização espacial. A primeira correspondência realizada é entre o formato e a uniformidade da massa do “pudim” e o formato e a distribuição uniforme da massa de natureza positiva do átomo. A segunda se baseia na comparação entre as uvas passas distribuídas no “pudim” com a distribuição de elétrons pela massa do átomo.

Porém, existem aspectos do modelo atômico proposto por Thomson aos quais analogia não faz referência e que precisam ser destacados. Como as relações analógicas envolvidas são do tipo estrutural, os domínios comparados não compartilham funções, como funcionamento e intensidade, semelhantes. A dinamicidade do átomo não é apresentada na analogia e deve ser ressaltada para que

não se corra o risco de o estudante atribuir a característica estática ao modelo em questão. Outro ponto que merece destaque é a possível associação entre a contribuição das uvas passas para a massa total do pudim/panetone com a contribuição dos elétrons para a massa total do átomo, a qual pode levar a uma conotação divergente da ideia proposta pelo modelo atômico de Thomson. Como observamos que as uvas passas são relativamente menores que o pudim, ao estabelecer as relações com o referido modelo, é possível inferir que os elétrons contribuem pouco para a massa total do átomo. No entanto, Thomson acreditava que os corpúsculos de carga elétrica negativa é que eram os responsáveis pela massa atômica. Diante disso, entendemos que essas características funcionais não compartilhadas compõem as limitações da analogia pictórica 1.

Análise e discussão dos dados de L1

Quadro 8 – Respostas de L1 ao questionário 1

Modelo atômico de Thomson comparado com um pudim de passas.



Historicamente, o modelo atômico de Thomson ficou conhecido como um bolo inglês, chamado pudim de passas, representado acima.

- Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Um panetone de frutas, redondo, cortado em forma oval, com as frutas espalhadas em todo a massa do panetone.

- Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: As frutas estão espalhadas pela massa do panetone, com várias cores, e o formato da massa não é necessariamente redonda.

- Explique o significado literal da imagem.

R: A imagem passa a característica de um pão recheado com frutas, conhecido como panetone.

- Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: O panetone indica a molécula de um átomo com densidade macia, as frutas indicam as cargas negativas que seriam os elétrons, distribuídos aleatoriamente na massa.

- Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Uma molécula de um átomo carregado com partículas minúsculas negativas, distribuídas aleatoriamente em uma esfera positivamente carregada.

- Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, porque pode indicar que um átomo é visível e palpável, o que não correspondem com a explicação de uma partícula que seria minúscula.

Fonte: Autora (2023).

Retomando a seção da metodologia em que explicamos o questionário, cada pergunta seguiu os passos do instrumento analítico utilizado na leitura semiológica da analogia pictórica. A primeira se refere ao inventário denotativo, a segunda às relações sintagmáticas, a terceira ao significado denotativo, a quarta às relações paradigmáticas e a quinta ao significado conotativo. Por sua vez, a sexta pergunta buscou identificar se o licenciando observou características do análogo que não devem ser associadas ao conceito científico e que levam a conotações incorretas.

No **inventário denotativo**, L1 consegue perceber os elementos apontados na análise semiológica da analogia (massa e frutas): “*um panetone de frutas, redondo, cortado em forma oval, com as frutas espalhadas em todo a massa [sic] do panetone*”. Nas **relações sintagmáticas**, L1 observa que as frutas estão espalhadas pela massa, destaca que elas têm cores diferentes e aponta a irregularidade no formato esférico do panetone: “*as frutas estão espalhadas pela massa do panetone, com várias cores, e o formato da massa não é necessariamente redonda [sic]*”. A cor da fruta não é uma característica relevante para a analogia e, embora o licenciando cite isso, ele não associa com nenhum aspecto do modelo atômico de Thomson, como veremos nas relações paradigmáticas mais à frente. O **significado denotativo** alcançado por L1 foi que “*a imagem passa a característica de um pão recheado com frutas, conhecido como panetone*”, indicando que ele compreendeu o domínio análogo.

Como **relações paradigmáticas**, L1 estabelece corretamente a associação entre as frutas e as cargas negativas/elétrons: “[...] *as frutas indicam as cargas negativas que seriam os elétrons [...]*”. Porém, na sequência, associa a distribuição aleatória das frutas na massa com a distribuição dos elétrons no átomo: “[...] *seriam os elétrons, distribuídos aleatoriamente na massa*”, o que não está de acordo com o modelo proposto por Thomson, no qual os elétrons ficam distribuídos numa série ordenada de anéis paralelos. Por fim, L1 diz que “*o panetone indica a molécula de um átomo com densidade macia [...]*”. Não se comprehende o que L1 quis dizer com “*molécula do átomo*”, visto que molécula e átomo são coisas diferentes. Além disso, também não se entende o que L1 quer dizer com a expressão “*densidade macia*”.

O **significado conotativo** apresentado por L1 foi: “*uma molécula de um átomo carregado com partículas minúsculas negativas, distribuídas aleatoriamente em uma esfera positivamente carregada*”. Como L1 não volta a

mencionar nada sobre densidade, entendemos que essa associação foi considerada irrelevante por ele na construção do significado conotativo. Quanto à expressão “molécula do átomo”, ela volta a aparecer, portanto, evidencia uma incompreensão conceitual do que são moléculas e do que são átomos. Apesar de haver coerência no significado conotativo indicado por L1, pois no modelo atômico de Thomson há partículas negativas distribuídas por uma esfera de carga positiva, ele apresenta uma conotação incorreta quanto à distribuição dos elétrons pelo átomo, que não estariam dispersos aleatoriamente.

Ao ser questionado sobre as limitações da analogia, L1 menciona a diferença entre as dimensões do análogo e do alvo: a comparação com o pudim/panetone “[...] pode indicar que um átomo é visível e palpável, o que não correspondem com a explicação de uma partícula que seria minúscula”. Essa observação é válida, pois as dimensões do átomo são submicroscópicas. Porém, destacamos que a representação objetiva deixar mais concreto um conceito abstrato, portanto, a diferença nas dimensões vem no sentido de auxiliar a compreensão. O Quadro 9 resume a construção de significados por L1 a partir da analogia 1.

Quadro 9 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 1

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos		
<i>Um panetone de frutas, redondo, cortado em forma oval, com as frutas espalhadas em todo a massa do panetone.</i>	<i>As frutas estão espalhadas pela massa do panetone, com várias cores, e o formato da massa não é necessariamente redonda.</i>	<i>Panetone →</i>	<i>Molécula do átomo</i>
		<i>Frutas →</i>	<i>Cargas negativas (elétrons)</i>
		<i>Distribuição aleatória das frutas na massa →</i>	<i>Distribuição dos elétrons no átomo</i>
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>A imagem passa a característica de um pão recheado com frutas, conhecido como panetone.</i>		<i>Uma molécula de um átomo carregado com partículas minúsculas negativas, distribuídas aleatoriamente em uma esfera positivamente carregada.</i>	

Fonte: Autora (2023).

Observando a construção do significado, a partir das discussões e do Quadro 9, identificamos que L1 estabeleceu uma das relações paradigmáticas necessárias para a compreensão da analogia: frutas com elétrons. No entanto, uma associação incorreta foi estabelecida: distribuição aleatória das frutas na massa com distribuição dos elétrons no átomo. Essa associação levou à construção parcialmente incorreta do significado conotativo, pois L1 indica compreender o modelo de Thomson, exceto no que diz respeito à distribuição dos corpúsculos de carga elétrica negativa não ser aleatória. Essa característica é uma limitação da analogia, pois a forma como as frutas estão distribuídas na massa do panetone na figura não devem ser relacionadas à maneira como os elétrons se distribuem no átomo. Isso seria uma possível relação paradigmática que a figura pode gerar, mas que não deve ser estabelecida.

Análise e discussão dos dados de L2

Quadro 10 – Respostas de L2 ao questionário 1

Modelo atômico de Thomson comparado com um pudim de passas.



Historicamente, o modelo atômico de Thomson ficou conhecido como um bolo inglês, chamado pudim de passas, representado acima.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Panetone, frutas cristalizadas na parte interna, formato redondo, sem a tampa do panetone, cortado a tampa no formato de um triângulo.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: Eles formam um conjunto, com o panetone com uma cor padrão, e uma quantidade de frutas cristalizadas em todo o panetone.
3. Explique o significado literal da imagem.

R: É um pão com frutas no seu interior.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: No formato do panetone, a sim uma relação entre o átomo de Thomson, os elétrons e os prótons sendo as frutas cristalizadas, espalhadas pelo panetone. Existem algumas irrelevâncias sobre a amostra do panetone, não contendo o núcleo, sendo as frutas coloridas, assim não podendo identificar quais são os elétrons e os prótons.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: A imagem representa um conjunto de partículas negativas pequenas, ligadas a massa.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, na analogia existem limitações sobre como demonstrar as cargas negativas e positivas, as cargas negativas elas são minúsculas e não ficam paradas, as cargas negativas e positivas não ficam só no interior da massa, as cargas ficam no seu interior e exterior, onde teremos um núcleo interno, atraindo essas cargas.

Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L2 inclui “*panetone, frutas cristalizadas na parte interna, formato redondo, sem a tampa do panetone, cortado a tampa no formato de um triangulo [sic]*”. L2 percebe as frutas, não menciona a massa e destaca os cortes no panetone que permitem ver seu interior, o que não é relevante para a compreensão na analogia. Entretanto, posteriormente não estabelece relações entre essa característica e o conceito científico. Nas **relações sintagmáticas**, L2 aponta que as frutas e a massa formam um conjunto e observa a disposição das frutas pelo panetone: “*eles formam um conjunto, com o panetone com uma cor padrão, e uma quantidade de frutas cristalizadas em todo o panetone*”. Quando L2 diz “cor padrão”, entendemos que ele se refere à uniformidade da massa. A cor da imagem não é um aspecto relevante, mas a observação sobre a uniformidade sim, visto que no modelo de Thomson o átomo é uma esfera uniformemente eletrificada. O **significado denotativo** apresentado por L2 foi: “*é um pão com frutas no seu interior*”.

Nas **relações paradigmáticas**, L2 associa as frutas cristalizadas espalhadas no panetone aos elétrons e prótons distribuídos pelo átomo: “[...] os elétrons e os prótons sendo as frutas cristalizadas, espalhadas pelo panetone”. Essa ideia é reforçada quando L2 afirma que as frutas serem coloridas impossibilitam identificar quais correspondem aos prótons e quais correspondem aos elétrons: “[...] sendo as frutas coloridas, assim não podendo identificar quais são os elétrons e os prótons [sic]”. Essa associação está incorreta, pois a ideia de prótons não existe no modelo atômico de Thomson. É dada ênfase ao fato de o panetone não apresentar um núcleo: “*existem algumas irrelevâncias sobre a amostra do panetone, não contendo o núcleo [...]*”, o que pode indicar uma confusão com outros modelos atômicos, como o de Rutherford/Borh, pois no modelo atômico de Thomson não existe um núcleo.

O **significado conotativo** apresentado por L2 foi que “*a imagem representa um conjunto de partículas negativas pequenas, ligadas a massa [sic]*”. Nessa questão, L2 não volta a citar os prótons, mas tampouco descreve o que seria o átomo para Thomson. Apesar de citar partículas negativas ligadas à massa, não cita que o átomo seria uma esfera positiva uniformemente eletrificada, que é parte essencial da ideia proposta por Thomson. Portanto, L2 não alcança a conotação esperada para a analogia.

A respeito das limitações da analogia, L2 volta a mencionar a forma como as cargas positivas e negativas foram demonstradas: “[...] existem limitações

sobre como demonstrar as cargas negativas e positivas". Acreditamos que ele faz referência ao comentário anterior: "[...] sendo as frutas coloridas, assim não podendo identificar quais são os elétrons e os prótons [...]"". Conforme já comentado, a associação das frutas com elétrons e prótons está incorreta. L2 aponta ainda que, ao contrário da imagem, as cargas positivas e negativas são minúsculas e não ficam paradas: "[...] as cargas negativas elas são minúsculas e não ficam paradas [...]"". Essa é uma observação relevante, pois indica que L2 comprehende que o átomo não é estático e reconhece que essa característica poderia ser erroneamente associada ao conceito científico. Quanto ao tamanho da carga, consideramos uma diferença importante, embora proposital, visto que a intenção do análogo é trazer algo mais fácil de visualizar do que o átomo. Por fim, L2 parece confundir novamente outros modelos atômicos com o de Thomson: "[...] as cargas negativas e positivas não ficam só no interior da massa, as cargas ficam no seu interior e exterior, onde teremos um núcleo interno, atraindo essas cargas". O Quadro 11 sintetiza a construção de significados por L2 a partir da analogia 1.

Quadro 11 – Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 1.

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Panetone, frutas cristalizadas na parte interna, formato redondo, sem a tampa do panetone, cortado a tampa no formato de um triângulo.</i>	<i>Eles formam um conjunto, com o panetone com uma cor padrão, e uma quantidade de frutas cristalizadas em todo o panetone.</i>		<i>Frutas cristalizadas → Elétrons e prótons</i>
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>É um pão com frutas no seu interior.</i>		<i>A imagem representa um conjunto de partículas negativas pequenas, ligadas a massa.</i>	

Fonte: Autora (2023).

A partir do Quadro 11 e da análise dos dados, observamos que L2 comprehendeu o significado denotativo da analogia, mas que o significado conotativo apresentado por ele não condiz com a ideia de átomo proposta por Thomson.

Atribuímos isso ao fato de L2 não estabelecer as relações necessárias para conotação correta da analogia pictórica e apresentar uma relação paradigmática incoerente do ponto de vista científico, pois as frutas cristalizadas correspondem apenas aos elétrons e não aos prótons. Essa associação indica a falta de domínio do conteúdo científico por L2, mais do que limitações nas características da analogia pictórica. Inferimos que houve uma confusão com outros modelos atômicos e isso o levou a uma interpretação incorreta.

No entanto, entendemos que o potencial da leitura semiológica foi expresso nesse caso. Investigar o processo interpretativo de L2 permitiu compreender as relações que ele estabeleceu entre análogo e alvo, ou seja, como construiu o significado. Caso ele expusesse apenas o que ele compreendeu na analogia “*a imagem representa um conjunto de partículas negativas pequenas, ligadas a massa*”, não seria possível identificar os erros conceituais evidenciados nas respostas.

Análise e discussão dos dados de L3

Quadro 12 – Respostas de L3 ao questionário 1

Modelo atômico de Thomson comparado com um pudim de passas.



Historicamente, o modelo atômico de Thomson ficou conhecido como um bolo inglês, chamado pudim de passas, representado acima.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Pudim de passas, onde pode ser observado as passas encrustada na massa.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: As passas encrustada no pudim, a forma redonda.
3. Explique o significado literal da imagem.

R: Um pudim com as passas encrustadas no interior da massa.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: O pudim de passas está relacionado com o modelo atômico de Thomson, que as passas representam os pontos positivos e negativos no átomo.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Thomson propôs a ideia de que o átomo possui massa, carga e era divisível.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Não existem limitações na analogia, pois é possível relacionar o conteúdo de átomo com o pudim de passas.

Fonte: Autora (2023).

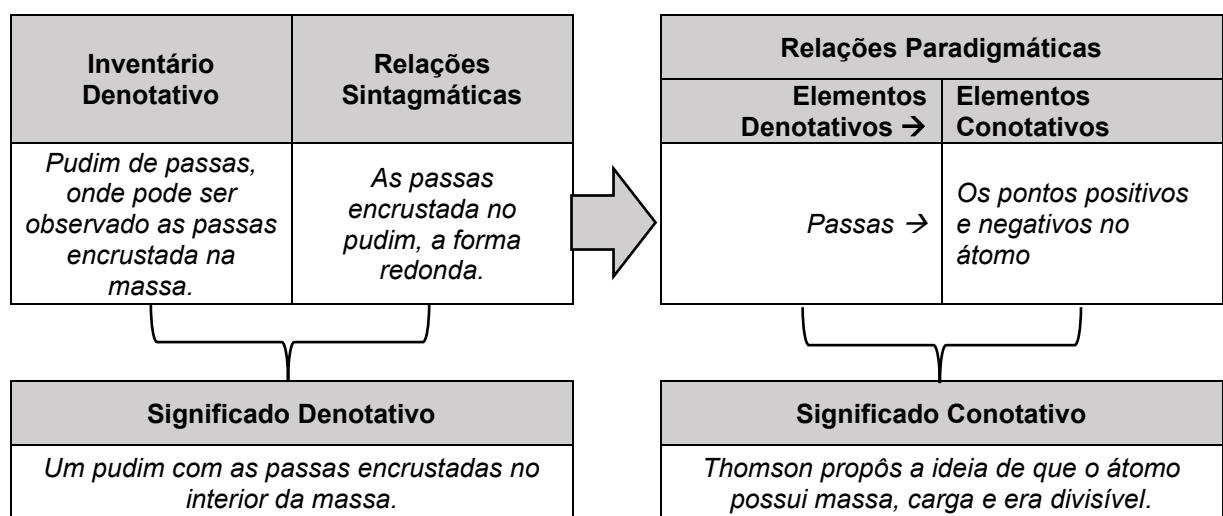
No **inventário denotativo**, L3 identifica: “*pudim de passas, onde pode ser observado as passas encrustada [sic] na massa*”. Nas **relações sintagmáticas**, L3 observa o formato redondo do pudim e uvas passas incrustadas: “*as passas encrustada [sic] no pudim, a forma redonda*”. O **significado denotativo** apontado por

L3 foi “um pudim com as passas encrustadas no interior da massa”, mostrando que ele compreendeu o análogo.

Nas **relações paradigmáticas**, L3 relaciona erroneamente as uvas passas com elétrons e prótons: “[...] as passas representam os pontos positivos e negativos no átomo”. O **significado conotativo** apresentado por L3 foi: “Thomson propôs a ideia de que o átomo possui massa, carga e era divisível”. Essas características atribuídas por L3 não estão erradas, pois, para Thomson, o átomo é algo divisível e possui massa e carga. No entanto, não é trazida uma explicação do modelo atômico em questão e não são descritas suas principais características. A única relação paradigmática estabelecida por L3 foi incorreta, o que nos faz inferir que o significado conotativo esperado não foi alcançado, ainda que, ao ser questionado sobre o significado científico que a imagem representa, não tenha sido expresso nenhum conceito incorreto.

Em relação às limitações, L3 aponta que são inexistentes: “não existem limitações na analogia, pois é possível relacionar o conteúdo de átomo com o pudim de passas”. A falta de identificação de limitações reforça que L3 não comprehende a analogia como tal, mas sim como uma representação fiel do conceito. Além disso, embora aponte que é possível relacionar o modelo atômico com o análogo, não estabelece nenhuma associação correta entre os dois domínios. O Quadro 13 sintetiza a construção de significados por L3 a partir da analogia 1.

Quadro 13 – Construção de significados por L3 em relação à analogia pictórica 1



Fonte: Autora (2023).

Observando a construção de significados por L3, conforme o Quadro 13 e a análise dos dados, percebemos que as relações paradigmáticas necessárias para a interpretação correta da analogia pictórica não foram estabelecidas e que a única associação realizada foi incorreta: passas com os pontos positivos e negativos no átomo. L3 não aponta nenhum aspecto da imagem que o tenha levado a estabelecer essa relação e não especifica as características do átomo na concepção de Thomson. Assim como ocorreu com L2, atribuímos a má interpretação à compreensão equivocada do conteúdo científico e não às características da analogia pictórica.

Análise e discussão dos dados de L4

Quadro 14 – Respostas de L4 ao questionário 1

Modelo atômico de Thomson comparado com um pudim de passas.



Historicamente, o modelo atômico de Thomson ficou conhecido como um bolo inglês, chamado pudim de passas, representado acima.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Um bolo inglês redondo com uvas passas dispersas.

2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: A distribuição das passas no bolo pode se relacionar como os elétrons (partículas com carga negativa) no átomo.

3. Explique o significado literal da imagem.

R: Um bolo representando um átomo com cargas positivas e negativas.

4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: Redondo representando uma esfera, distribuição das cargas negativas: os elétrons e também as cargas positivas: os prótons, para que as cargas finais sejam neutras, não fixas.

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: A representação de um átomo (esfera) com os elétrons e nêutrons distribuídos.

6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, pois a distribuição pode não ser uniforme.

Fonte: Autora (2023).

No **inventário denotativo**, L4 aponta: “*um bolo inglês redondo com uvas passas dispersas*”. Embora sejam evidenciados os itens esperados, as características da construção do análogo, que eram requeridas na pergunta referente às **relações sintagmáticas**, já foram evidenciadas: “[...] *redondo com uvas passas dispersas*”. Na pergunta direcionada às relações sintagmáticas, L4 já relaciona aspectos do análogo e alvo: “*a distribuição das passas no bolo pode se relacionar como [sic] os elétrons (partículas com carga negativa) no átomo*”. A associação das passas com os elétrons está correta, entretanto, L4 não se atém apenas à construção do significado literal da imagem. Por conseguinte, o **significado denotativo** apresentado também não se restringiu à descrição do análogo: “*um bolo representando um átomo com cargas positivas e negativas*”. Apesar de L4 falar em cargas positivas, nessa resposta não fica claro onde elas se localizariam no átomo.

No que diz respeito às **relações paradigmáticas**, L4 associa o formato do bolo inglês ao formato do átomo: “*redondo representando uma esfera [...]*”. Entretanto, não fica claro novamente o que L4 entende sobre a correspondência das uvas passas no contexto científico: “[...] *distribuição das cargas negativas: os elétrons e também as cargas positivas: os prótons, para que as cargas finais sejam neutras, não fixas [sic]*”. Como no modelo atômico proposto por Thomson não existe o conceito de prótons, pois a carga elétrica positiva está uniformemente dispersa pela massa do átomo, consideramos esse aspecto incoerente do ponto de vista científico. No entanto, inferimos que L4 associou as uvas passas apenas com elétrons, conforme afirmou na segunda pergunta do questionário: “*a distribuição das passas no bolo pode se relacionar como [sic] os elétrons (partículas com carga negativa) no átomo*”.

Na sequência, o **significado conotativo** apresentado por L4 foi: “[...] *um átomo (esfera) com os elétrons e nêutrons distribuídos*”. A conotação de L4 não está de acordo com o modelo atômico de Thomson, pois nele não há menção de partículas neutras (nêutrons). Além disso, notamos que há uma incoerência entre as respostas das questões anteriores nas quais L4 não indicava a existência de nêutrons e citava prótons, o que não foi mencionado aqui. Assim, como ocorreu com L2 e L3, ocorre uma confusão com outros modelos atômicos que trazem a noção de prótons e nêutrons. Por fim, L4 aponta que uma das limitações da analogia é que “*a distribuição pode não ser uniforme*”. Não fica claro se L4 se refere à distribuição das uvas passas na massa ou à distribuição das cargas no átomo. O Quadro 15 sintetiza a construção de significados por L4 a partir da analogia 1.

Quadro 15 – Construção de significados por L4 em relação à analogia pictórica 1

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Um bolo e uvas passas.</i>	<i>Um bolo inglês redondo com uvas passas dispersas.</i>	<i>Distribuição das passas no bolo →</i>	<i>Distribuição dos elétrons (partículas com carga negativa) no átomo</i>
		<i>Bolo redondo →</i>	<i>Átomo como uma esfera</i>
		<i>Uvas passas →</i>	<i>elétrons (partículas com carga negativa) no átomo</i>

Significado Denotativo	Significado Conotativo
<i>Um bolo representando um átomo com cargas positivas e negativas.</i>	<i>Um átomo (esfera) com os elétrons e nêutrons distribuídos.</i>

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 15 e as discussões anteriores, o significado conotativo apresentado por L4 não está de acordo com o modelo atômico de Thomson. Apesar de haver relações paradigmáticas corretas, como o formato do bolo com o formato do átomo e as uvas passas com elétrons, L4 não explica onde estariam as cargas positivas e neutras que cita ao explicar análogo e alvo.

Nesse caso, chamamos atenção para um problema com a analogia do pudim de passas já apontado na literatura por Souza et al. (2006). É comum os estudantes não reconhecerem o “pudim de passas” como uma analogia e confundirem análogo e alvo como sinônimos. Notamos que L4 estabelece relações com o conteúdo científico ainda quando o foco era a descrição literal da imagem, ou seja, não separa os significados denotativos e conotativos. Embasados em Penn (2002), é essencial que o significado denotativo esteja claro para que se possa alcançar os níveis mais altos de significação e isso não foi realizado por L4. Entendemos que isso se refletiu na construção inadequada do significado conotativo da analogia pictórica.

Considerações e Limitações da Analogia 1

De maneira geral, os licenciandos que compuseram o *corpus* de pesquisa da analogia pictórica 1 não tiveram dificuldades em observar os componentes do análogo e nem em descrever como se relacionavam entre si. Assim, conseguiram construir o significado denotativo conforme o esperado na análise semiológica realizada no início da seção. A exceção foi L4, que não separou os domínios análogo e alvo, ainda que as três primeiras perguntas do questionário fossem direcionadas ao contexto literal da imagem.

Ao saírem do contexto análogo em direção ao conteúdo científico, algumas relações paradigmáticas indevidas foram estabelecidas. L1 e L4 associaram a distribuição aleatória das frutas na massa à forma com que os elétrons estariam dispostos no átomo. Entendemos que essa seja uma das limitações da analogia, pois essa característica do análogo pode ser transferida ao alvo, levando a uma conotação incorreta, visto que Thomson afirmava que os elétrons ficariam distribuídos em anéis coplanares. L2 e L3 associaram as frutas cristalizadas/uvas passas a elétrons e prótons. Conforme os dados de L2, a cor das frutas o levou a entender que havia corpúsculos de natureza distinta no átomo, portanto, essa seria uma limitação da analogia. Entretanto, na imagem disponibilizada não há frutas cristalizadas de diferentes cores. Na construção do significado denotativo, L2 cita um panetone (que normalmente leva frutas diversas na massa) e, a partir disso, estabelece as associações com o conteúdo científico. Assim, entendemos que a analogia pictórica de um panetone com frutas distintas pode levar a uma relação paradigmática incorreta. Embora a imagem não contenha frutas distintas, o conhecimento do análogo pelo licenciando possibilitou essa associação. L3 também estabelece essa relação paradigmática incorreta, mas não indica que há diferença nas frutas contidas na massa. Assim, entendemos que seu erro foi devido à falta de domínio do conceito científico e não às características da analogia.

Acrescentamos mais duas possibilidades a essas associações incorretas, já apontadas ao realizar a análise semiológica da analogia pictórica. A primeira é associar a contribuição das uvas passas para a massa total do panetone com a contribuição dos elétrons para a massa total do átomo, que levaria a uma conotação contrária à de Thomson. A segunda é associar a posição estática das uvas passas no pudim/panetone aos elétrons no átomo, quando, na verdade, eles estariam

girando em alta velocidade. Essa limitação é apontada também por L2 ao afirmar que “*as cargas negativas [...] não ficam paradas*”.

As relações sintagmáticas e paradigmáticas que podem levar a uma conotação incorreta e, portanto, às limitações da analogia, estão resumidas no Quadro 16.

Quadro 16 – Limitações da analogia pictórica 1

Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas		Significado Conotativo
	Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos	
Frutas distribuídas aleatoriamente na massa.	Distribuição das frutas na massa →	Distribuição dos elétrons (partículas com carga negativa) no átomo	Elétrons distribuídos aleatoriamente no átomo.
Diferentes frutas na massa.	Frutas/uvas passas →	Elétrons e prótons	Átomo com prótons e elétrons.
Frutas/uvas passas são significativamente menores que a massa do pudim/panetone.	Contribuição das uvas passas/frutas para a massa total do panetone/pudim →	Contribuição dos elétrons para a massa total do átomo	Elétrons contribuem pouco para massa do átomo.
Uvas passas fixas no pudim/panetone.	Posição estática das uvas passas no pudim/panetone →	Posição estática dos elétrons no átomo	Átomo estático.

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 16, algumas características do análogo, que chamamos de limitações, por não possuírem correspondência com o alvo, possibilitam associações que levam a uma conotação divergente da pretendida pela analogia.

No caso da analogia entre o “pudim de passas”/panetone e o modelo atômico de Thomson, a distribuição aleatória das frutas na massa pode ser transferida ao alvo e levar à compreensão incorreta de que os elétrons ficam distribuídos aleatoriamente no átomo. Se for empregada uma imagem de um panetone que contenha diferentes frutas, como uvas passas e frutas cristalizadas, o pensamento de que há corpúsculos de natureza distinta no referido modelo atômico, como elétrons e prótons, é favorecido. O fato de as uvas passas serem pequenas em relação ao pudim/panetone possibilita inferir que elas contribuem pouco para a massa total do

conjunto. Se essa característica for associada com a contribuição dos elétrons para a massa total do átomo, leva à conotação contrária da proposta por Thomson, que acreditava que os elétrons seriam os responsáveis pela maior parte da massa, visto que existiam em grande quantidade. Por fim, a última limitação que identificamos é a natureza estática do análogo, que não deve ser relacionada à dinâmica do átomo.

6.2 ANALOGIA 2 – MODELO ATÔMICO DE RUTHERFORD COMPARADO COM O SISTEMA PLANETÁRIO

Conceitos Essenciais

O modelo atômico de Thomson, discutido na seção anterior, trouxe a noção de que o átomo era formado por corpúsculos de carga elétrica negativa, distribuídos em uma esfera de carga positiva. No entanto, em 1909, Hans Geiger e Ernest Marsden realizaram experimentos para estudar a interação da radioatividade com diferentes metais e observaram que, ao incidir partículas alfa sobre lâminas finas de metais, uma pequena fração delas eram refletidas (RUTHERFORD, 1911; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2010; SANTOS; MOL, 2016). Segundo o modelo de Thomson, as partículas alfas deveriam sofrer apenas leves desvios ao atravessar os átomos, porém, os experimentos mostravam que uma parte pequena dessas partículas retornavam com grandes ângulos de desvio (URIYE BELTRÁN; CUÉLLAR FERNÁNDEZ, 2003; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2010; SANTOS; MOL, 2016).

A partir dessa observação, Rutherford (1911) supôs que o átomo consistia em uma carga central, cercada por uma distribuição uniforme de sinal oposto, o que explicaria uma força repulsiva intensa quando ocorresse impactos frontais (URIYE BELTRÁN; CUÉLLAR FERNÁNDEZ, 2003; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2010). Essa noção levou Rutherford a concluir que os grandes desvios observados nos experimentos de Geiger e Marsden só poderiam resultar do confronto de uma partícula alfa com uma carga concentrada em uma pequena região do átomo (SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2010). Nas palavras de Rutherford (1911, p.19/20),

ao comparar a teoria esboçada neste artigo com o resultado experimental, foi suposto que o átomo consiste em uma carga central concentrada em um ponto, e que as grandes deflexões simples das partículas α e β são principalmente devido à sua passagem através do forte campo central. [...] Os dados gerais disponíveis indicam que o valor desta carga central para diferentes átomos é aproximadamente proporcional aos seus pesos atómicos. (tradução nossa)

Como a radiação alfa é constituída por cargas positivas, Rutherford supôs que a região central do átomo tinha o mesmo tipo de carga, visto que repelia as partículas que se aproximavam dessa região (SANTOS; MOL, 2016). Assim, Rutherford idealizou um novo modelo atômico, no qual existe um núcleo, em que se

concentra praticamente toda a massa do átomo, com partículas positivamente carregadas, posteriormente chamadas prótons, e elétrons ao redor da região central na região chamada eletrosfera (URIBE BELTRÁN; CUÉLLAR FERNÁNDEZ, 2003; SIQUEIRA; PIETROCOLA, 2010; SANTOS; MOL, 2016). Segundo Uribe Beltrán e Cuéllar Fernández (2003, p. 6):

Rutherford, após comparar os resultados experimentais de seu modelo, confirmou que o átomo consistia em um núcleo de dimensões muito pequenas com uma carga positiva, o qual também contém quase toda a massa do átomo, cercada por uma distribuição de elétrons, com carga negativa, que tornam o átomo neutro, estendido para distâncias do núcleo comparáveis aos raios aceitos do átomo. (tradução nossa)

O modelo atômico de Rutherford foi, historicamente, comparado ao sistema planetário (RUTHERFORD, 1911; SANTOS; MOL, 2016) devido ao fato de seu modelo considerar que os elétrons estariam girando ao redor do núcleo do átomo, bem como os planetas giram em órbitas ao redor do sol no sistema solar (SANTOS; MOL, 2016). Porém, esse modelo não poderia estar em um equilíbrio estático, pois os elétrons seriam arrastados para o núcleo, caso não estivessem se movendo em órbitas estáveis (RUTHERFORD, 1911). Rutherford (1911, p. 23) estava ciente dessa problemática, no entanto, optou por ignorar essa questão enquanto realizava suas pesquisas e afirmou, na época, que “a questão da estabilidade do átomo proposto não precisa ser considerada nesta fase”.

A estabilidade do átomo foi explicada, posteriormente, por meio dos experimentos e pesquisas de Niels Bohr, ao introduzir a noção de que os elétrons dos átomos estão distribuídos em níveis estáveis de energia. Não adentraremos em detalhes sobre o modelo atômico de Bohr, porém, cabe dizer que os níveis de energia são descritos por órbitas ao redor do núcleo (SANTOS; MOL, 2016). Segundo Santos e Mol (2016, p. 175), “Bohr aperfeiçoou o modelo atômico de Rutherford e desenvolveu um novo modelo, conhecido como Rutherford-Bohr, o qual representa os elétrons girando em órbitas [...]”.

Essa discussão se torna particularmente pertinente porque algumas pesquisas sobre analogias no ensino de química questionam a analogia que compara o modelo atômico de Rutherford com o sistema planetário. Justi (2000, p. 219) aponta que, ao realizar essa comparação em livros didáticos, os autores “ignoram que o movimento dos elétrons nas órbitas não foi proposto por Rutherford; que este foi

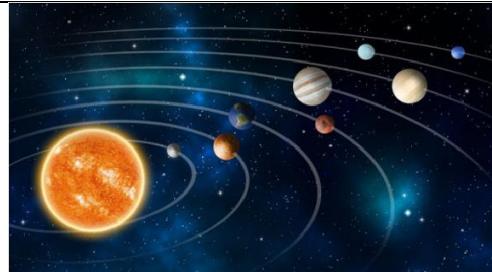
exatamente o principal novo atributo do modelo proposto por Bohr". Segundo a autora, isso dificulta a diferenciação, pelos alunos, entre os dois modelos. Souza, Justi e Ferreira (2006) investigam analogias utilizadas no ensino de modelos atômicos e mostram que a comparação entre o modelo atômico proposto por Bohr e o sistema solar são bastante frequentes. Entretanto, historicamente, o modelo planetário é indicado como análogo ao modelo atômico de Rutherford (FONSECA, 2013; SANTOS; MOL, 2016). Ao propor suas explicações sobre a estrutura do átomo, Rutherford (1911, p. 21) faz referência ao trabalho de Nagaoka, que propunha o chamado modelo "saturiano" do átomo, o qual consistia "em uma massa de atração central cercada por anéis de elétrons rotativos", demonstrando que ele tinha o modelo planetário em mente.

Postas essas considerações, entendemos que, embora Rutherford não tenha explicado a estabilidade do átomo segundo o seu modelo, a analogia com o sistema planetário se fazia presente, o que justifica seu uso no ensino sobre o referido modelo atômico. Apesar disso, assim como Justi (2000), também entendemos que essa analogia pode ser utilizada como uma comparação a um modelo atômico híbrido de Rutherford-Bohr. Nesta tese, empregamos a analogia do sistema solar comparado ao modelo atômico de Rutherford, pois é como aparece no livro didático do qual foi retirada.

Leitura Semiológica

A segunda analogia imagética se refere ao modelo atômico de Rutherford, no qual o átomo possui um núcleo de carga positiva, responsável por toda a massa atômica, e elétrons girando ao redor do núcleo, na região chamada eletrosfera. Esse modelo ficou conhecido como sistema planetário (FONSECA, 2013), ou sistema solar, e está representado no Quadro 17.

Quadro 17 – Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



Alguns cientistas representaram o átomo como uma estrutura parecida com a do sistema solar.

Fonte: Santos e Mol (2016, p. 161).

No **inventário denotativo**, temos o sol, planetas, órbitas e estrelas. No **eixo sintagmático**, identificamos o sol na posição central do sistema, planetas ao redor do sol, órbitas ao redor do sol, planetas dispostos nas órbitas e estrelas espalhadas por todo o espaço. Observamos também que o sol é maior que os planetas e que os planetas possuem diferentes tamanhos. O **significado denotativo** da imagem é o sistema solar, o qual espera-se que a maioria das pessoas conheçam, ainda que possivelmente não entendam seu funcionamento.

As seguintes **relações paradigmáticas** foram estabelecidas: o sol associa-se ao núcleo do átomo, de carga positiva; os planetas aos elétrons, de carga negativa; e as órbitas a eletrosfera. Outra possibilidade é associar o fato de o sol ser maior que os planetas com o núcleo atômico sendo maior que os elétrons no átomo. Porém, o tamanho do sol em relação aos planetas não deve ser associado com o tamanho do núcleo que, segundo Rutherford, seria pequeno e denso. A diferença de tamanho dos planetas também não deve entrar em correspondência com o conteúdo científico, pois levaria a suposição de que os elétrons possuem tamanhos distintos. As estrelas presentes na imagem não foram relacionadas a nenhum aspecto do conteúdo, pois não há uma correspondência para elas no referido modelo atômico. Uma última relação paradigmática indesejada, mas possível, seria associar as órbitas estáveis dos planetas com as órbitas dos elétrons. Conforme discutimos no início da seção, a noção de órbitas estáveis foi proposta por Bohr, posteriormente ao modelo atômico de Rutherford. Essa associação estaria correta somente se a analogia, no livro didático, se referisse a um modelo híbrido Rutherford/Bohr. A Figura 13 resume as relações sintagmáticas e paradigmáticas encontradas e consideradas essenciais para a compreensão conceitual da analogia.

Figura 13 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 2



Fonte: Autora (2023).

O **significado conotativo** da analogia pictórica se refere ao átomo com um núcleo de carga positiva e elétrons girando ao redor, na região chamada eletrosfera. O Quadro 18 sintetiza a análise realizada e destaca as relações necessárias para a compreensão da analogia.

Quadro 18 – Síntese da análise semiológica da analogia pictórica 2

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
Sol, planetas e órbitas.	O sol está na posição central. Os planetas ficam ao redor do sol. Diversas órbitas nas quais os planetas estão dispostos.	Sol →	Núcleo de carga positiva.
		Planetas →	Elétrons (carga negativa).
		Órbitas →	Eletrosfera.

Significado Denotativo		Significado Conotativo	
Sistema Solar: o sol fica no centro do sistema solar e os planetas giram ao seu redor em órbitas.			Modelo atômico de Rutherford: o núcleo de carga positiva fica no centro do átomo e os elétrons ficam ao redor do núcleo na região chamada eletrosfera.

Fonte: Autora (2023).

As relações necessárias para a compreensão da analogia são relativamente simples por se tratar, assim como na analogia pictórica 1, de relações do tipo estrutural. Conforme o Quadro 18 e as discussões anteriores, as similaridades

entre análogo e alvo se baseiam na disposição do sol e dos planetas comparadas à disposição do núcleo atômico e dos elétrons.

Contudo, identificamos que uma relação do tipo funcional, que compara intensidade, também é possível: o sol mais massivo que os planetas, comparado ao núcleo atômico mais massivo que os elétrons. Embora essa seja uma relação paradigmática coerente para o referido modelo atômico, visto que Rutherford propôs que a carga central do átomo concentra praticamente toda a massa do átomo, entendemos que a analogia pictórica 2 é essencialmente estrutural e não funcional. Isso porque relações do tipo funcionais entre o sistema solar e o modelo atômico são mais pertinentes quando se trata do modelo híbrido Rutherford/Bohr. Pelo exposto, inferimos que essa associação é complementar e capaz de enriquecer a analogia, mas não essencial para que ela cumpra seu objetivo comunicativo. Por fim, destacamos que algumas características do nível denotativo não devem ser relacionadas ao modelo atômico de Rutherford, como a existência de estrelas e órbitas estáveis.

Análise e discussão dos dados de L1

Quadro 19 – Respostas de L1 ao questionário 2

Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



Alguns cientistas representaram o átomo como uma estrutura parecida com a do sistema solar.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).
R: Os planetas, as órbitas, o sol, o universo.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?
R: Há um sistema com o sol como centro, com vários planetas, onde cada um varia de tamanho e cor, esses planetas giram em torno do centro.
3. Explique o significado literal da imagem.
R: Um centro grande e com bastante brilho, com vários orbitais, onde os planetas de diferentes tamanhos, giram ao redor do mesmo.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).
R: O sol indica o núcleo de um átomo carregado positivamente, com orbitais onde os planetas representam os elétrons carregados negativamente, girando em torno do núcleo, dentro de um sistema que é chamado de via láctea, que nesse caso seria a eletrosfera do átomo.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.
R: O modelo atômico de Rutherford dizia que o átomo seria formado por um núcleo com partículas positivas e partículas neutras, além de uma eletrosfera, que seria uma região vazia onde os elétrons ficariam girando ao redor do núcleo.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).
R: Sim, pois não menciona com clareza como realmente é o modelo atômico, pois os elétrons não têm orbitais uniformes e não giram ao redor do núcleo de forma circular, também podem pular de órbita, são livres e estão aleatoriamente ao redor do núcleo.

Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L1 inclui: “os planetas, as órbitas, o sol, o universo”. Nas **relações sintagmáticas**, L1 destaca o sol na posição central, com planetas, de diferentes tamanhos e cores, girando ao seu redor: “*há um sistema com o sol como centro, com vários planetas, onde cada um varia de tamanho e cor, esses planetas giram em torno do centro [sic]*”. A partir dessas observações, o **significado denotativo** alcançado por L1 foi: “*um centro grande e com bastante brilho, com vários orbitais, onde os planetas de diferentes tamanhos, giram ao redor do mesmo*”. Notamos que L1 explica novamente a disposição dos elementos na imagem, ou seja, as relações sintagmáticas, mas não cita que se trata do sistema solar. Apesar disso, L1 comprehende o contexto análogo, que é essencial para criar as associações com o conceito científico pretendido.

Nas **relações paradigmáticas**, L1 associa corretamente o sol com o núcleo positivo do átomo e os planetas com os elétrons girando ao seu redor: “*o sol indica o núcleo de um átomo carregado positivamente, com orbitais onde os planetas representam os elétrons carregados negativamente, girando em torno do núcleo*”. Porém, L1 usa o termo ‘orbitais’ para se referir ao local onde os planetas se encontram, o que indica uma confusão com outro modelo atômico, pois no proposto por Rutherford ainda não existia a noção de orbitais atômicos. L1 finaliza relacionando a via láctea, que é o sistema solar, com a eletrosfera do átomo: “[...] *um sistema que é chamado de via láctea, que nesse caso seria a eletrosfera do átomo*”. Essa última associação é incoerente, visto que a eletrosfera é a região externa do núcleo, na qual os elétrons estão localizados. Portanto, apenas a região em volta do sol deve ser associada a eletrosfera.

O **significado conotativo** alcançado por L1 foi: “*o modelo atômico de Rutherford dizia que o átomo seria formado por um núcleo com partículas positivas e partículas neutras, além de uma eletrosfera, que seria uma região vazia onde os elétrons ficariam girando ao redor do núcleo*”. L1 apresenta uma conotação coerente, exceto que partículas neutras não fazem parte do referido modelo atômico.

Acerca das limitações, L1 indica que a analogia não é compatível com o modelo atômico de Rutherford: “*não menciona com clareza como realmente é o modelo atômico [...]*”. A explicação de L1 foi que, diferentemente do sistema solar, “[...] *os elétrons não têm orbitais uniformes e não giram ao redor do núcleo de forma circular, também podem pular de órbita [sic], são livres e estão aleatoriamente ao redor do núcleo*”. Ao contrário do que disse L1, no modelo proposto por Rutherford os

elétrons giram ao redor do núcleo. Porém, está correto quanto aos elétrons não terem órbitas circulares uniformes, ou estáveis. Por fim, quando diz que “[...] os elétrons [...] podem pular de órbita [sic]” ocorre uma confusão com a teoria de Bohr, na qual os elétrons podem transitar entre as órbitas a depender da energia que lhes é fornecida. O Quadro 20 sintetiza a construção de significados por L1 a partir da analogia 2.

Quadro 20 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 2

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
Os planetas, as órbitas, o sol, o universo.	Há um sistema com o sol como centro, com vários planetas, onde cada um varia de tamanho e cor, esses planetas giram em torno do centro.	Sol →	Núcleo de um átomo carregado positivamente
		Planetas →	Elétrons carregados negativamente
		Planetas girando em torno do sol →	Elétrons girando em torno do núcleo
		Orbitais dos planetas →	Orbitais dos elétrons
		Via Láctea →	Eletrosfera do átomo

Significado Denotativo

Um centro grande e com bastante brilho, com vários orbitais, onde os planetas de diferentes tamanhos, giram ao redor do mesmo.

Significado Conotativo

O modelo atômico de Rutherford dizia que o átomo seria formado por um núcleo com partículas positivas e partículas neutras, além de uma eletrosfera, que seria uma região vazia onde os elétrons ficariam girando ao redor do núcleo.

Fonte: Autora (2023).

Observando a construção de significados por L1, a partir do Quadro 20 e das discussões, identificamos que não houve dificuldades na denotação da imagem, mas relações paradigmáticas inadequadas foram estabelecidas com o conceito científico. O fato de os planetas se localizarem em órbitas definidas na imagem fez com que L1 associasse órbitas com orbitais. O conceito de orbitais atômicos foi proposto apenas em modelos posteriores ao de Rutherford, portanto, essa associação é incorreta. É possível que L1 tenha empregado o termo ‘orbitais’ para fazer referência às órbitas (trajetórias fechadas e estáveis), mas, ainda assim, não está de acordo com o referido modelo atômico. Entendemos que essa seja uma

limitação da analogia pictórica, pois é uma relação paradigmática possível a partir de características do análogo. L1 também associa a via láctea com a eletrosfera do átomo, o que, como discutimos, está incorreto, pois a eletrosfera é apenas uma região do átomo, na qual os elétrons ficam dispostos e, na analogia, a via láctea remete ao modelo atômico completo, incluindo o núcleo e a eletrosfera.

Ao explicar o conceito científico, ou significado conotativo, L1 apresenta mais uma incorreção conceitual ao indicar que haveria partículas neutras no átomo. Nas relações paradigmáticas, L1 não mostra nenhuma associação entre elementos da imagem com partículas neutras, portanto, entendemos que essa conclusão não se deve a uma limitação da analogia, mas sim a confusão com outros modelos atômicos. Por fim, quando solicitado a falar acerca das limitações da analogia, L1 é contraditório com as respostas anteriores e novamente confunde as teorias atômicas, o que mostra falta de clareza quanto ao conceito científico pretendido.

Análise e discussão dos dados de L2

Quadro 21 – Respostas de L2 ao questionário 2

Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



Alguns cientistas representaram o átomo como uma estrutura parecida com a do sistema solar.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).
R: Sol, planetas, estrelas.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?
R: O sol tem uma coloração mais forte devido ao seu brilho, os planetas giram em torno do sol, com tamanhos e cores diferentes um do outro.
3. Explique o significado literal da imagem.
R: Sistema Solar, indicando o sol o centro e os planetas girando ao redor.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).
R: Apresentação do sistema solar, indicando o átomo sendo o sol, e os planetas sendo os elétrons em orbitais, girando em torno do átomo.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.
R: O átomo sendo o sol, e os planetas sendo os elétrons, girando em torno do átomo, e as estrelas sendo os prótons fixos.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).
R: Sim, o sol sendo o átomo, e os planetas em cada orbital, apresentando os elétrons um em cada orbital, as camadas dos orbitais apresentando 1 planeta em cada linha, onde seriam na primeira linha 2 elétrons, e as estrelas sendo os prótons fixos, onde cada planeta girando passa por uma estrela, representando as ligações.

Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L2 inclui: “*Sol, planetas, estrelas*”. Nas **relações sintagmáticas**, L2 aponta as cores do sol e dos planetas, as diferenças de tamanho e que os planetas giram ao redor do sol: “*o sol tem uma coloração mais forte devido ao seu brilho, os planetas giram em torno do sol, com tamanhos e cores diferente [sic] um do outro*”. Embora L2 destaque características de cor e tamanho, ao explicar o **significado denotativo** não torna mencioná-las, mostrando que considerou irrelevante para a significação: “*Sistema Solar, indicando o [sic] sol o centro e os planetas girando ao redor*”.

Nas **relações paradigmáticas**, L2 associa corretamente planetas com elétrons, mas indica, erroneamente, que o sol corresponde ao átomo: “[...] o átomo sendo o sol, e os planetas sendo os elétrons em orbitais, girando em torno do átomo”. L2 mostra uma incompreensão conceitual a respeito do modelo atômico, pois o sol deveria ser associado ao núcleo atômico e não ao átomo. A menção aos orbitais também indica uma confusão com outros modelos atômicos, assim como ocorreu com L1.

O **significado conotativo** apresentado por L2 foi: “*o átomo sendo o sol, e os planetas sendo os elétrons, girando em torno do átomo, e as estrelas sendo os prótons fixos [sic]*”. Conforme evidenciado nessa resposta, L2 não se restringe ao conceito científico e indica outra associação incorreta: estrelas com prótons. A conotação realizada por L2 não está de acordo com a proposta de Rutherford e nem com outros modelos atômicos.

Por fim, ao discorrer acerca das limitações da analogia, L2 reforça a associação do sol com o átomo “[...] o sol sendo o átomo [...]” e menciona que, como os planetas representam os elétrons, a distribuição desses nos orbitais estaria incorreta: “[...] os planetas em cada orbital, apresentando os elétrons um em cada orbital, as camadas dos orbitais apresentando 1 planeta em cada linha, onde seriam na primeira linha 2 elétrons [sic] [...].” Nessa fala, encontramos outra relação paradigmática e uma confusão com o modelo atômico de Bohr, pois em Rutherford não existia a concepção de divisão dos elétrons em orbitais, ou camadas energéticas. Na sequência, L2 associa novamente as estrelas com prótons que estariam fixos “[...] as estrelas sendo os prótons fixos” e indica, de forma errônea, que há ligações entre elétrons e prótons dentro do átomo “[...] onde cada planeta girando passa por uma estrela, representando as ligações”. O Quadro 22 sintetiza a construção de significados por L2 a partir da analogia 2.

Quadro 22 - Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 2

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
Sol, planetas, estrelas.	O sol tem uma coloração mais forte devido ao seu brilho, os planetas giram em torno do sol, com tamanhos e cores diferente um do outro.	Sol →	Átomo
		Planetas →	Elétrons
		Planetas girando em orbitais →	Elétrons girando em orbitais
		Estrelas →	Prótons
		Órbitas dos planetas →	Camadas eletrônicas
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
Sistema Solar, indicando o sol o centro e os planetas girando ao redor.		O átomo sendo o sol, e os planetas sendo os elétrons, girando em torno do átomo, e as estrelas sendo os prótons fixos.	

Fonte: Autora (2023).

A partir do Quadro 22 e das discussões, observamos que L2 realizou diversas relações paradigmáticas indesejadas e isso levou a um significado conotativo que diverge do modelo atômico de Rutherford e dos demais modelos atômicos existentes. Uma série de concepções divergentes do ponto de vista científico foram expostas, entretanto, consideramos que apenas as associações das órbitas dos planetas com camadas eletrônicas e das estrelas com prótons foram influenciadas pelas características da imagem. Apesar de serem também erros conceituais, a existência de órbitas e estrelas estimulam associações com aspectos científicos que não deveriam. Uma última observação acerca dos dados de L2 é que as relações paradigmáticas realizadas foram indicadas nas respostas das questões 4, 5 e 6, ou seja, L2 não se ateve apenas ao que a questão solicitava. Embora isso tenha explicitado diversas inconsistências do conceito científico, o significado conotativo apresentado não se afasta do significado literal e, portanto, não fica explícito o que L2 entende acerca do modelo de Rutherford.

Análise e discussão dos dados de L3

Quadro 23 – Respostas de L3 ao questionário 2

Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



Alguns cientistas representaram o átomo como uma estrutura parecida com a do sistema solar.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).
R: A estrutura parece de um sistema solar, onde mostra o sol sendo o centro e os outros planetas envolta.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?
R: O sol está no centro e ao seu redor tem pontos menores, que nesse caso seriam os planetas.
3. Explique o significado literal da imagem.
R: O modelo atômico de Rutherford apresenta o núcleo no centro e os elétrons ao seu redor, cada um em sua respectiva camada.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).
R: O sol está no centro e os planetas estão envolta, e isso está relacionado ao modelo de átomo proposto por Rutherford, onde ele diz que o átomo possuía um núcleo (centro) com elétrons em suas camadas em volta.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.
R: Um átomo com um núcleo e elétrons em suas camadas ao seu redor.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).
R: Acredito que não, pois a analogia é bem parecida com o modelo proposto por Rutherford, então, facilita o conhecimento do conteúdo para os alunos, pois sobre o sistema solar é um conteúdo que já foi estudado pelos alunos do ensino médio.

Fonte: Autora (2023).

No **inventário denotativo**, L3 identifica o sol, os planetas e já adianta comentários acerca da disposição dos elementos na imagem: “*a estrutura parece de um sistema solar, onde mostra o sol sendo o centro e os outros planetas envolta [sic]*”. Nas **relações sintagmáticas**, L3 observa que o sol está no centro do sistema e que os planetas estão dispostos ao redor: “*o sol está no centro e ao seu redor tem pontos menores, que nesse caso seriam os planetas*”. Na descrição do **significado denotativo**, L3 não apresenta o significado literal conforme solicitado, mas sim a explicação do modelo atômico de Rutherford: “*o modelo atômico de Rutherford apresenta o núcleo no centro e os elétrons ao seu redor, cada um em sua respectiva camada*”. Embora L3 já tenha apresentado o conceito científico, encontramos o significado denotativo em um trecho da resposta da primeira questão, no qual afirma que “*a estrutura parece de um sistema solar [...]*”.

Nas **relações paradigmáticas**, L3 associa corretamente o sol com o núcleo atômico e os planetas com elétrons: “*o sol está no centro e os planetas estão envolta [sic], e isso está relacionado ao modelo de átomo proposto por Rutherford, onde ele diz que o átomo possuía um núcleo (centro) com elétrons em suas camadas em volta*”. No entanto, subentendemos uma associação incorreta entre as órbitas dos planetas e camadas eletrônicas quando diz “[...] com elétrons em suas camadas em volta”. Ainda que L3 não mencione as órbitas, cita que os elétrons estão nas camadas ao redor do núcleo, o que vai ao encontro do modelo atômico de Bohr, mas não de Rutherford.

O **significado conotativo** apresentado por L3 foi: “*um átomo com um núcleo e elétrons em suas camadas ao seu redor*”. Apesar de L3 afirmar que os elétrons estariam dispostos em camadas, mostra compreender que, no referido modelo, o átomo é constituído de um núcleo com elétrons ao seu redor. Porém, L3 não menciona em nenhuma das falas que o núcleo teria carga elétrica positiva. Em relação às limitações, L3 aponta que são inexistentes: “*acredito que não, pois a analogia é bem parecida com o modelo proposto por Rutherford, então, facilita o conhecimento do conteúdo para os alunos, pois sobre o sistema solar é um conteúdo que já foi estudado pelos alunos do ensino médio [sic]*”. O fato de L3 não identificar limitações remete à ideia de que a analogia seria um encaixe perfeito entre análogo e alvo, o que favorece a transferência de características incompatíveis com o conceito científico, como a associação entre as órbitas dos planetas e camadas eletrônicas. O Quadro 24 sintetiza a construção de significados por L3 a partir da analogia 2.

Quadro 24 – Construção de significados por L3 em relação à analogia pictórica 2

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos		
A estrutura parece de um sistema solar, onde mostra o sol sendo o centro e os outros planetas envolta.	O sol está no centro e ao seu redor tem pontos menores, que nesse caso seriam os planetas.	Sol →	Núcleo atômico
		Planetas →	Elétrons
		Órbitas dos planetas →	Camadas eletrônicas
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
A estrutura parece de um sistema solar.		Um átomo com um núcleo e elétrons em suas camadas ao seu redor.	

Fonte: Autora (2023).

Conforme as discussões e a construção de significados explicitada no Quadro 24, percebemos que L3 estabeleceu relações paradigmáticas corretas entre o sol e o núcleo atômico e entre os planetas e os elétrons, mas associou incorretamente as órbitas dos planetas com camadas eletrônicas. Como essa foi a única associação incorreta, a descrição do modelo atômico feita por L3, no significado conotativo, ficou mais próxima do modelo atômico de Bohr do que de Rutherford. Consideramos que as órbitas dos planetas, na imagem, levaram L3 ao significado diferente do pretendido, sendo, portanto, uma limitação da analogia.

Análise e discussão dos dados de L4

Quadro 25 – Respostas de L4 ao questionário 2

Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



Alguns cientistas representaram o átomo como uma estrutura parecida com a do sistema solar.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).
R: Sol, planetas, órbitas, estrelas.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?
R: Cada um ocupa o seu lugar em sua órbita, movendo-se distintos.
3. Explique o significado literal da imagem.
R: Cada planeta tem sua posição específica e determinada, de acordo com seu lugar cada um movimenta-se em seu eixo e também em volta do sol.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).
R: A estrela central, o Sol, relaciona-se com o núcleo de um átomo, os planetas podem representar os elétrons que giram em órbitas circulares semelhantes ao movimento de rotação, as órbitas relacionam-se com a eletrosfera e as estrelas os prótons, desta forma constituindo as camadas de energia.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.
R: Os elétrons se movimentam ao redor do núcleo de um átomo, em órbitas circulares, formando níveis de energia ou camada eletrônica, formando a eletrosfera com enorme espaço vazio entre si.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).
R: Não, o sistema solar é muito parecido com o modelo atômico de Rutherford, o mesmo pode ser utilizado para representar esse modelo e assim auxiliar na explicação do conteúdo.

Fonte: Autora (2023).

No **inventário denotativo**, L4 aponta: “*sol, planetas, órbitas, estrelas*”. Na questão direcionada às **relações sintagmáticas**, L4 explica apenas a disposição dos planetas, mas deixa de fora os demais elementos que elencou no inventário denotativo: “*cada um ocupa o seu lugar em sua órbita, movendo-se distintos [sic]*”. Quando solicitado a explicar o significado literal, ou seja, o **significado denotativo**, L4 explica o que entende acerca do funcionamento do sistema solar: “*cada planeta tem sua posição específica e determinada, de acordo com seu lugar cada um movimenta-se em seu eixo e também em volta do sol*”. Nessa resposta, aparece mais uma relação sintagmática, pois L4 observa que o sol ocupa a posição central, já que os planetas estão girando ao seu redor: “*cada planeta [...] movimenta-se [...] em volta do sol*”.

Nas **relações paradigmáticas**, L4 associa coerentemente o sol com o núcleo atômico e os planetas com elétrons: “*a estrela central, o Sol, relaciona-se com o núcleo de um átomo, os planetas podem representar os elétrons [...]*”. Na sequência, L4 diz que “[...] os elétrons que giram em órbitas circulares semelhantes ao movimento de rotação, as órbitas relacionam-se com a eletrosfera [sic]”, o que consideramos também uma associação correta. Ponderamos, no entanto, que, no modelo atômico referido, os elétrons giram ao redor do núcleo, mas não em órbitas estáveis, problema que só foi superado posteriormente no modelo de Bohr. Porém, após associar as órbitas com a eletrosfera, L4 diz que elas se relacionam com as camadas energéticas, o que está incorreto por fazer referência a outro modelo atômico: “[...] as órbitas relacionam-se com a eletrosfera e as estrelas os prótons, desta forma constituindo as camadas de energia”. Nesse trecho, também encontramos outra relação paradigmática indesejada entre estrelas e prótons. Conforme discutido, não há um correspondente para as estrelas no referido modelo atômico e os prótons, cuja carga é positiva, se localiza no núcleo do átomo e não na eletrosfera.

O **significado conotativo** apresentado por L4 reforça as constatações feitas anteriormente, pois menciona novamente que os elétrons estariam distribuídos em camadas eletrônicas: “*os elétrons se movimentam ao redor do núcleo de um átomo, em órbitas circulares, formando níveis de energia ou camada eletrônica, formando a eletrosfera com enorme espaço vazio entre si [sic]*”. Com exceção disso, as demais afirmações estão de acordo com o conceito científico pretendido.

Por fim, L4 aponta que não há limitações na analogia: “*não, o sistema solar é muito parecido com o modelo atômico de Rutherford, o mesmo pode ser utilizado para representar esse modelo e assim auxiliar na explicação do conteúdo*”. Embora o sistema solar possa ser utilizado como uma analogia para auxiliar a compreensão do modelo atômico de Rutherford, não é uma representação do conteúdo. A analogia se baseia na comparação entre similaridades de dois domínios de conhecimento distintos e, portanto, sempre haverá limitações. Acrescentamos ainda que identificar as limitações é tão importante quanto identificar as correspondências entre análogo e alvo. Isso é colocado em evidência nas relações paradigmáticas indicadas por L4, que associou estrelas e órbitas com aspectos inexistentes do referido modelo, na tentativa de encaixar todos os itens contidos na imagem utilizada. O Quadro 26 sintetiza a construção de significados por L4 a partir da analogia 2.

Quadro 26 – Construção de significados por L4 em relação à analogia pictórica 2

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
Sol, planetas, órbitas, estrelas.	Cada um ocupa o seu lugar em sua órbita, movendo-se distintos [sic]. Cada planeta movimenta-se em volta do sol.	Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
		Sol →	Núcleo de um átomo
		Planetas →	Elétrons
		Órbitas →	Eletrosfera
		Órbitas →	Camadas de energia/eletrônica
		Estrelas →	Prótons
		Significado Denotativo	
		Significado Conotativo	
		Cada planeta tem sua posição específica e determinada, de acordo com seu lugar cada um movimenta-se em seu eixo e também em volta do sol.	
		Os elétrons se movimentam ao redor do núcleo de um átomo, em órbitas circulares, formando níveis de energia ou camada eletrônica, formando a eletrosfera com enorme espaço vazio entre si.	

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 26 e as discussões anteriores, o significado conotativo apresentado por L4 não está totalmente de acordo com o modelo atômico de Rutherford. Embora L4 comprehenda a maior parte do conceito, como elétrons se

movimentando ao redor do núcleo na região chamada eletrosfera, acrescenta que as órbitas correspondem aos níveis de energia, ou camadas eletrônicas, o que não está de acordo com o referido modelo. Observando as relações paradigmáticas estabelecidas por L4, concluímos que o fato de a imagem apresentar órbitas leva à associação incorreta com o conceito científico, culminando no significado conotativo diferente do pretendido pela analogia. Outro equívoco de L4 foi associar as estrelas com prótons que, além das discussões já colocadas, faz questionar seu entendimento acerca da composição do núcleo atômico. Entendemos que essa também é uma limitação da analogia, pois a presença de estrelas na representação imagética, que não tem um correspondente no modelo atômico de Rutherford, levou a uma associação indesejada.

Análise e discussão dos dados de L5

Quadro 27 – Respostas de L5 ao questionário 2

Modelo atômico de Rutherford comparado ao Sistema Solar



Alguns cientistas representaram o átomo como uma estrutura parecida com a do sistema solar.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).
R: Sistema solar com os planetas.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?
R: No centro do universo há o sol, e em volta do mesmo, os planetas.
3. Explique o significado literal da imagem.
R: O sol seria o núcleo com cargas positivas, e os planetas em seus orbitais em volta do sol seriam os elétrons na eletrosfera com carga negativa.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).
R: O Núcleo seria o sol, onde é uma região com partículas positivas, baixo volume e maior massa. A Eletrosfera que foram comparadas às órbitas descritas pelos planetas no sistema solar, possui imensos espaços vazios entre si, com elétrons tendo carga negativa.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.
R: O modelo atômico de Rutherford apresenta como principais características um núcleo positivo e uma eletrosfera negativa, todas evidenciadas por um experimento que utilizou radiação e ouro.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).
R: Não.

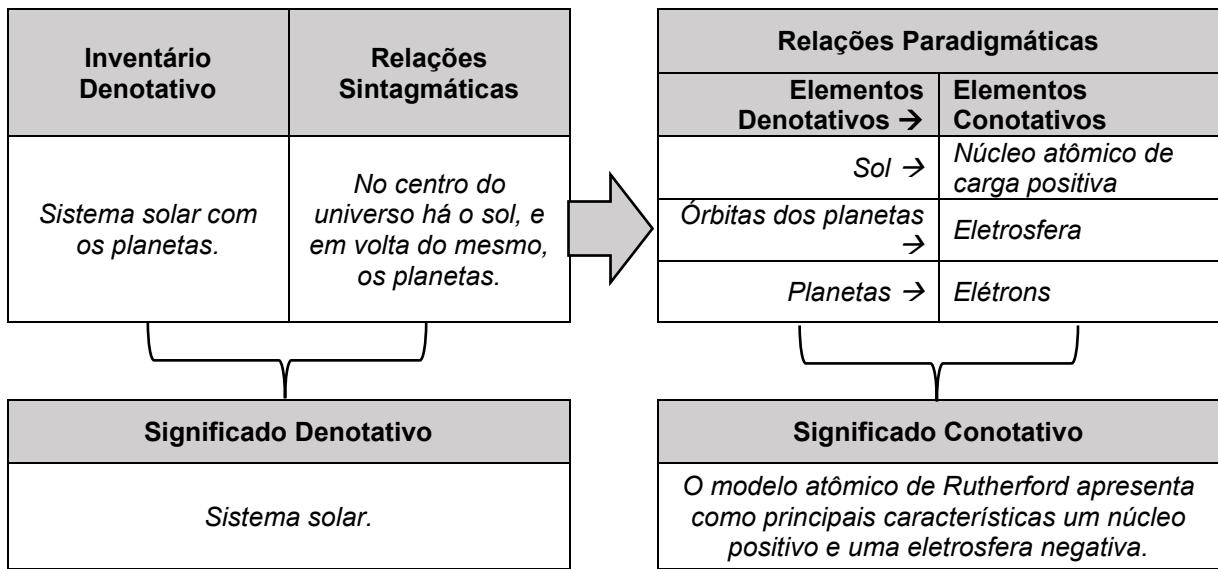
Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L5 é bem sucinto e já apresenta o significado denotativo da imagem, ao invés de apenas os elementos que a compõem: “*sistema solar com os planetas*”. Nas **relações sintagmáticas**, L5 indica que o sol se encontra na posição central e com planetas ao redor, mas entende que o sol estaria no centro do universo: “*no centro do universo há o sol, e em volta do mesmo, os planetas*”. Apesar de haver uma incorreção conceitual nessa colocação, o fato de L5 compreender que o sol está no centro do sistema representado na imagem é suficiente para possibilitar a analogia com o modelo atômico de Rutherford. Ao ser questionado acerca do significado literal da imagem e, portanto, denotação, L5 indica as correspondências com o conceito científico que eram esperadas apenas na pergunta seguinte, que se refere às relações sintagmáticas: “*o sol seria o núcleo com cargas positivas, e os planetas em seus orbitais em volta do sol seriam os elétrons na eletrosfera com carga negativa*”. Sendo assim, consideramos como **significado denotativo** parte da resposta da primeira pergunta do questionário: “*sistema solar [...]*”.

Nas **relações paradigmáticas** L5 associa sol com núcleo atômico de carga positiva e descreve corretamente como seria esse núcleo do átomo: “*o núcleo seria o sol, onde é uma região com partículas positivas, baixo volume e maior massa*”. Na sequência, associa de forma assertiva as órbitas dos planetas a eletrosfera: “*a Eletrosferas [sic] que foram comparadas às órbitas descritas pelos planetas no sistema solar, possui imensos espaços vazios entre si, com elétrons tendo carga negativa*”. Nesse trecho, subentendemos que planetas foram associados aos elétrons, também de forma correta. Como esperado, já que L5 estabeleceu todas as relações paradigmáticas que consideramos essenciais para a compreensão da analogia, o **significado conotativo** de L5 está de acordo com o referido modelo atômico: “*o modelo atômico de Rutherford apresenta como principais características um núcleo positivo e uma eletrosfera negativa [...]*”. L5 finaliza pontuando que Rutherford se baseou em experimentos para propor seu modelo: “[...] todas evidenciadas por um experimento que utilizou radiação e ouro”. Embora isso não faça parte da imagem, evidencia o domínio do conceito.

Por fim, L5 afirma que não existem limitações na analogia. Apesar disso, diferentemente de L4, por exemplo, L5 não realiza associações incorretas entre elementos do domínio denotativo e conotativo. O Quadro 28 sintetiza a construção de significados por L5 a partir da analogia 2.

Quadro 28 – Construção de significados por L5 em relação à analogia pictórica 2



Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 28 e as discussões anteriores, o significado conotativo apresentado por L5 está de acordo com o modelo atômico de Rutherford. L5 estabeleceu todas as relações sintagmáticas e paradigmáticas necessárias para a compreensão da analogia, o que culminou na conotação correta. No entanto, L5 afirma que não há limitações na analogia, que, como discutimos anteriormente, pode ser algo problemático. Porém, destacamos que L5 desconsidera os aspectos do análogo para o qual não há correspondência no alvo, ainda que não os reconheça como limitações.

Considerações e Limitações da Analogia 2

Os licenciandos que compuseram o corpus de pesquisa da analogia pictórica 2 não mostraram dificuldades em identificar os elementos que compõem a imagem, no inventário denotativo, e nem em descrever como se relacionam uns com os outros, nas relações sintagmáticas. Como consequência, todos alcançaram o significado denotativo esperado: sistema solar. Apesar disso, destacamos que L3 e L5 não se ativeram apenas ao solicitado nas perguntas do questionário e trouxeram associações com o conceito científico quando deveriam explicar o significado literal da imagem. No entanto, isso não acarretou nenhum prejuízo à construção dos significados, tendo em vista que a relativa redundância nas três primeiras perguntas

dá suporte para identificar os aspectos investigados que não necessariamente foram evidenciados na respectiva pergunta. Ressaltamos, fundamentados em Penn (2002), que a compreensão do análogo é essencial para que se estabeleça as relações analógicas pertinentes, motivo pelo qual três das cinco etapas da leitura semiológica são voltadas a decodificação do significado literal.

Ao associarem aspectos do análogo com o conceito científico, nas relações paradigmáticas, todos os licenciandos indicaram, corretamente, a correspondência entre planetas e elétrons e, com exceção de L2, entre o sol e o núcleo atômico. L2 associou o sol com o átomo que, embora evidencie uma incompreensão conceitual, entendemos não decorrer de uma característica da imagem. Ainda dentro das relações paradigmáticas, algumas associações indesejadas foram recorrentes: ‘orbitais’ dos planetas com ‘orbitais’ onde os elétrons estariam dispostos (L1, L2); órbitas dos planetas com camadas eletrônicas (L2, L3, L4); e estrelas com prótons (L2, L4). O fato de a imagem apresentar as órbitas, nas quais os planetas estão localizados, possibilita associações com as órbitas estáveis postuladas no modelo atômico de Bohr e com orbitais atômicos que, no modelo atômico quântico, se refere ao espaço onde há probabilidade de encontrar o elétron no átomo. Como já discutimos, essas associações estão incorretas do ponto de vista do modelo proposto por Rutherford e, por decorrerem de uma característica do análogo não compartilhada com o alvo, evidenciam uma limitação da analogia. O mesmo ocorre com a associação entre estrelas e prótons, pois a presença de estrelas, que não possui um correspondente no referido modelo atômico, levou mais de um licenciando a uma conclusão equivocada. Ao trabalhar com a presente analogia, portanto, enfatizamos a necessidade de destacar essas duas limitações para que não haja uma conotação diferente da pretendida.

A essas limitações, acrescentamos mais duas já apontadas ao realizar a análise semiológica, mas que não apareceram nas respostas dos licenciandos. A dimensão do sol em relação aos planetas não deve ser transferida ao conceito científico, tendo em vista que o núcleo do átomo seria pequeno e denso. Da mesma forma, a diferença nos tamanhos dos planetas não pode ser comparada com a dimensão dos elétrons, pois estes não possuem tamanhos distintos.

As relações sintagmáticas e paradigmáticas que podem levar a uma conotação incorreta e, portanto, as limitações da analogia, estão resumidas no Quadro 29.

Quadro 29 – Limitações da analogia pictórica 2

Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas		Significado Conotativo
	Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos	
Planetas girando em órbitas definidas e estáveis.	Órbitas dos planetas →	Órbitas dos elétrons	Elétrons distribuídos em órbitas estáveis.
Planetas girando em órbitas definidas e estáveis.	Órbitas dos planetas →	Camadas eletrônicas	Elétrons distribuídos em camadas eletrônicas.
Estrelas dispersas no sistema solar.	Estrelas →	Prótons	Prótons fora do núcleo atômico.
Sol grande e os planetas pequenos.	Sol maior que os planetas →	Núcleo maior que os elétrons	Núcleo atômico grande.
Planetas de diferentes tamanhos.	Planetas com diferentes dimensões→	Elétrons com diferentes dimensões	Elétrons com tamanhos distintos.

Fonte: Autora (2023).

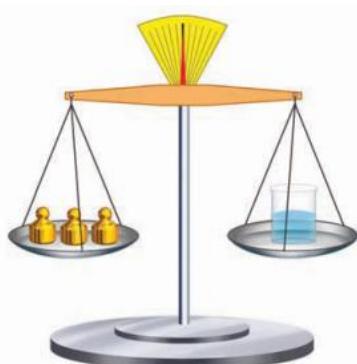
Conforme o Quadro 29, identificamos cinco possíveis conotações incorretas para o modelo atômico de Rutherford que decorrem de limitações da analogia, ou seja, de características do análogo não compartilhadas com o alvo. As órbitas dos planetas, presentes na imagem, podem levar à conclusão de que os elétrons se encontram distribuídos em órbitas estáveis ou em camadas eletrônicas. As estrelas na imagem podem induzir a uma tentativa de achar um correspondente no conceito científico e uma associação com prótons que, no referido modelo, ficam no centro do sistema. Por fim, o fato de o sol ser maior que os planetas possibilita inferir que o núcleo do átomo seria maior que os elétrons, assim como a diferença de tamanhos dos planetas poderia levar a crer que existe diferença de tamanho entre elétrons.

6.3 ANALOGIA 3 – EQUILÍBRIO DINÂMICO COMPARADO COM UM ESTACIONAMENTO LOTADO

Conceitos Essenciais

O conceito de equilíbrio dinâmico é de grande importância dentro da química, tendo em vista a tendência de as reações sempre irem na direção do equilíbrio (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018). Existem dois tipos de equilíbrio: o estático e o dinâmico. O primeiro se refere a um fenômeno ou objeto, no qual as forças que o cercam se anulam mutuamente, deixando-o parado até sofrer uma perturbação (FONSECA, 2013). Em uma balança de dois pratos, por exemplo, o equilíbrio é atingido quando ambos os lados estiverem suportando massas iguais, conforme a figura 14.

Figura 14 – Balança de dois pratos em equilíbrio estático



Fonte: Fonseca (2013, p. 193).

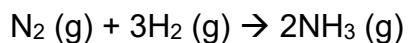
Já o equilíbrio dinâmico diz respeito a um fenômeno ou objeto em estudo que se encontra em movimento constante (FONSECA, 2013). Nesse caso, duas ou mais ações ocorrem de forma contínua e ininterrupta na mesma taxa de desenvolvimento (FONSECA, 2013). Na química, esse estado de equilíbrio é particularmente importante, pois existem diversas situações nas quais diferentes processos ocorrem simultaneamente e atingem o equilíbrio quando a suas velocidades se igualam. Assim, um sistema que esteja em equilíbrio permanece nesse estado até que haja uma perturbação, como mudanças na temperatura, volume ou concentração de reagentes (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 327) trazem como exemplo alguns conceitos de química nos quais se aplicam a noção do equilíbrio dinâmico:

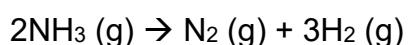
[...] quando um bloco de metal está na mesma temperatura que sua vizinhança, ele está em equilíbrio térmico com ela. [...] a energia continua a fluir em ambas as direções, mas não há uma transferência líquida. Quando um gás confinado em um cilindro por um pistão tem pressão igual à de sua vizinhança, o sistema está em equilíbrio mecânico com a vizinhança e o gás não tende a se expandir ou a contrair. A pressão interna empurra o pistão para fora, mas a pressão externa empurra o pistão para dentro, exatamente da mesma maneira, e não há mudança líquida de posição. Quando um sólido, como o gelo, está em contato com sua forma líquida, como a água, em certas condições de temperatura e pressão (0°C e 1 atm, no caso da água), os dois estados da matéria estão em equilíbrio dinâmico e não há tendência de uma forma da matéria mudar para a outra. Quando a água sólida e a líquida estão em equilíbrio, moléculas de água deixam continuamente o gelo, sólido, para formar água, líquida, e moléculas de água deixam continuamente o líquido para formar gelo. Porém, não há mudança discernível, porque os dois processos ocorrem na mesma velocidade e se balanceiam. Quando uma reação química atinge uma certa composição, ela parece deter-se. A mistura de substâncias em equilíbrio químico não tende a formar mais produtos nem a voltar aos reagentes. Em equilíbrio, os reagentes continuam a formar produtos, mas os produtos se decompõem em reagentes com velocidade exatamente igual e não há mudança discernível de composição (2018, p. 327).

Seja qual for o tipo de equilíbrio químico, ele é caracterizado pela continuação dos processos microscópicos ainda que, geralmente, não seja perceptível no nível macroscópico (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018).

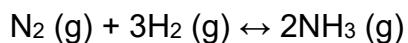
A analogia pictórica escolhida para esta tese foi usada por Fonseca (2013) na introdução do conceito de equilíbrio químico. Diversas reações químicas são reversíveis, o que significa que há transformação de reagentes em produtos, chamada reação direta, e transformação de produtos em reagentes, chamada reação inversa, ocorrendo ao mesmo tempo. Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, a reação entra em equilíbrio dinâmico, ou, equilíbrio químico (FONSECA, 2013). Tomemos como exemplo a reação entre nitrogênio e hidrogênio na presença de ferro (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018):



Quando a reação é aquecida, rapidamente a amônia é produzida, mas, após um tempo, a reação parece parar, ou seja, não há aumento na concentração de amônia. Porém, o que de fato ocorre é que, sendo uma reação reversível, simultaneamente há decomposição da amônia, como mostra a seguinte reação (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018):

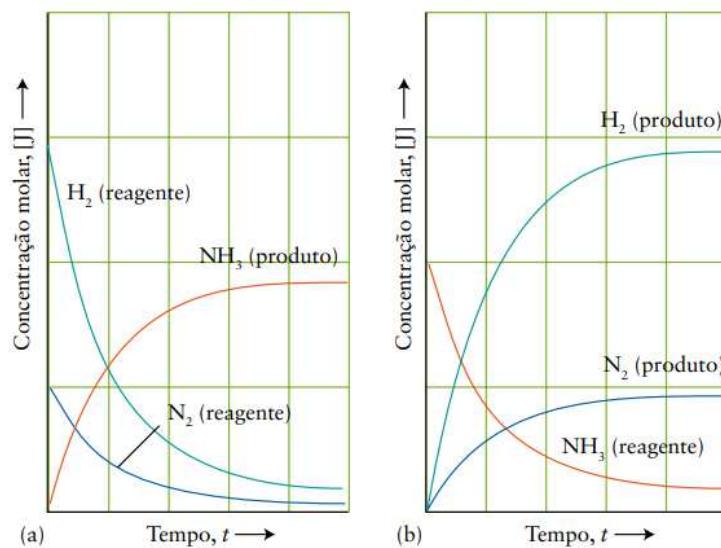


Ou seja, quando a reação parece parar, na verdade ela entrou em equilíbrio dinâmico, pois a formação e decomposição da amônia alcançaram a mesma velocidade. Essa reação é expressa substituindo a seta unidirecional por uma seta dupla, a qual indica a reversibilidade (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018):



Os gráficos (a) e (b) da Figura 15 correspondem, respectivamente, às reações direta e inversa.

Figura 15 – Síntese da Amônia



Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 397).

Conforme podemos observar na Figura 15, depois de um certo tempo, não há mais mudanças na composição da reação, ou seja, as concentrações dos reagentes e produtos permanecem estáveis quando se atinge o equilíbrio. Sob temperatura e pressão constantes, em um recipiente fechado, as reações direta e inversa ocorrem com a mesma taxa de desenvolvimento e permanecem em equilíbrio a menos que haja alguma perturbação (FONSECA, 2013).

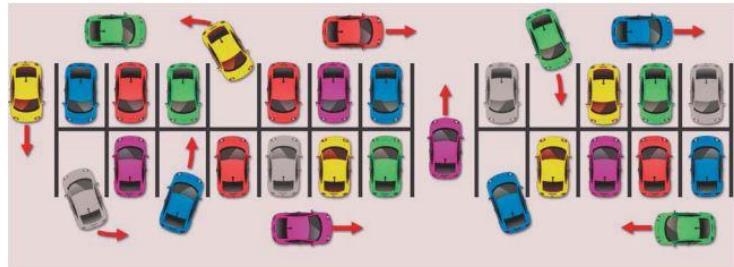
Leitura Semiológica

A terceira analogia imagética é empregada dentro do conteúdo de equilíbrio químico para elucidar o conceito de equilíbrio dinâmico, conforme o Quadro 30.

Quadro 30 – Equilíbrio dinâmico comparado com um estacionamento lotado

No **equilíbrio dinâmico** o objeto ou fenômeno em estudo está sempre em constante movimento. Existem duas ou mais ações que ocorrem contínua e ininterruptamente. Nesse caso, 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 desocupava uma vaga e vai embora, imediatamente outra pessoa estaciona o carro e ocupa a vaga.



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.

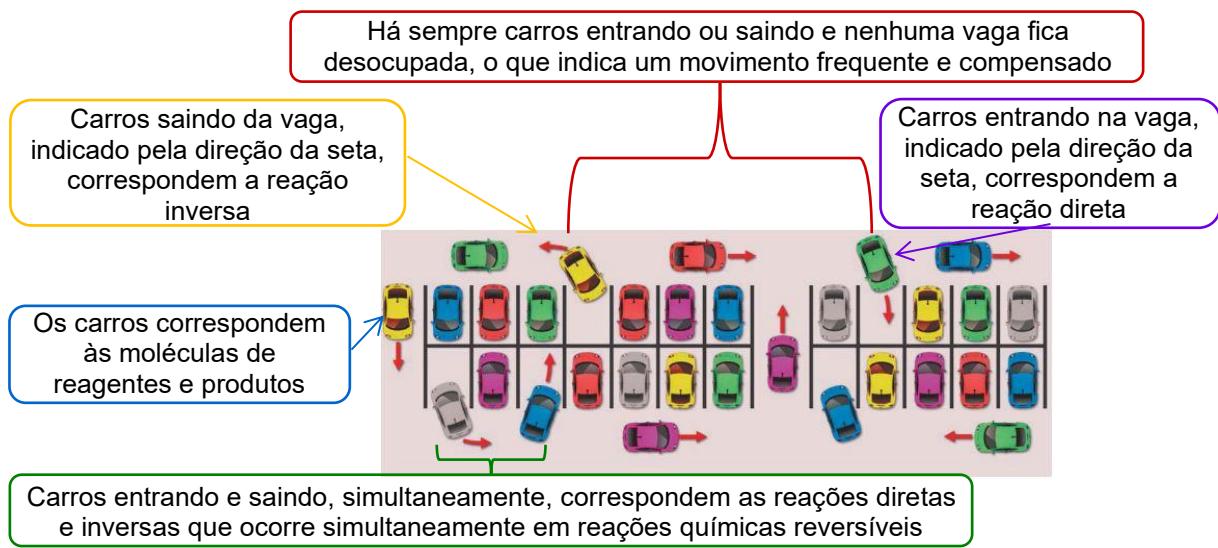
Fonte: Fonseca (2013, p. 193).

No **inventário denotativo**, observamos um estacionamento lotado, com muitos carros entrando e saindo e setas indicando este movimento. Em relação ao **eixo sintagmático**, notamos que muitos carros estão dentro das vagas, os que estão fora estão saindo ou entrando nas vagas, as setas são colocadas próximas aos carros, indicando o movimento e a direção que eles seguem, e os carros entrando e saindo das vagas evidenciam que nenhuma vaga fica desocupada. O **significado denotativo** é que o movimento de carros no estacionamento é muito grande, pois sempre há pessoas chegando e indo embora. Se for considerado que o movimento de entrada e saída é constante e na mesma frequência, é possível associá-lo a um equilíbrio dinâmico. Esta analogia somente será válida se o número de carros que saírem for igual ao número de carros chegando.

No **eixo paradigmático**, estabelecemos as seguintes relações de similaridade entre o análogo e o conceito científico: os carros podem ser associados

às moléculas de reagentes e produtos, o movimento frequente e compensado (indicado pela entrada e saída constante de carros nas vagas) corresponde a taxa de desenvolvimento da reação direta e inversa em uma reação de equilíbrio químico, na qual a velocidade de formação de reagentes e produtos são iguais. À medida que um carro sai da vaga, outro entra, portanto, a velocidade de carros entrando e saindo são iguais. Analogamente, em uma reação de equilíbrio químico temos a transformação de reagente em produtos (reação direta) na mesma velocidade em que produtos são decompostos em reagentes (reação inversa). Conforme escrito no texto que acompanha a analogia pictórica, a imagem busca representar um exemplo de equilíbrio dinâmico, o que confirma as associações feitas aqui. A Figura 16 resume as relações sintagmáticas e paradigmáticas encontradas, consideradas essenciais para a compreensão conceitual da analogia.

Figura 16 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 3



Fonte: Autora (2023).

A partir das relações e associações estabelecidas, o **significado conotativo** da imagem é que, em uma reação de equilíbrio químico, a velocidade de formação de produtos e de decomposição dos produtos em reagentes são iguais, ou seja, a taxa de desenvolvimento da reação direta e inversa se igualam em um equilíbrio dinâmico. O Quadro 31 sintetiza a análise realizada e destaca os principais aspectos observados durante a implementação da ferramenta analítica proposta.

Quadro 31 – Síntese da análise semiológica da analogia pictórica 3

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
Estacionamento, vagas, carros e setas.	Muitos carros estão dentro das vagas; As setas são colocadas próximas aos carros, indicando o movimento e a direção que eles seguem; Os carros que estão fora estão saindo ou entrando nas vagas.	Carros → Carros entrando na vaga → Carros saindo da vaga → Carros entrando e saindo de vagas simultaneamente → Movimento frequente e compensado de carros entrando e saindo – mesma taxa de desenvolvimento →	Moléculas de reagentes e produtos Reação direta Reação inversa Reação direta e inversa ocorrendo simultaneamente Taxa de desenvolvimento da reação direta e inversa se igualam em uma reação de equilíbrio químico
Significado Denotativo	Significado Conotativo		
Os carros entrando e saindo das vagas evidenciam que uma vaga nunca fica desocupada, indicando um movimento frequente e compensado. Os dois fenômenos – carros indo embora e carros chegando – ocorrem com a mesma taxa de desenvolvimento, ou seja, há um equilíbrio dinâmico.	Em uma reação de equilíbrio químico, a velocidade de formação de produtos e de decomposição dos produtos em reagentes são iguais, ou seja, a taxa de desenvolvimento da reação direta e inversa se igualam em um equilíbrio dinâmico.		

Fonte: Autora (2023).

Conforme a análise realizada, sintetizada no Quadro 31, as relações necessárias para a compreensão da analogia se mostram relativamente complexas, pois exigem uma contextualização prévia do análogo, de modo que sejam identificados aspectos relevantes, relativos ao funcionamento do estacionamento, para somente depois estabelecer as relações de similaridade com o alvo. A analogia pictórica 3 é do tipo funcional, ou seja, os domínios comparados compartilham funções, como comportamento e funcionamento, semelhantes. Logo, diferentemente das analogias estruturais, as associações são menos intuitivas.

A imagem utilizada para representar o análogo se trata de um estacionamento com carros, setas e vagas, conforme exposto no inventário denotativo. Porém, somente com a explicação dada no texto é possível identificar a

dinâmica envolvida, como o fato de uma vaga nunca ficar desocupada, de o estacionamento permanecer lotado e, principalmente, de que precisa ser considerado que os dois fenômenos – pessoas indo embora e chegando – ocorrem na mesma taxa de desenvolvimento. A partir das relações estabelecidas entre os aspectos denotativos identificados e aspectos conotativos, destacados no Quadro 31, construímos a conotação da analogia: em uma reação em equilíbrio químico, a velocidade de formação de reagentes e produtos se igualam, portanto, temos um equilíbrio dinâmico. Embora macroscopicamente a reação pareça inalterada, as reações direta e inversa continuam ocorrendo. Essa analogia pictórica é utilizada para se opor à ideia de equilíbrio estático.

Concluímos, portanto, que se forem levadas em consideração todas as relações apontadas, a analogia pode auxiliar na compreensão do conteúdo. Entretanto, vale destacar que ela possui limitações que a diferenciam do conceito científico: no equilíbrio dinâmico em uma reação química temos um sistema fechado, no qual a concentração de produtos e reagentes permanece inalterada, entretanto, no estacionamento carros entram e saem a todo instante. Assim, essa questão deve ser desconsiderada quando propomos as relações, visto que a analogia não pretende representar o conceito científico na íntegra. Assim, essa limitação deve ser discutida quando a analogia for tratada em aula, visto que os limites podem não ser percebidos.

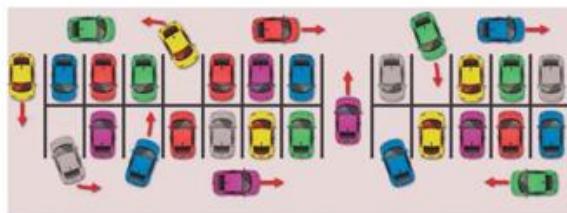
Análise e discussão dos dados de L1

Quadro 32 – Respostas de L1 ao questionário 3

Equilíbrio dinâmico comparado com um estacionamento lotado

No equilíbrio dinâmico o objeto ou fenômeno em estudo está sempre em constante movimento. Existem duas ou mais ações que ocorrem contínua e ininterruptamente. Nesse caso, 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.



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.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Vários carros, vagas de estacionamento, flechas indicativas, constante movimento.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: Um estacionamento dividido em dois, de um lado várias vagas e do outro menos vagas, os carros circulam em todos os sentidos.
3. Explique o significado literal da imagem.

R: Mostra o constante movimento de um estacionamento, onde há a saída e entrada de veículos.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: Os carros indicam o corpo em movimento uniforme, e as vagas divididas em duas partes, os reagentes e os produtos, as flechas a velocidade e o sentido que esse corpo se desloca.

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: A imagem representa o equilíbrio dinâmico, onde uma reação ocorre paralelamente nos dois sentidos, a velocidade da reação direta é igual à velocidade da reação inversa e quando esse equilíbrio é alcançado, as quantidades de reagentes e produtos envolvidas na reação permanecem estáveis.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, pois a analogia desenvolve um conceito errado, de que uma reação é dividida em duas partes, sendo que a mesma ocorre unificada.

Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L1 inclui: “vários carros, vagas de estacionamento, flechas indicativas, constante movimento”. Nas **relações sintagmáticas**, L1 observa a divisão no estacionamento, a quantidade de vagas em cada lado e a direção dos carros: “um estacionamento dividido em dois, de um lado várias vagas e do outro menos vagas, os carros circulam em todos os sentidos”. O fato de o estacionamento ser dividido não deve ser relacionado com o conceito científico, porém, como veremos mais à frente, L1 realiza uma associação indesejada com essa característica. O **significado denotativo** alcançado por L1 foi que a imagem “mostra o constante movimento de um estacionamento, onde há a saída e entrada de veículos”. L1 explica o análogo e destaca o movimento constante, aspecto essencial para possibilitar a analogia.

Nas **relações paradigmáticas**, L1 relaciona aspectos do análogo com movimento uniforme, que também é um tipo de equilíbrio dinâmico: “os carros indicam o corpo em movimento uniforme [...] as flechas a velocidade e o sentido que esse corpo se desloca”. Pela fala de L1, entendemos que ele se referiu a um conceito de física que é, de certo modo, complementar. Nesse contexto, um carro em movimento, a uma velocidade constante, é também um exemplo de equilíbrio dinâmico. Assim, o fato de L1 associar os carros com um corpo em movimento uniforme, bem como as flechas como indicativo de velocidade, auxilia na compreensão de que, em uma reação reversível em equilíbrio, a velocidade das reações direta e inversa são constantes. No entanto, fica ambíguo quando L1 menciona que as flechas indicam o sentido que o corpo se desloca, pois isso pode se referir à física especificamente, quanto ao deslocamento de um corpo, mas pode também se relacionar com o termo “deslocar”, empregado para se referir ao favorecimento da reação direta ou inversa em busca de retornar ao equilíbrio quando passa por uma perturbação, como adição de reagentes ou mudança de temperatura, por exemplo. Como o conceito de equilíbrio dinâmico é empregado em diferentes tópicos na química e na física, L1 confunde as aplicações. Apesar disso, L1 mostrou compreender que a imagem pretende realizar uma analogia com o equilíbrio em reações químicas reversíveis, pois, em outro trecho, associa as duas partes do estacionamento com reagentes e produtos: “os carros indicam o corpo em movimento uniforme, e as vagas divididas em duas partes, os reagentes e os produtos [...].” Essa associação é incorreta, tendo em vista que a imagem não busca uma associação com a forma como escrevemos a reação, com reagentes colocados à esquerda da seta e

produtos à direita. O estacionamento deve ser pensado como uma entidade única, assim como acontece na reação, em que produtos e reagentes coexistem dentro de um mesmo sistema.

O **significado conotativo** apresentado por L1 foi: “*a imagem representa o equilíbrio dinâmico, onde uma reação ocorre paralelamente nos dois sentidos, a velocidade da reação direta é igual à velocidade da reação inversa e quando esse equilíbrio é alcançado, as quantidades de reagentes e produtos envolvidas na reação permanecem estáveis*”. L1 não volta a mencionar a perspectiva da física e se atém apenas ao equilíbrio químico, indicando que compreendeu o objetivo da analogia. A explicação de L1 acerca do equilíbrio dinâmico em reações reversíveis está de acordo com o conceito científico.

Ao ser questionado sobre as limitações da analogia, L1 menciona a relação paradigmática que estabeleceu: “*sim, pois a analogia desenvolve um conceito errado, de que uma reação é dividida em duas partes, sendo que a mesma ocorre unificada*”. L1 comprehende o equilíbrio químico, conforme evidenciado no significado conotativo apresentado, e indica que o fato de o estacionamento estar dividido em dois leva a associação incorreta com a divisão de reagentes e produtos em uma reação. O Quadro 33 sintetiza a construção de significados por L1 a partir da analogia 3.

Quadro 33 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 3

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos		
Vários carros, vagas de estacionamento, flechas indicativas, constante movimento.	Um estacionamento dividido em dois, de um lado várias vagas e do outro menos vagas, os carros circulam em todos os sentidos.	Carros →	Corpo em movimento uniforme
		Flechas →	Velocidade e sentido que o corpo se desloca
		Vagas divididas em duas partes →	Reagentes e produtos

Significado Denotativo	Significado Conotativo
<i>Mostra o constante movimento de um estacionamento, onde há a saída e entrada de veículos.</i>	<i>Equilíbrio dinâmico, onde uma reação ocorre paralelamente nos dois sentidos, a velocidade da reação direta é igual à velocidade da reação inversa e quando esse equilíbrio é alcançado, as quantidades de reagentes e produtos envolvidas na reação permanecem estáveis.</i>

Fonte: Autora (2023).

Observando a construção do significado por L1, a partir do Quadro 33 e das discussões, identificamos que compreendeu o análogo, mas que não estabeleceu nenhuma relação paradigmática conforme o esperado na leitura semiológica realizada no início da seção. No entanto, L1 associou os carros com movimento uniforme e as flechas com velocidade, o que favorece a compreensão do princípio da analogia, ou seja, que a taxa de desenvolvimento, ou velocidade, das reações direta e inversa permanecem constantes no equilíbrio. Em seguida, L1 indicou compreender que o objetivo era estabelecer uma analogia com o equilíbrio químico, mas realizou uma associação incorreta entre a divisão do estacionamento e a divisão de reagentes e produtos, que leva a uma ideia de uma reação compartimentada. Contudo, ao falar das limitações da analogia, L1 enfatizou que essa característica da imagem desenvolve uma concepção errada, o que mostra o domínio de L1 acerca do conceito. Isso é reforçado ao observar que L1 apresentou o significado conotativo compatível com a ideia de equilíbrio dinâmico em reações químicas.

Análise e discussão dos dados de L2

Quadro 34 – Respostas de L2 ao questionário 3

Equilíbrio dinâmico comparado com um estacionamento lotado

No equilíbrio dinâmico o objeto ou fenômeno em estudo está sempre em constante movimento. Existem duas ou mais ações que ocorrem contínua e ininterruptamente. Nesse caso, 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.



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.

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Carros, setas indicando as direções dos veículos, vagas para os veículos.

2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: O estacionamento é igual para todos, a diferença é a mudança de trajetória e o deslocamento de cada veículo.

3. Explique o significado literal da imagem.

R: Um estacionamento com várias vagas para veículos, com um elevado fluxo de veículos procurando vagas.

4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: A similaridade é a mudança dos veículos, a direção que eles estão percorrendo a procura de uma vaga.

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Uma variação de mudanças, no movimento inverso e direto.

6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, há limitações na analogia, no equilíbrio dinâmico apresentam as reações inversa e direta com uma temperatura constante, na foto só apresenta a movimentação dos carros e a indicação de onde eles estão indo.

Fonte: Autora (2023).

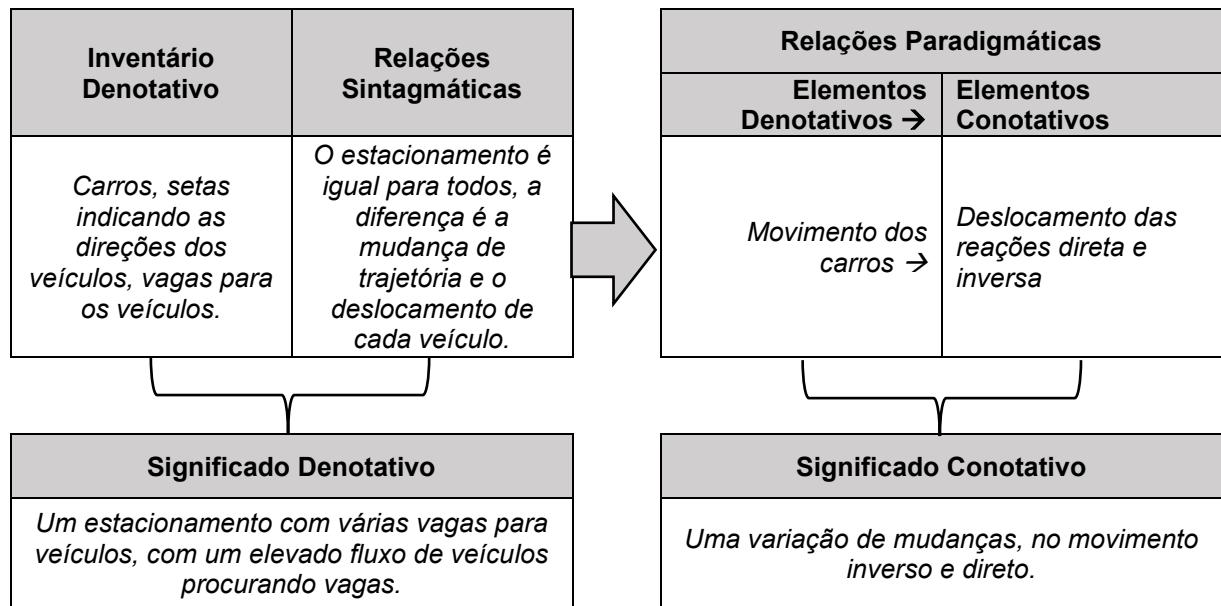
O **inventário denotativo** de L2 inclui os elementos que constituem a imagem, mas já aponta que as setas indicam a direção dos carros: “*carros, setas indicando as direções dos veículos, vagas para os veículos*”. Nas **relações sintagmáticas**, L2 percebe o deslocamento dos carros, possibilitado pelas setas que apontou anteriormente, mas não explica a disposição dos elementos e como interagem entre si: “*o estacionamento é igual para todos, a diferença é a mudança de trajetória e o deslocamento de cada veículo*”. O **significado denotativo** apresentado por L2 foi: “*um estacionamento com várias vagas para veículos, com um elevado fluxo de veículos procurando vagas*”. Apesar de L2 compreender o significado literal, não destaca o movimento frequente e compensado de carros entrando e saindo das vagas, que é essencial para a compreensão da analogia.

Na pergunta direcionada à exposição das **relações paradigmáticas**, L2 não mostra nenhuma associação com o conceito científico e permanece no domínio da denotação: “*a similaridade é a mudança dos veículos, a direção que eles estão percorrendo a procura de uma vaga*”. Porém, ao escrever acerca do significado científico que a imagem representa, ou seja, o **significado conotativo**, indica compreender que o objetivo é relacionar com as reações reversíveis: “*uma variação de mudanças, no movimento inverso e direto*”. Subentendemos isso quando L2 usa os termos “*inverso e direto*”, pois são utilizados para se referir, respectivamente, à formação de reagentes e produtos. Consideramos, ainda nessa resposta, uma relação paradigmática entre o movimento dos carros e o movimento das reações direta e inversa. Inferimos que, ao dizer “movimento”, possivelmente tenha se referido ao deslocamento das reações que podem ocorrer em favor da produção de reagentes ou produtos. Essa associação está incorreta, pois as setas indicam a entrada e saída dos carros nas vagas e deveria ser associada a formação constante e compensada de produtos e reagentes. Uma variação, ou deslocamento, no sentido inverso ou direto implicaria em uma reação fora do equilíbrio.

A respeito das limitações da analogia, L2 pontua: “*sim, há limitações na analogia, no equilíbrio dinâmico apresentam as reações inversa e direta com uma temperatura constante, na foto só apresenta a movimentação dos carros e a indicação de onde eles estão indo*”. Essa resposta confirma que L2 compreendeu que a analogia se referia ao conceito de equilíbrio dinâmico em reações reversíveis, pois apresenta as características do conceito. Também reforça as suposições realizadas a partir do significado conotativo apresentado por L2, pois mostra de forma mais clara que “as

reações inversa e direta" foram associadas com "a movimentação dos carros e a indicação de onde eles estão indo". Acerca da indicação da temperatura constante não ser apresentada na imagem, consideramos uma percepção válida, pois o equilíbrio dinâmico nas reações reversíveis dependerá da temperatura se manter constante. Apesar disso, não consideramos uma limitação, pois a analogia busca exemplificar o movimento frequente e compensado e não os demais aspectos do equilíbrio químico. O Quadro 35 sintetiza a construção de significados por L2 a partir da analogia 3.

Quadro 35 – Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 3



Fonte: Autora (2023).

A partir do Quadro 35 e das discussões anteriores, observamos que L2 não alcançou o significado conotativo pretendido pela analogia. Atribuímos isso ao fato de nenhuma relação paradigmática correta ter sido estabelecida. A imagem utilizada não favoreceu a compreensão de L2, tendo em vista a dificuldade apresentada em sair do nível denotativo em direção ao conotativo. Ao apontar as limitações da analogia, L2 mostrou conhecer uma das características do equilíbrio químico, mas não explicitou os princípios do equilíbrio dinâmico. Sendo assim, consideramos que o insucesso da analogia foi devido à falta de domínio do conteúdo, que impossibilitou compreender possíveis características da analogia que levaram a conotação incorreta.

Análise e discussão dos dados de L4

Quadro 36 – Respostas de L4 ao questionário 3

Equilíbrio dinâmico comparado com um estacionamento lotado

No equilíbrio dinâmico o objeto ou fenômeno em estudo está sempre em constante movimento. Existem duas ou mais ações que ocorrem contínua e ininterruptamente. Nesse caso, 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.



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.

- Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Estacionamento para veículos, os lugares demarcados no chão para os veículos ficarem parados e ao redor espaço para o fluxo dos mesmos.

- Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: As vagas demarcadas possuem o mesmo tamanho, as setas mostram a direção que os veículos irão percorrer numa mesma velocidade, tanto os que chegam quanto os que saem, visto que, quando um veículo libera uma vaga, logo outro veículo ocupa.

- Explique o significado literal da imagem.

R: Organização do estacionamento com as vagas determinadas, a orientação para onde os veículos deve seguir pelas laterais e no centro onde não tem marcações no chão, um espaço vazio pode ser ocupado por outro veículo.

- Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente?

R: Estacionamento para veículos, podemos relacionar com as reações químicas, os veículos parados podem representar os produtos e os veículos em movimento os reagentes.

- Explique o significado científico que a imagem representa.

R: O equilíbrio dinâmico ocorre nas reações reversíveis, isto é tanto os reagentes quanto os produtos são consumidos e formados ao mesmo tempo, em constante movimento.

- Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, nesse caso não é um ciclo fechado, pode-se ocorrer mais saídas de veículos, relacionando ao conteúdo pode-se perder reagentes ou produtos.

Fonte: Autora (2023).

No **inventário denotativo**, L4 aponta: “estacionamento para veículos, os lugares demarcados no chão para os veículos ficarem parados e ao redor espaço para o fluxo dos mesmos”. Nas **relações sintagmáticas**, L4 observa o tamanho das vagas, as setas indicando a direção dos carros e indica que os carros se movimentam na mesma velocidade: “as vagas demarcadas possuem o mesmo tamanho, as setas mostram a direção que os veículos irão percorrer numa mesma velocidade, tanto os que chegam quanto os que saem, visto que, quando um veículo libera uma vaga, logo outro veículo ocupa”. Ressaltamos que nada na imagem indica que os carros andam pelo estacionamento na mesma velocidade, mas o texto que a acompanha ponta a necessidade de considerar que os dois fenômenos, pessoas indo embora e pessoas chegando, ocorrem com a mesma taxa de desenvolvimento. Na pergunta referente ao **significado denotativo**, L4 explica novamente a disposição dos elementos na imagem: “organização do estacionamento com as vagas determinadas, a orientação para onde os veículos deve [sic] seguir pelas laterais e no centro onde não tem marcações no chão, um espaço vazio pode ser ocupado por outro veículo”. Contudo, consideramos que L4 entendeu a dinâmica do sistema, ou seja, que entrada e saída dos carros nas vagas ocorrerem de maneira frequente e compensada, pois na resposta anterior afirma que “[...] quando um veículo libera uma vaga, logo outro veículo ocupa”.

As seguintes **relações paradigmáticas** foram estabelecidas por L4: “estacionamento para veículos, podemos relacionar com as reações químicas, os veículos parados podem representar os produtos e os veículos em movimento os reagentes”. As associações entre estacionamento e reação química, carros estacionados e produtos e carros em movimento e reagentes estão corretas. Além disso, mostram que L4 comprehende que à medida que um carro sai da vaga outro entra, assim como, nas reações químicas reversíveis, reagentes são transformados em produtos à medida que produtos são decompostos em reagentes.

O **significado conotativo** apresentado por L4 foi: “o equilíbrio dinâmico ocorre nas reações reversíveis, isto é tanto os reagentes quanto os produtos são consumidos e formados ao mesmo tempo, em constante movimento [sic]”. A conotação de L4 está correta do ponto de vista científico e vai ao encontro do objetivo da analogia empregada.

Por fim, L4 aponta como limitação uma importante característica da imagem que não pode ser associada ao equilíbrio químico: “nesse caso não é um ciclo

fechado, pode-se ocorrer mais saídas de veículos, relacionando ao conteúdo pode-se perder reagentes ou produtos". O Quadro 37 sintetiza a construção de significados por L4 a partir da analogia 3.

Quadro 37 – Construção de significados por L4 em relação à analogia pictórica 3

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Estacionamento para veículos, os lugares demarcados no chão para os veículos ficarem parados e ao redor espaço para o fluxo dos mesmos.</i>	<i>As vagas demarcadas possuem o mesmo tamanho, as setas mostram a direção que os veículos irão percorrer numa mesma velocidade, tanto os que chegam quanto os que saem, visto que, quando um veículo libera uma vaga, logo outro veículo ocupa.</i>	<i>Estacionamento para veículos →</i>	<i>Reações químicas</i>
		<i>Veículos parados →</i>	<i>Produtos</i>
		<i>Veículos em movimento →</i>	<i>Reagentes</i>
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>Organização do estacionamento com as vagas determinadas, a orientação para onde os veículos deve seguir pelas laterais e no centro onde não tem marcações no chão, um espaço vazio pode ser ocupado por outro veículo.</i>		<i>O equilíbrio dinâmico ocorre nas reações reversíveis, isto é tanto os reagentes quanto os produtos são consumidos e formados ao mesmo tempo, em constante movimento.</i>	

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 37 e as discussões anteriores, o significado conotativo apresentado por L4 expressa o equilíbrio dinâmico em reações químicas reversíveis. L4 compreendeu o significado denotativo da imagem e estabeleceu relações paradigmáticas pertinentes com o conceito científico, o que levou a alcançar os objetivos da analogia. Além disso, L4 observou uma característica do análogo que não pode ser atribuída ao alvo, ou seja, uma limitação da analogia. O estacionamento é um sistema aberto, no qual existe a entrada e saída constante de carros. Diferentemente, não pode haver entrada ou saída de reagente na reação química e, caso haja, haverá perturbação do equilíbrio.

Análise e discussão dos dados de L5

Quadro 38 – Respostas de L5 ao questionário 3

Equilíbrio dinâmico comparado com um estacionamento lotado

No equilíbrio dinâmico o objeto ou fenômeno em estudo está sempre em constante movimento. Existem duas ou mais ações que ocorrem contínua e ininterruptamente. Nesse caso, 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.



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.

- Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Estacionamento, carros de diferentes cores, setas indicando o trajeto de cada veículo.

- Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: À medida que um veículo sai da vaga de estacionamento, outro carro já ocupa a mesma vaga. Esses carros possuem a mesma proporção de tamanho.

- Explique o significado literal da imagem.

R: Ocorre um movimento retilíneo uniforme, onde os carros se movimentam no sentido direto e contrário, em uma velocidade constante.

- Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: As setas para a direita indicam os reagentes formando produtos, e no mesmo momento em que um carro saí da vaga, outro já entra para ficar em equilíbrio.

- Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Nesse sistema não há mudanças no seu equilíbrio, sendo assim a concentração dos reagentes e produtos permanecem constantes.

- Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, como esse equilíbrio não possui mudanças, a velocidade em que os carros se movem são constantes.

O **inventário denotativo** de L5 inclui: “*estacionamento, carros de diferentes cores, setas indicando o trajeto de cada veículo*”. Ao inventariar os elementos que compõem a imagem, L5 já aponta que as setas indicam as trajetórias dos carros. Nas **relações sintagmáticas**, L5 observa que as vagas nunca ficam desocupadas, mas não aponta a interação dos elementos da imagem que o levaram a essa interpretação: “*à medida que um veículo sai da vaga de estacionamento, outro carro já ocupa a mesma vaga*”. Finaliza indicando o tamanho dos carros: “*esses carros possuem a mesma proporção de tamanho*”. L5 não volta a mencionar esse aspecto posteriormente, indicando a compreensão de que não é um aspecto relevante do análogo. O **significado denotativo** apresentado por L5 não se restringe a descrição literal da imagem e indica associações com a aplicação do conceito de equilíbrio dinâmico na física: “*ocorre um movimento retilíneo uniforme, onde os carros se movimentam no sentido direto e contrário, em uma velocidade constante*”. Apesar de L5 associar a imagem com movimento retilíneo uniforme, que não é o objetivo da imagem, mostra compreender o movimento frequente e compensado dos carros, aspecto essencial para a compreensão da analogia.

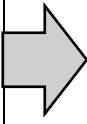
Nas **relações paradigmáticas**, L5 não volta a mencionar o movimento retilíneo uniforme e comprehende a comparação com reações químicas reversíveis. L5 associa as setas apontando para a direita como formação de produtos e, subentendemos que as setas apontando para a esquerda como formação de reagentes: “*as setas para a direita indicam os reagentes formando produtos [...]*”. Essa associação é problemática, tendo em vista que na imagem há setas apontando para todas as direções e não apenas para a direita e esquerda. Quando escrevemos a equação da reação em equilíbrio utilizamos uma seta dupla, na qual a que aponta para a direita indica a formação de produtos e a que aponta para a esquerda a formação de reagentes. Inferimos, portanto, que a associação realizada por L5 foi entre a seta da imagem e as setas usadas para expressar a equação química. Ainda nas relações paradigmáticas, L5 coloca que “[...] *no mesmo momento em que um carro saí da vaga, outro já entra para ficar em equilíbrio*”. Consideramos essa associação correta, pois mostra compreender que a entrada e saída constante de carros caracteriza o equilíbrio.

O **significado conotativo** apresentado por L5 foi: “*nesse sistema não há mudanças no seu equilíbrio, sendo assim a concentração dos reagentes e produtos permanecem constantes*”. A afirmação está correta, pois em uma reação reversível

em equilíbrio as concentrações permanecem constantes. No entanto, o aspecto que a imagem busca conotar é o movimento constante, frequente e compensado, o qual L5 não aponta nessa resposta. Ainda assim, encontramos esse aspecto destacado na última relação paradigmática de L5: “[...] no mesmo momento em que um carro saí da vaga, outro já entra para ficar em equilíbrio”. Portanto, consideramos que L5 alcançou o significado conotativo com a analogia.

Ao apontar as limitações da analogia, L5 reforça a compreensão de que no equilíbrio as velocidades se igualam, embora não deixe claro qual seria a limitação: “*sim, como esse equilíbrio não possui mudanças, a velocidade em que os carros se movem são constantes*”. O Quadro 39 sintetiza a construção de significados por L5 a partir da analogia 3.

Quadro 39 – Construção de significados por L5 em relação à analogia pictórica 3

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Estacionamento, carros de diferentes cores, setas indicando o trajeto de cada veículo.</i>	<i>À medida que um veículo sai da vaga de estacionamento, outro carro já ocupa a mesma vaga. Esses carros possuem a mesma proporção de tamanho.</i>	<i>Setas para a direita →</i>	<i>Reagentes formando produtos</i>
		<i>No mesmo momento em que um carro saí da vaga, outro já entra →</i>	<i>Equilíbrio</i>
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>Ocorre um movimento retilíneo uniforme, onde os carros se movimentam no sentido direto e contrário, em uma velocidade constante.</i>		<i>Nesse sistema não há mudanças no seu equilíbrio, sendo assim a concentração dos reagentes e produtos permanecem constantes.</i>	

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 39 e as discussões anteriores, o significado conotativo apresentado por L5 está correto em relação ao conceito de equilíbrio químico, porém, não aponta o movimento frequente e compensado, característica principal que permite a analogia entre o estacionamento lotado e o referido conceito científico. Apesar disso, esse aspecto foi destacado nas relações paradigmáticas de L5. A associação entre a direção das setas na imagem e formação de reagentes e

produtos, ainda que potencialmente problemática, pelos motivos já discutidos, não levou a nenhuma compreensão incorreta. No entanto, entendemos que as setas na imagem podem ser associadas as setas da equação da reação em equilíbrio, ou seja, é uma relação paradigmática possível, mas indesejada.

Considerações e Limitações da Analogia 3

De maneira geral, os licenciandos que compuseram o corpus de pesquisa da analogia pictórica 3 compreenderam o significado denotativo da imagem, embora L2 não observe o movimento frequente e compensado de entrada e saída dos carros, que é um aspecto essencial para posteriormente estabelecer as relações de similaridade com o alvo. Diante disso, reforçamos a importância de garantir que o análogo seja familiar ao sujeito e de destacar elementos e aspectos que necessitam ser relacionados com o conceito a ser ensinado. Como já discutimos, isso se torna mais pronunciado nas analogias que se baseiam em similaridades funcionais, pois é necessário que o funcionamento do domínio análogo seja compreendido antes de estabelecer as relações com o domínio alvo.

Ao saírem do campo da denotação, os licenciandos mostraram dificuldades em estabelecer as relações entre a imagem e o conceito científico em questão. L1 e L5 estabeleceram relações entre a imagem e o equilíbrio dinâmico aplicado a física ao mencionarem um corpo em movimento retilíneo uniforme. Apesar da confusão inicial dos conceitos, posteriormente todos indicaram compreender que o objetivo da analogia empregada era elucidar o conceito de equilíbrio químico em reações químicas reversíveis.

Além disso, relações paradigmáticas realizadas evidenciaram limitações da analogia, ou seja, características da imagem que podem ser associadas ao referido conceito científico, mas que levam a conotações indesejadas. L1 observa que as demarcações do estacionamento são divididas em duas partes e, em virtude disso, associa um lado aos reagentes e outro aos produtos de uma reação química, tal como aparece na forma como escrevemos a reação (ex. $\text{HCl} + \text{NaOH} \leftrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$). Porém, a analogia é relacionada ao equilíbrio dinâmico nas reações químicas e não a forma como o equilíbrio químico é representado na equação. Essa associação reforça uma ideia compartimentada da reação, pois tanto a reação química quanto o

estacionamento da imagem deveriam ser entendidos como um sistema único, no qual dois fenômenos ocorrem simultaneamente.

Outra limitação foi evidenciada por L5 ao associar as setas que aparecem na imagem com indicação de formação de reagentes ou produtos. Entendemos que essa relação paradigmática possui a mesma origem da anterior, ou seja, a forma usual de representar a equação. Nela, a seta apontando para a direita representa a formação de produtos, enquanto a para a esquerda, a decomposição dos produtos em reagentes. Sendo assim, a associação de L5 tem um fundamento intuitivo, mas incoerente, pois na imagem existem setas apontando em todas as direções. Ainda que houvesse apenas setas para a esquerda e direita, implicaria que o lado direito do estacionamento representasse os produtos e o esquerdo os reagentes, o que leva a mesma conotação incorreta de uma reação compartimentada.

Acrescentamos a essas limitações mais uma já citada durante a leitura semiológica e apontada também por L4. No contexto análogo, os carros saem e entram livremente do estacionamento, tendo em vista ser um sistema aberto. No contexto alvo, no entanto, não pode haver perda nem adição de reagentes e produtos, caso no qual o sistema sairia do equilíbrio. Essa característica denotativa não deve ser atribuída ao conceito científico e, assim como as demais limitações encontradas, devem ser discutidas e explicitadas ao fazer uso da analogia pictórica 3.

As relações sintagmáticas e paradigmáticas que podem levar a uma conotação incorreta e, portanto, as limitações da analogia, estão resumidas no Quadro 40.

Quadro 40 – Limitações da analogia pictórica 3

Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas		Significado Conotativo
	Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos	
Estacionamento dividido em duas partes.	Lado esquerdo e direito do estacionamento →	Reagentes e produtos da reação química	Reação compartimentada.
Carros acompanhados de setas indicando a direção que seguem.	Setas para a direita e esquerda →	Formação de produtos e reagentes	Reação compartimentada.
Estacionamento aberto com carros entrando e saindo.	Carros entram e saem do estacionamento →	Perda e adição de reagentes e produtos	Reação fora do equilíbrio.

Fonte: Autora (2023).

Conforme o quadro 40, três características da imagem foram consideradas como limitação da analogia, ou seja, como aspectos do análogo não compartilhados com o alvo e que podem levar a um significado divergente do pretendido. O estacionamento dividido em duas partes, bem como as setas que indicam a direção dos carros, possibilitam uma associação com o modo como escrevemos a reação, com reagente à direita e produtos à esquerda separados por uma seta dupla. Ambos os casos conotam a ideia de uma reação compartmentada. Por fim, o fato de o estacionamento ser um sistema aberto, que permite a entrada e saída de carros, pode fazer relacionar com a perda ou adição de reagentes, o que conotaria uma reação fora do equilíbrio.

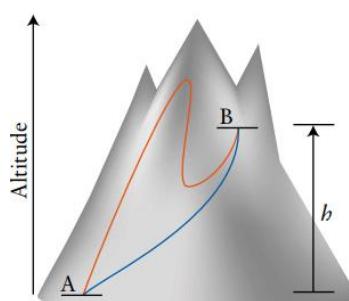
6.4 ANALOGIA 4 – LEI DE HESS COMPARADA COM A DETERMINAÇÃO DA ALTURA DE UMA MONTANHA

Conceitos essenciais

A lei de Hess é um conceito abordado dentro da Termoquímica que segue o princípio da conservação de energia. Sendo uma função de estado, a energia envolvida em uma reação química depende apenas dos estados inicial e final, mas não do caminho percorrido entre ambos. Assim, a lei de Hess se refere à soma dos valores de variação de entalpia padrão, representado por ΔH , de reações químicas intermediárias que podem ser utilizadas para estimar a variação de entalpia, ou energia envolvida, de reações difíceis ou impossíveis de medir experimentalmente (LIMA, 2015).

Segundo Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 257), a função de estado é “uma propriedade cujo valor depende somente do estado atual do sistema e não da maneira como o estado foi atingido”. Ao explicar esse conceito, os autores fazem uma analogia, expressa no Quadro 41, que compara a função de estado com a altitude de uma montanha.

Quadro 41 – Função de estado comparada à altitude de uma localidade na montanha

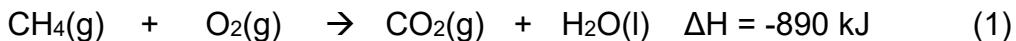


A altitude de uma localidade, em uma montanha, é como uma propriedade termodinâmica de estado: não importa que caminho você escolha entre dois pontos, A e B, a mudança de altitude é a mesma.

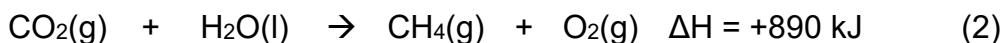
Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 280).

Conforme a analogia, é possível escolher diferentes caminhos entre dois pontos de uma montanha, mas a diferença de altitude de um ponto para outro será a mesma, seja qual for o caminho escolhido. Essa mesma característica se aplica a conservação de energia envolvida na lei de Hess.

As reações químicas são acompanhadas por transferências de energia, normalmente na forma de calor (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018). Podemos tomar como exemplo a combustão do metano, sendo que 1 mol de CH_{4(g)} produz 890 kJ de calor em 298 K e 1 bar:

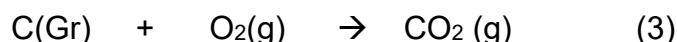


O ΔH corresponde à variação da entalpia, ou variação da energia, durante a reação. A reação 1 apresenta ΔH é negativo, o que indica que o sistema é exotérmico. Isso significa que durante a reação foi liberada energia na forma de calor e, portanto, o saldo energético é negativo. Conforme a primeira lei da termodinâmica, a entalpia é uma função de estado, portanto, o ΔH do processo inverso é o negativo do processo direto (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018):

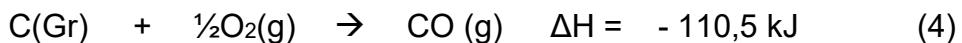


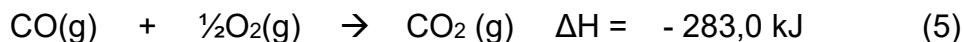
A reação 2 é o inverso da reação 1, portanto, o sinal do ΔH fica positivo e temos uma reação endotérmica, ou seja, que necessita de energia para ocorrer.

Como a entalpia é uma função de estado, e em decorrência do princípio de conservação de energia, a Lei de Hess diz que a variação da entalpia de uma reação química depende apenas da entalpia inicial e final dos produtos, independente se a reação ocorrer de forma direta, em uma única etapa, ou de forma indireta, em mais de uma etapa (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018). Como exemplo, podemos pensar na formação do dióxido de carbono a partir da oxidação do carbono na forma de grafita C(Gr):

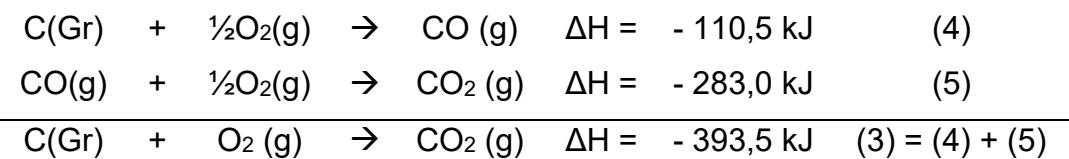


Imaginando que a reação ocorra em duas etapas, primeiro haveria a formação do monóxido de carbono (4) e depois a do dióxido de carbono (5):





Conforme a lei de Hess, o ΔH total será a soma do ΔH das etapas intermediárias:



A lei de Hess irá se aplicar ainda que a reação total ou as reações intermediárias sejam hipotéticas, ou seja, que não possam se realizar na prática. Por existir milhões de reações químicas possíveis, seria impraticável medir experimentalmente cada uma. Por isso, a solução foi registrar a entalpia padrão de formação das substâncias e depois combiná-las para encontrar a entalpia das diversas reações desejadas. Segundo Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 282), “a entalpia padrão de formação ΔH_f° , de uma substância é a entalpia padrão da reação por mol de fórmula unitária da formação de uma substância a partir de seus elementos na sua forma mais estável” (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 282). Na tabela 1, podemos conferir o ΔH_f° de algumas substâncias:

Tabela 1 – Entalpias padrão de formação em 25°C*

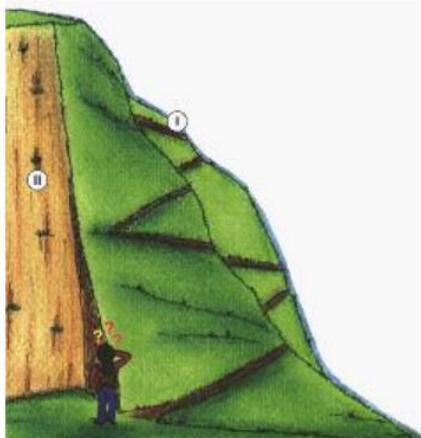
Compostos inorgânicos			Compostos orgânicos		
Substância	Fórmula	$\Delta H_f^\circ/$ (kJ.mol ⁻¹)	Substância	Fórmula	$\Delta H_f^\circ/$ (kJ.mol ⁻¹)
Amônia	NH ₃ (g)	- 46,11	Benzeno	C ₆ H ₆ (l)	+ 49,0
Dióxido de carbono	CO ₂ (g)	- 393,51	Etanol	C ₂ H ₅ OH(l)	- 277,69
Monóxido de carbono	CO(g)	- 110,53	Etino (acetileno)	C ₂ H ₂ (g)	+ 226,73
Tetróxido de dinitrogênio	N ₂ O ₄ (g)	+ 9,16	Glicose	C ₆ H ₁₂ O ₆ (s)	- 1268
Cloreto de hidrogênio	HCl(g)	- 92,31	Metano	CH ₄ (g)	- 74,81
Dióxido de nitrogênio	NO ₂ (g)	- 33,18			
Óxido nítrico	NO(g)	190,25			
Cloreto de sódio	NaCl(s)	- 411,15			
Água	H ₂ O(l)	- 285,83			
	H ₂ O(g)	- 241,82			

Fonte: Atkins, Jones e Laverman (2018, p. 282).

Leitura Semiológica

Na analogia 4, a determinação da entalpia das substâncias é comparada com a determinação da altura de uma montanha, conforme o Quadro 42. No livro didático do qual a imagem foi retirada, a analogia é empregada para introduzir a lei de Hess, na tentativa de elucidar que as reações químicas podem ocorrer por mais de um caminho.

Quadro 42 – Lei de Hess comparada à determinação da altura de uma montanha



Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis: caminho I, que é a trilha já existente, e caminho II, que exige a escalada da montanha (portanto, deve-se vencer a altura verticalmente). O caminho II, apesar de direto, pode dar mais trabalho, pois requer, além de cordas e ganchos, habilidade do alpinista. Por outro lado, o caminho I, apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade, sendo possível vencê-lo a pé. É importante ressaltar que independentemente do caminho utilizado, ambos levam ao topo da montanha."

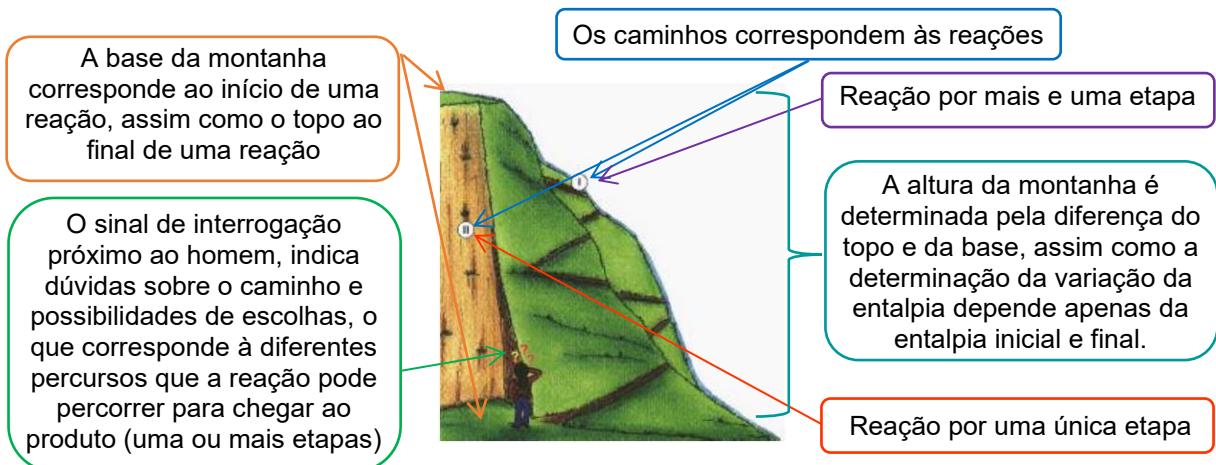
Fonte: Hartwig, Souza e Mota (1999, p. 138).

Com relação ao **inventário denotativo**, podemos observar uma montanha, um homem, sinais de interrogação próximos ao homem e dois caminhos, sendo o caminho lateral dividido em duas partes. As **relações sintagmáticas** se constituem de um homem que está em pé na base da montanha. Sinais de interrogação próximos ao homem sugerem que ele tem duas possibilidades de caminhos para chegar até o topo. Essa ideia é reforçada pelo texto que acompanha a imagem: “Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis [...]. O primeiro caminho é pela lateral direita e aparenta ser mais longo, porém, conforme o texto “[...] apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade”. O segundo caminho é mais curto, no entanto, pode ser mais difícil por ser uma subida completamente vertical e exige ferramentas, como cordas e ganchos. O **significado**

denotativo que a imagem transmite é que para chegar ao topo da montanha, independente do caminho escolhido, alcança-se a mesma altura. A diferença de altitude, ou a altura a alcançar de um lugar para outro, não depende do caminho percorrido, mas da posição inicial e final somente.

As **relações paradigmáticas** entre a analogia e o conceito científico são: o homem na base da montanha corresponde ao início de uma reação e o topo ao final da reação; as possibilidades de caminhos I e II correspondem aos diferentes percursos que uma reação pode percorrer para chegar ao produto final (altura), podendo ser em uma ou mais etapas (caminhos); o caminho I na figura, que aparenta ser mais longo e dividido, corresponde a reação por mais de uma etapa; o caminho II, mais curto e direto, corresponde à reação por uma única etapa; a subida vertical do caminho II exige ferramentas específicas, como cordas e ganchos, e isso corresponde à determinação da entalpia da reação direta, que necessita de um calorímetro. No caminho I, não são necessários equipamentos, assim como podemos calcular a entalpia sem o calorímetro, usando apenas os valores de produtos intermediários previamente tabelados; a altura da montanha é comparada a variação da entalpia em uma reação – independente do caminho escolhido, ao final ele estará na mesma altura, assim como a variação da entalpia depende apenas do estado inicial e final numa reação química. A Figura 17 resume as relações sintagmáticas e paradigmáticas extraídas da figura e que são consideradas essenciais para a compreensão conceitual da analogia.

Figura 17 – Relações essenciais para a compreensão da analogia pictórica 4



Fonte: Autora (2023).

O **significado conotativo** da analogia pictórica é que, segundo a Lei de Hess, para determinar a variação de entalpia de uma reação química, depende-se apenas da diferença entre a entalpia dos reagentes e dos produtos, mas não de eventuais produtos intermediários, portanto, independentemente de a reação ser direta ou dividida em etapas, a variação da entalpia será a mesma. O Quadro 43 sintetiza a análise realizada e destaca os principais aspectos observados por meio da leitura do instrumento analítico.

Quadro 43 – Síntese da análise semiológica da analogia imagética 4

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
Montanha, homem, sinais de interrogação, trilha, escalada, dois caminhos para chegar ao topo.	Homem na base da montanha; Sinais de interrogação próximo ao homem; Caminhos diferentes para chegar ao topo; Caminho I mais longo e dividido em etapas; Caminho II mais curto e direto.	Homem na base da montanha → Topo → Sinal de interrogação indicando dúvidas sobre o caminho e possibilidade de escolhas → O caminho I → O caminho II → Dois caminhos para chegar ao topo → O caminho II exige ferramentas específicas (cordas e ganchos) → O caminho I é uma trilha já existente (conhecida) e não necessita de equipamentos → Altura da montada (diferença do topo e da base) →	Início de uma reação Final de uma reação Diferentes caminhos que a reação pode percorrer para chegar ao produto (uma ou mais etapas). Reação por mais de uma etapa. Reação por uma única etapa. Reação direta ou divididas em etapas gerando o mesmo produto. A determinação da variação de entalpia da reação direta necessita de um calorímetro. A entalpia dos produtos das reações intermediárias já é conhecida e tabelada. Variação da entalpia em uma reação química (diferença da entalpia final e inicial).
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<p>Ao chegar no topo da montanha, independente do caminho escolhido, o homem estará na mesma altura. A diferença de altitude, isto é, a altura, de um lugar para outro, não depende do caminho percorrido, mas sim da posição inicial e final da determinação.</p>		<p>Lei de Hess: a variação da entalpia não depende do caminho da reação, mas sim da diferença de entalpia entre reagentes e produtos.</p>	

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 43, diversas relações paradigmáticas precisam ser estabelecidas para chegar ao significado conotativo esperado. Consideramos essa analogia pictórica complexa, pois são muitas possibilidades de associações e elas não são intuitivas. A analogia 4 é do tipo funcional e, diferentemente das do tipo estrutural, não se baseia apenas em comparações diretas entre estruturas. Para construir a conotação pretendida, o sujeito necessita compreender o funcionamento do domínio denotativo, que também é complexo. Por exemplo, a determinação da altura da montanha é realizada por meio da diferença de altitude entre a base e o topo, mas é preciso que o sujeito entenda esse aspecto funcional do análogo para que seja possível uma associação com o funcionamento da determinação da entalpia na lei de Hess, que também é determinada pela diferença das entalpias inicial e final. Além disso, é importante identificar quais aspectos do análogo precisam ser considerados ao estabelecer as relações com o conceito científico.

Torna-se necessário destacar que, diferentemente das demais analogias trazidas na tese, nessa não utilizamos na íntegra o texto que a acompanha, pois consideramos que nele existem explicações inconsistentes acerca das similaridades entre análogo e alvo. Corroborando com isso, Monteiro e Justi (2000), que também analisaram essa analogia, indicaram que a descrição do domínio alvo não se encontra coerente com a ilustração e pode dificultar a compreensão do conceito. Por essa razão, utilizamos apenas um trecho da explicação acerca do análogo e conduzimos a leitura semiológica sem levar em conta as comparações com o alvo feitas no livro. Assim, a partir da leitura semiológica, detalhamos um caminho para a construção dos significados pretendidos.

A respeito das limitações da analogia pictórica, destacamos que, no contexto análogo, o caminho II, embora mais difícil do que o caminho I, pode ser realizado. Porém, ao estabelecer a associação entre o caminho II e uma reação realizada por uma única etapa, é preciso deixar claro que nem todas as entalpias podem ser determinadas experimentalmente. Sendo assim, não é apenas uma escolha realizar a determinação da entalpia experimentalmente ou por cálculo a partir de valores conhecidos. Muitas vezes, o cálculo por meio de valores tabelados é usado justamente para prever reações hipotéticas, ou seja, que não podem se realizar na prática.

Análise e discussão dos dados de L1

Quadro 44 – Respostas de L1 ao questionário 4

Lei de Hess comparada à determinação da altura de uma montanha



Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis: caminho I, que é a trilha já existente, e caminho II, que exige a escalada da montanha (portanto, deve-se vencer a altura verticalmente). O caminho II, apesar de direto, pode dar mais trabalho, pois requer, além de cordas e ganchos, habilidade do alpinista. Por outro lado, o caminho I, apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade..."

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Uma montanha, um paredão reto e um caminho menos íngreme em forma de zig zag.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: O primeiro caminho possui um caminho já trilhado com muitas curvas e vegetação, o segundo é um paredão reto uniforme com pequenas deformidades.
3. Explique o significado literal da imagem.

R: Um caminho sutil, com mais facilidade de acesso e outro mais íngreme, com mais dificuldade de acesso, porém os dois chegam ao mesmo lugar.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente?

R: Os caminhos descritos na analogia indicam a variação de distância entre os mesmos, um mais curto e outro mais longo. De acordo com a lei de Hess, o primeiro caminho está associado a entalpias de vários estados, e o segundo caminho a variação de um estado só.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Independente do número de etapas pelas quais uma reação passa, a variação de entalpia depende apenas do seu estado inicial e final.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, porque a analogia em si não mostra o que realmente ocorre numa reação de entalpia, que é a absorção ou liberação de calor entre as reações, além de comparar essa reação de uma forma não realista.

Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L1 apresenta: “*uma montanha, um paredão reto e um caminho menos íngreme em forma de zig zag*”. O homem na base da montanha e os pontos de interrogação não foram destacados por L1. Nas **relações sintagmáticas**, L1 observa que em um dos caminhos já existe uma trilha e que no outro há uma parede para escalada: “*o primeiro caminho possui um caminho já trilhado com muitas curvas e vegetação, o segundo é um paredão reto uniforme com pequenas deformidades*”. Novamente ele não menciona a existência do homem acompanhado de ponto de interrogação. O **significado denotativo** alcançado por L1 foi: “*um caminho sutil, com mais facilidade de acesso e outro mais íngreme, com mais dificuldade de acesso, porém os dois chegam ao mesmo lugar*”. Nota-se que a ênfase é na facilidade ou dificuldade de chegar ao topo da montanha. Além disso, o significado denotativo não fala sobre a determinação da altura da montanha, cuja compreensão é necessária, visto que essa é a base da analogia com a lei de Hess.

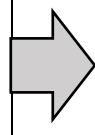
Nas **relações paradigmáticas**, L1 relaciona a distância para chegar ao topo da montanha pelo caminho I e II com entalpia de vários estados: “*os caminhos descritos na analogia indicam a variação de distância entre os mesmos, um mais curto e outro mais longo [...] o primeiro caminho está associado a entalpias de vários estados, e o segundo caminho a variação de um estado só*”. A variação de entalpia pode ser calculada para a mudança de estados físicos, sendo possível que L1 se refira a isso quando diz “*entalpias de vários estados*”. No entanto, a lei de Hess aborda a variação de entalpia em reações químicas e não em mudança de estados físicos. A distância entre a base e o topo da montanha será diferente nos caminhos I e II, portanto, essa associação estaria incorreta ainda que L1 não estivesse se referindo à mudança de estados físicos.

O **significado conotativo** apresentado por L1 foi: “*independente do número de etapas pelas quais uma reação passa, a variação de entalpia depende apenas do seu estado inicial e final*”. Embora esteja correto, não está de acordo com as relações paradigmáticas apresentadas, o que nos leva a inferir que L1 sabe o que a lei de Hess diz, mas não consegue relacionar com o contexto análogo.

Ao abordar as limitações da analogia, L1 reforça que entende a lei de Hess, mas pontua que a analogia não mostra o que acontece na reação: “*a analogia em si não mostra o que realmente ocorre numa reação de entalpia, que é a absorção ou liberação de calor entre as reações*”. Outra observação foi que a analogia não é realista: “[...] além de comparar essa reação de uma forma não realista”. Embora a

subida em uma montanha por dois caminhos diferentes e a determinação da altura de montanha ser possível e real, esse contexto não é familiar a L1, o que torna a compreensão da analogia difícil. O Quadro 45 sintetiza a construção de significados por L1 a partir da analogia 4.

Quadro 45 – Construção de significados por L1 em relação à analogia pictórica 4

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Uma montanha, um paredão reto e um caminho menos íngreme em forma de zig zag.</i>	<i>O primeiro caminho possui um caminho já trilhado com muitas curvas e vegetação; O segundo é um paredão reto uniforme com pequenas deformidades.</i>		<i>Variação de distância dos caminhos →</i> <i>Variação de entalpia</i>
		<i>Primeiro caminho →</i>	<i>Entalpia de vários estados</i>
		<i>Segundo caminho →</i>	<i>Variação de um estado só</i>

Significado Denotativo	Significado Conotativo
<i>Um caminho sutil, com mais facilidade de acesso e outro mais íngreme, com mais dificuldade de acesso, porém os dois chegam ao mesmo lugar.</i>	<i>Independentemente do número de etapas pelas quais uma reação passa, a variação de entalpia depende apenas do seu estado inicial e final.</i>

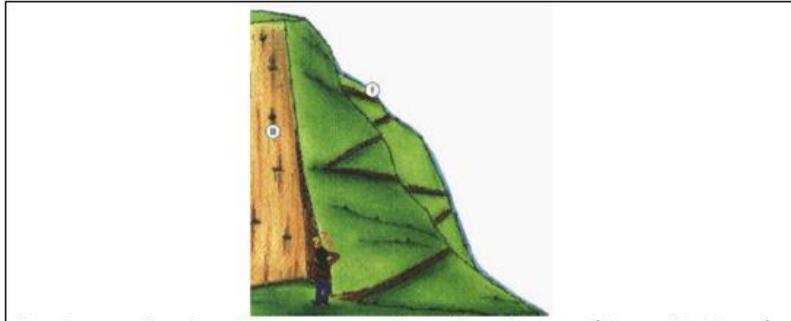
Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 45 e as discussões anteriores, observamos que L1 não destaca todos os elementos que constituem o análogo. As relações sintagmáticas também estão incompletas e, consequentemente, L1 não apresenta o significado denotativo esperado. Embora seja citado que os dois caminhos levam ao mesmo lugar, L1 não mostra compreender que a imagem se refere a determinação da altura da montanha. Compreender o domínio análogo é um requisito essencial para que a analogia seja possível. Como consequência, as relações paradigmáticas estabelecidas encontram-se incorretas e não expressam a lei de Hess. Como ainda assim L1 descreve a lei de Hess corretamente, atribuímos a interpretação incorreta da analogia a não compreensão, ou falta de familiaridade, do domínio análogo e a falta da explicação no texto que acompanha a imagem.

Análise e discussão dos dados de L2

Quadro 46 – Respostas de L2 ao questionário 4

Lei de Hess comparada a determinação da altura de uma montanha.



Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis: caminho I, que é a trilha já existente, e caminho II, que exige a escalada da montanha (portanto, deve-se vencer a altura verticalmente). O caminho II, apesar de direto, pode dar mais trabalho, pois requer, além de cordas e ganchos, habilidade do alpinista. Por outro lado, o caminho I, apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade..."

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Um homem, uma montanha com duas indicações. 1 - Indicação com uma trilha, em uma subida menos íngreme, demorando mais para subir, mas não com muito esforço. 2 - Indicação de uma subida mais íngreme, usando muito mais força para subir e correndo muito mais riscos.

2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: Os elementos são diferentes entre os caminhos, a distância que irá percorrer durante os dois caminhos, uma mais leve, porém mais longa, outra mais curta, mas com muito mais força física.

3. Explique o significado literal da imagem.

R: 2 caminhos a percorrer, um exige mais força física, enquanto o outro apresenta maior facilidade para subir.

4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente?

R: Sobre os conceitos descritos, há pouca similaridade com o conceito químico, a diferença entre os caminhos e a quantidade de energia que irá gastar do início ao fim da subida.

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: A imagem representa a quantidade de energia que a pessoa irá gastar nos dois caminhos, uma variação da energia gasta do início ao final, com um estado inicial igual para os dois caminhos, mas com uma energia mais gasta no caminho 2.

6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, existe limitações na figura, não mostrando a variação da entalpia, no processo mais lento ou acelerado, mostrando só o estado inicial e final do trajeto, mas sem nenhum movimento ou parâmetros indicando nos trajetos, um exemplo, poderiam ter colocado uma energia inicial e no meio do caminho o quanto ele gastou de energia, e o final a quantidade de energia gasta nos dois caminhos e o tempo percorrido.

Fonte: Autora (2023).

O **inventário denotativo** de L2 contempla os itens indicados na leitura semiológica e apresenta algumas relações sintagmáticas estabelecidas por ele: “*um homem, uma montanha com duas indicações. 1 - Indicação com uma trilha, em uma subida menos íngreme, demorando mais para subir, mais [sic] não com muito esforço. 2 - Indicação de uma subida mais íngreme, usando muito mais força para subir e correndo muito mais riscos*”. Nas **relações sintagmáticas**, L2 destaca que existem dois caminhos para subir a montanha: “[...] *uma montanha com duas indicações [...]*”; que o caminho I é mais demorado e não exige tanto esforço: “[...] 1 - *Indicação com uma trilha, em uma subida menos íngreme, demorando mais para subir, mais não com muito esforço*”; e que o caminho II requer mais força: “[...] 2 - *Indicação de uma subida mais íngreme, usando muito mais força para subir e correndo muito mais riscos*”. Explica ainda que existe uma diferença na distância e na dificuldade dos dois caminhos: “[...] *os elementos são diferentes entre os caminhos, a distância que irá percorrer durante os dois caminhos, uma mais leve, porém mais longa, outra mais curta, mais com muito mais força física*”. Notamos que a ênfase dada é na diferença da distância e dificuldade dos caminhos. O **significado denotativo** apresentado por L2 foi: “*2 caminhos a percorrer, um exige mais força física, enquanto o outro apresenta maior facilidade para subir*”. L2 não fala sobre o início e final da caminhada e não cita a altura da montanha, ou seja, indica que o domínio análogo não foi compreendido conforme o esperado pela análise semiológica.

Na pergunta relacionada às relações paradigmáticas, L2 afirma que “*há pouca similaridade com o conceito químico*” e reforça o que apresentou nas relações sintagmáticas: “[...] *a diferença entre os caminhos e a quantidade de energia que irá gastar do início ao fim da subida*”. Porém, só relaciona o contexto análogo com o alvo na pergunta seguinte ao comparar a energia envolvida nos diferentes caminhos com a energia envolvida nas reações químicas. Assim, as **relações paradigmáticas** identificadas foram: “[...] *a quantidade de energia que a pessoa irá gastar nos dois caminhos*” com “[...] *uma variação da energia gasta do início ao final*”; e o estado inicial igual nos dois caminhos com o estado inicial igual nas reações químicas: “[...] *com um estado inicial igual para os dois caminhos*”. Inferimos essa última associação, embora não esteja explícita na respectiva resposta, porque L2 reforça essa ideia ao comentar sobre as limitações da analogia: “*sim, existe limitações na figura, não mostrando a variação da entalpia, no processo mais lento ou acelerado, mostrando só o estado inicial e final do trajeto, mais sem nenhum movimento ou parâmetros indicando nos*

trajetos, um exemplo, poderiam ter colocado uma energia inicial e no meio do caminho o quanto ele gastou de energia, e no final a quantidade de energia gasta nos dois caminhos e o tempo percorrido". Entendemos que L2 relaciona a diferença na quantidade de energia gasta nos dois trajetos com diferentes caminhos que uma reação pode percorrer envolvendo gastos energéticos divergentes e o tempo que leva para percorrer cada caminho com o tempo de reação. As relações paradigmáticas indicadas por L2 não estão de acordo com o conceito científico, pois a lei de Hess não trata da velocidade das reações e, contrário do que L2 afirmou, indica que a variação de entalpia, ou seja, a energia envolvida na reação, independe da quantidade de etapas e do caminho percorrido.

O **significado conotativo** indicado por L2 foi que a variação de entalpia difere dependendo do caminho da reação, ou seja, não depende apenas do estado inicial e final. Encontramos esse significado por meio da resposta da pergunta 5: “[...] uma variação da energia gasta do início ao final, com um estado inicial igual para os dois caminhos, mais [sic] com uma energia mais gasta no caminho 2”; e pergunta 6, quando L2 afirma que a imagem não mostra a variação de entalpia porque só apresenta os estados iniciais e finais: “[...] não mostrando a variação da entalpia, no processo mais lento ou acelerado, mostrando só o estado inicial e final do trajeto, mais [sic] sem nenhum movimento ou parâmetros indicando nos trajetos, um exemplo, poderiam ter colocado uma energia inicial e no meio do caminho o quanto ele gastou de energia, e no final a quantidade de energia gasta nos dois caminhos e o tempo percorrido”. O Quadro 47 sintetiza a construção de significados por L2 a partir da analogia 4.

Quadro 47 – Construção de significados por L2 em relação à analogia pictórica 4

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Homem;</i> <i>Montanha com duas indicações;</i> <i>1 - Trilha, em uma subida menos íngreme;</i> <i>2 - Subida mais íngreme.</i>	<i>Uma montanha com duas indicações (caminhos);</i> <i>1 - Indicação com uma trilha, em uma subida menos íngreme, demorando mais para subir, mais não com muito esforço;</i> <i>2 - Indicação de uma subida mais íngreme, usando muito mais força para subir e correndo muito mais riscos;</i> <i>A distância que irá percorrer durante os dois caminhos, uma mais leve, porém mais longa, outra mais curta, mais com muito mais força física.</i>	<i>Quantidade de energia que a pessoa irá gastar nos dois caminhos</i> →	<i>Variação da energia gasta do início ao final</i>
		<i>Estado inicial igual para os dois caminhos</i> →	<i>Estado inicial igual para a reação química</i>
		<i>Tempo gasto nos diferentes caminhos</i> →	<i>Tempo gasto na reação</i>
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>Dois caminhos a percorrer, um exige mais força física, enquanto o outro apresenta maior facilidade para subir.</i>		<i>A variação de entalpia difere dependendo do caminho da reação, ou seja, não depende apenas do estado inicial e final.</i>	

Fonte: Autora (2023).

A partir do Quadro 47 e das discussões anteriores, observamos que, no domínio denotativo, L2 estabelece relações sintagmáticas pertinentes, mas diferentes das requeridas para construir o significado denotativo pretendido. Apesar de o título da imagem trazer que a analogia se baseia na comparação entre a determinação da altura da montanha e a lei de Hess, L2 não aborda essa questão e fala apenas da diferença da força e tempo envolvidos nos caminhos I e II. Por atribuir um significado denotativo alternativo, as relações paradigmáticas também foram em um sentido contrário ao necessário para a construção da conotação esperada. A única relação paradigmática correta foi a respeito do estado inicial igual, independentemente do caminho escolhido. No entanto, conforme a lei de Hess, independente do caminho

da reação, a variação da entalpia só depende do estado inicial e final e, L2 concluiu que a energia envolvida será diferente a depender do caminho escolhido. Essa associação é válida, pois podemos inferir que a energia gasta para subir a montanha será diferente em uma escalada e em uma trilha, porém, a comparação não deveria ser feita em relação ao esforço da subida, mas sim em relação à altura da montanha. Entendemos, portanto, que essa é uma limitação da analogia, pois é uma inferência possível e que leva a uma compreensão equivocada do conceito científico.

Outra relação paradigmática estabelecida por L2 foi em relação ao tempo que levaria a subida da montanha pelos diferentes caminhos com o tempo gasto nas reações. Importa destacar que nem sempre temos a opção de realizar as reações químicas em uma ou mais etapas. Muitas reações não podem ser interrompidas para obter produtos intermediários, ou seja, a divisão das reações em etapas é, muitas vezes, hipotética. Ainda que esse seja o caso, podemos calcular a variação da entalpia a partir de valores tabelados de reações intermediárias. É justamente nesse sentido que a lei de Hess se estabelece, pois ela diz que a variação da entalpia irá depender apenas das entalpias iniciais e finais, mas não de produtos intermediários. Levantamos essa questão para justificar que o tempo envolvido nas reações não é relevante na Lei de Hess, visto que, em certos casos, não é possível optar pela realização de uma reação de forma direta ou indireta. Como consequência da não compreensão do significado denotativo pretendido e das relações paradigmáticas incorretas do ponto de vista da lei de Hess, o significado conotativo alcançado por L2 não está de acordo com os objetivos da analogia.

Análise e discussão dos dados de L3

Quadro 48 – Respostas de L3 ao questionário 4

Lei de Hess comparada a determinação da altura de uma montanha.



Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis: caminho I, que é a trilha já existente, e caminho II, que exige a escalada da montanha (portanto, deve-se vencer a altura verticalmente). O caminho II, apesar de direto, pode dar mais trabalho, pois requer, além de cordas e ganchos, habilidade do alpinista. Por outro lado, o caminho I, apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade..."

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: O caminho I apesar de demorar mais tempo é mais fácil de percorrer. O caminho II é mais curto, porém demanda de um trabalho e esforço maior para percorrer.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: Os dois pontos levam ao topo da montanha, porém um dos pontos é mais trabalhoso, então acaba que demora mais para chegar no ponto desejado. Já pelo ponto mais fácil, o percurso é maior, porém é mais fácil de chegar ao ponto desejado.
3. Explique o significado literal da imagem.

R: Um dos caminhos não apresenta obstáculos é apenas seguir na direção, enquanto no outro apresenta obstáculos e demanda demais tempo para chegar ao topo da montanha.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente?

R: Comparando a analogia e o conceito de química, percebe-se que na analogia I e II, os dois percursos levam ao ponto final. De acordo com a lei de Hess é isso que acontece, pois depende do ponto inicial e do ponto final.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: A lei de Hess diz que a variação depende do ponto final e do ponto inicial.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Ao meu ponto de vista não, pois relacionando a interpretação da imagem é possível relacionar com o conteúdo científico do ensino de química.

Fonte: Autora (2023).

No **inventário denotativo**, L3 nota que existem dois caminhos para chegar ao topo da montanha, mas não se atém apenas à descrição dos elementos que compõem a imagem e realiza algumas inferências: “*o caminho I apesar de demorar mais tempo é mais fácil de percorrer. O caminho II é mais curto, porém demanda de um trabalho e esforço maior para percorrer*”. Na primeira questão L3 já apresenta algumas **relações sintagmáticas**, como o caminho I ser mais longo e o II ser mais curto e que, por isso, o segundo exige mais trabalho e esforço. Na questão referente às relações sintagmáticas, L3 observa que os dois caminhos levam ao topo da montanha, reforça o que disse na resposta anterior e acrescenta que um dos caminhos leva mais tempo para ser percorrido: “*os dois pontos levam ao topo da montanha, porém um dos pontos é mais trabalhoso, então acaba que demora mais para chegar no ponto desejado. Já pelo ponto mais fácil, o percurso é maior, porém é mais fácil de chegar ao ponto desejado*”. Em nenhum momento L3 menciona a determinação da altura e, por consequência, o **significado denotativo** apresentado não destaca a característica do análogo que fundamenta a analogia com a lei de Hess: “*um dos caminhos não apresenta obstáculos é apenas seguir na direção, enquanto no outro apresenta obstáculos e demanda demais tempo para chegar ao topo da montanha*”.

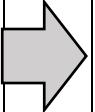
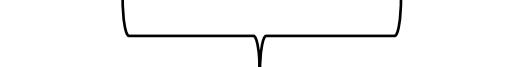
Nas **relações paradigmáticas**, L3 não deixa claro quais aspectos do análogo foram comparados com aspectos do conceito científico: “*comparando a analogia e o conceito de química, percebe-se que na analogia I e II, os dois percursos levam ao ponto final. De acordo com a lei de Hess é isso que acontece, pois depende do ponto inicial e do ponto final*”. Inferimos que ele relacionou os caminhos I e II, que levam até o topo da montanha, com o fato da lei de Hess enunciar que a entalpia depende apenas dos estados inicial e final da reação, mas não é mencionada a entalpia, ou energia envolvida, e nem a determinação da altura. A associação feita por L3 está correta, porém, ele não detalha a construção do significado e se pontos essenciais foram notados.

O **significado conotativo** apresentado por L3 foi: “*a lei de Hess diz que a variação depende do ponto final e do ponto inicial*”. Novamente L3 não menciona a entalpia, embora cite “variação”. Por fim, L3 diz não haver limitações na analogia: “*ao meu ponto de vista não, pois relacionando a interpretação da imagem é possível relacionar com o conteúdo científico do ensino de química*”. Conforme já discutido, o reconhecimento das limitações da analogia é tão importante quanto a identificação

das correspondências entre os domínios comparados, visto que análogo e alvo nunca serão um encaixe perfeito.

O Quadro 49 sintetiza a construção de significados por L3 a partir da analogia 4.

Quadro 49 – Construção de significados por L3 em relação a analogia pictórica 4.

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Dois caminhos para chegar ao topo da montanha.</i>	<p><i>O caminho I apesar de demorar mais tempo é mais fácil de percorrer; O caminho II é mais curto, porém demanda de um trabalho e esforço maior para percorrer;</i></p> <p><i>Os dois pontos levam ao topo da montanha: um dos pontos é mais trabalhoso, então acaba que demora mais para chegar no ponto desejado; já pelo ponto mais fácil, o percurso é maior, porém é mais fácil de chegar ao ponto desejado.</i></p>	<p><i>Os dois percursos levam ao ponto final</i></p> 	<i>De acordo com a lei de Hess, depende do ponto inicial e do ponto final</i>
			
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>Um dos caminhos não apresenta obstáculos é apenas seguir na direção, enquanto no outro apresenta obstáculos e demanda demais tempo para chegar ao topo da montanha.</i>		<i>A lei de Hess diz que a variação depende do ponto final e do ponto inicial.</i>	

Fonte: Autora (2023).

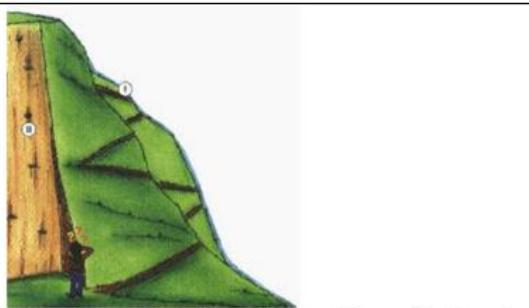
Conforme o Quadro 49 e as discussões anteriores, percebemos que L3 compreendeu um aspecto relevante do análogo, que os dois caminhos levam ao topo da montanha, e o associou com a variação depender apenas do ponto inicial e final segundo a lei de Hess. Como L3 não menciona a palavra ‘energia’ ou ‘entalpia’, não podemos afirmar se ele comprehende a lei de Hess. Também não foi indicada

nenhuma comparação entre as reações químicas com os diferentes caminhos e L3 não aborda a questão da determinação da altura, apesar de isso estar indicado no título da analogia. Mediante os dados, não é possível inferir se L3 tem domínio do conceito científico, porém, entendemos que a analogia não foi suficientemente clara para ele.

Análise e discussão dos dados de L4

Quadro 50 – Respostas de L4 ao questionário 4

Lei de Hess comparada a determinação da altura de uma montanha.



Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis: caminho I, que é a trilha já existente, e caminho II, que exige a escalada da montanha (portanto, deve-se vencer a altura verticalmente). O caminho II, apesar de direto, pode dar mais trabalho, pois requer, além de cordas e ganchos, habilidade do alpinista. Por outro lado, o caminho I, apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade..."

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Dois caminhos: Caminho I: mais longo e lento, maior facilidade no percurso, menor trabalho empregado e habilidade. Caminho II: mais curto e rápido, maior dificuldade no percurso, mais trabalho empregado e exige maior habilidade.

2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: Caminho I: caminho mais inclinado e maior facilidade de alcançar o topo. Caminho II: caminho reto, exige maior esforço para atingir o topo.

3. Explique o significado literal da imagem.

R: A imagem mostra uma montanha que apresenta dois caminhos distintos: Caminho I: caminho com maior tempo de percurso, demorado. Caminho II: caminho direto com menor tempo de percurso.

4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente?

R: Caminho I: o início do caminho representa o início da reação, em função do percurso, a mesma é lenta, demandando pouca energia até chegar ao topo. Caminho II: o pé da montanha corresponde ao início da reação, como o caminho é direto a reação é rápida, demanda muita energia até chegar ao final da reação.

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Os diferentes caminhos representam a diferença de energia demandada para que a reação aconteça.

6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Sim, pois a quantidade de energia empregada depende de como ela será fornecida, conforme a figura tem um homem no pé da montanha, dessa forma depende da quantidade de energia e trabalho que será fornecida.

Fonte: Autora (2023).

No **inventário denotativo**, L4 aponta dois caminhos e os descreve: “*dois caminhos: caminho I: mais longo e lento, maior facilidade no percurso, menor trabalho empregado e habilidade. Caminho II: mais curto e rápido, maior dificuldade no percurso, mais trabalho empregado e exige maior habilidade*”. L4 já aponta algumas explicações sobre as diferenças dos caminhos que dizem respeito às **relações sintagmáticas**, como o caminho I ser mais longo em relação ao caminho II. Na segunda pergunta, destinada às relações sintagmáticas, observa que o caminho I é mais inclinado e que, portanto, seria mais fácil de percorrer e que o caminho II é vertical e exigiria mais esforço para chegar ao topo da montanha: “*caminho I: caminho mais inclinado e maior facilidade de alcançar o topo. Caminho II: caminho reto, exige maior esforço para atingir o topo*”. No **significado denotativo**, L4 apenas reforça o que observou nas duas primeiras respostas: “*a imagem mostra uma montanha que apresenta dois caminhos distintos: caminho I: caminho com maior tempo de percurso, demorado. Caminho II: caminho direto com menor tempo de percurso*”. L4 comprehende que os dois caminhos levam ao topo da montanha, mas não cita a determinação da altura da montanha, que é essencial para que se estabeleça a analogia com a lei de Hess.

Seguindo para as **relações paradigmáticas**, L4 associa corretamente o início do caminho, ou a base da montanha, com o início de uma reação química: “[...] o *início do caminho representa o início da reação [...]” e “[...] o pé da montanha corresponde ao início da reação [...]”*. O caminho I é comparado a uma reação mais lenta, mas que envolve menor gasto de energia: “*caminho I: [...] em função do percurso, a mesma é lenta, demandando pouca energia até chegar ao topo*”. Por sua vez, o caminho II é comparado com uma reação rápida que demanda maior gasto de energia: “*caminho II: [...] como o caminho é direto a reação é rápida, demanda muita energia até chegar ao final da reação*”. Colocadas no contexto da lei de Hess, essas associações estão incorretas, visto que a quantidade de energia envolvidas nas reações só depende do seu estado inicial e final, independentemente se a reação for realizada de forma direta ou dividida em etapas. Apesar disso, é uma conclusão pertinente, pois possivelmente uma subida vertical da montanha demandaria mais força e energia. Contudo, essa característica não deveria ser relacionada ao conceito científico, pois o objetivo é comparar a determinação da altura da montanha e não a força requerida para subir. Como consequência, o **significado conotativo** apresentado por L4 foi no sentido oposto da lei de Hess: “*os diferentes*

caminhos representam a diferença de energia demandada para que a reação aconteça”.

Por fim, L4 afirma que existem limitações na analogia e diz que a quantidade de energia empregada dependerá de como ela será fornecida: “a quantidade de energia empregada depende de como ela será fornecida, conforme a figura tem um homem no pé da montanha, dessa forma depende da quantidade de energia e trabalho que será fornecida”. Não compreendemos o que L4 quis dizer com essa explicação e nem como a energia envolvida na reação dependeria da forma como ela é obtida. O Quadro 51 sintetiza a construção de significados por L4 a partir da analogia 4.

Quadro 51 – Construção de significados por L4 em relação a analogia pictórica 4.

Inventário Denotativo	Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas	
		Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos
<i>Dois caminhos: Caminho I: mais longo e lento; Caminho II: mais curto e rápido.</i>	<i>Caminho I: mais inclinado e maior facilidade de alcançar o topo; Caminho II: caminho reto, exige maior esforço para atingir o topo.</i>	<i>O início do caminho / o pé da montanha →</i>	<i>Início da reação</i>
		<i>Caminho I →</i>	<i>Reação mais lenta e que demanda menos energia</i>
		<i>Caminho II →</i>	<i>Reação direta e rápida que demanda muita energia</i>
Significado Denotativo		Significado Conotativo	
<i>A imagem mostra uma montanha que apresenta dois caminhos distintos: Caminho I: caminho com maior tempo de percurso, demorado. Caminho II: caminho direto com menor tempo de percurso.</i>		<i>Os diferentes caminhos representam a diferença de energia demandada para que a reação aconteça.</i>	

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 51 e as discussões anteriores, as relações estabelecidas por L4 entre a imagem e a lei de Hess estão incorretas, o que levou a um significado conotativo igualmente incorreto do ponto de vista científico. A única associação correta foi entre a base da montanha e o início de uma reação, porém, as demais relações necessárias para a compreensão da analogia não foram realizadas. O título da imagem, que direciona a analogia para a comparação entre a determinação da altura e a lei de Hess não foi levada em conta, pois isso não é citado em nenhum

momento por L4. A partir das respostas, inferimos que houve um problema quanto à interpretação da imagem e quanto a compreensão do conteúdo científico, pois L4 indica não compreender o princípio da lei de Hess.

Análise e discussão dos dados de L5

Quadro 52 – Respostas de L5 ao questionário 4

Lei de Hess comparada a determinação da altura de uma montanha.



Para chegar ao topo da montanha, vamos considerar dois caminhos possíveis: caminho I, que é a trilha já existente, e caminho II, que exige a escalada da montanha (portanto, deve-se vencer a altura verticalmente). O caminho II, apesar de direto, pode dar mais trabalho, pois requer, além de cordas e ganchos, habilidade do alpinista. Por outro lado, o caminho I, apesar de não ser direto, apresenta maior facilidade..."

1. Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Montanha, uma pessoa com dúvida de qual caminho irá seguir.
2. Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: O ponto II, como é direto, possui uma etapa e o ponto I, como é indireto, possui duas etapas.
3. Explique o significado literal da imagem.

R: Os pontos de partidas são diferentes, porém chegam no mesmo destino.
4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: O ponto de partida II a reação química acontece em uma etapa, sendo um caminho direto, e o ponto de partida I possui duas etapas, sendo um caminho indireto.
5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: A variação de entalpia depende apenas do seu estado inicial e final.
6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: Há alguns pontos que confundem a maneira de pensar.

Fonte: Autora (2023).

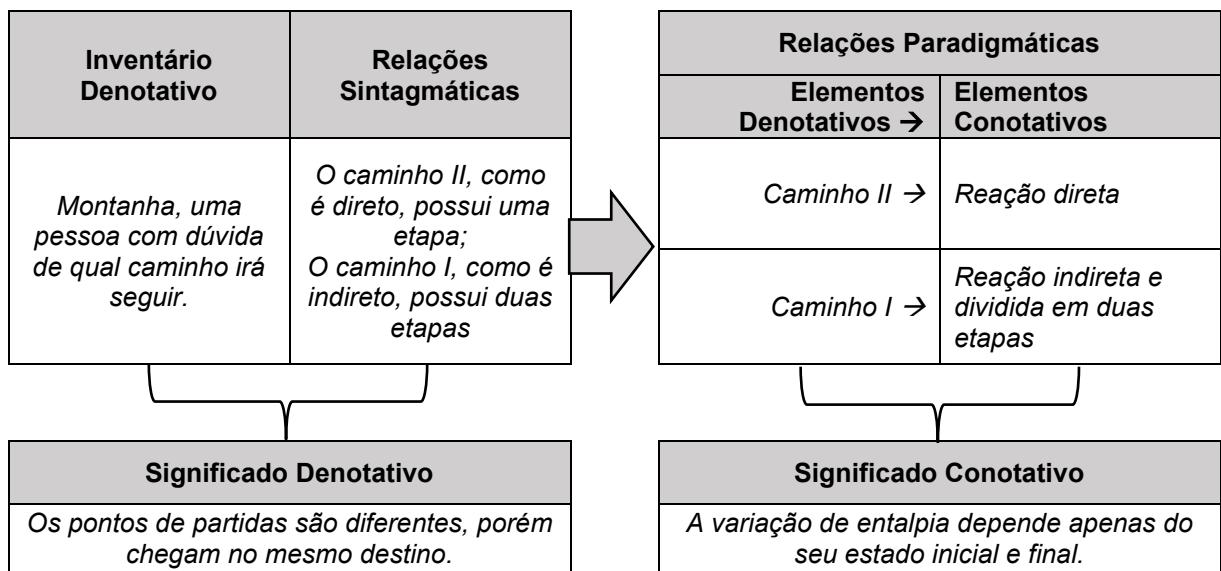
No **inventário denotativo**, L5 cita: “*montanha, uma pessoa com dúvida de qual caminho irá seguir*”. Embora não mencione a existência de dois caminhos distintos, isso fica subentendido quando cita a dúvida sobre qual caminho a pessoa irá seguir. As **relações sintagmáticas** apresentadas por L5 foram: “*o ponto II, como é direto, possui uma etapa e o ponto I, como é indireto, possui duas etapas*”. Ao falar sobre o caminho indireto, L5 indica que ele possui duas etapas. Supomos aqui, que o corte na lateral da montanha tenha levado L5 a inferir a divisão do caminho em duas etapas. O **significado denotativo** alcançado por L5 foi que “*os pontos de partidas são diferentes, porém chegam no mesmo destino*”. No entanto, o início e a chegada dos dois caminhos são iguais, pois ambos se iniciam na base da montanha e levam ao topo, e o que difere é o caminho percorrido.

Nas **relações paradigmáticas**, L5 associa corretamente o caminho II com uma reação direta: “*o ponto de partida II a reação química acontece em uma etapa, sendo um caminho direto*” e o caminho I com uma reação indireta “*o ponto de partida I possui duas etapas, sendo um caminho indireto*”. No entanto, L5 não relaciona a determinação da altura da montanha com a determinação da entalpia e nem cita a energia envolvida nas reações químicas.

No **significado conotativo**, L5 apresenta corretamente a ideia da lei de Hess: “*a variação de entalpia depende apenas do seu estado inicial e final*”. Ao ser questionado sobre as limitações da analogia, L5 diz que “*há alguns pontos que confundem a maneira de pensar*”, mas não explica quais são.

O Quadro 53 sintetiza a construção de significados por L5 a partir da analogia 4.

Quadro 53 – Construção de significados por L5 em relação à analogia pictórica 4



Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 53, L5 apresenta o significado conotativo correto do ponto de vista científico e apresenta duas relações paradigmáticas corretas. Apesar disso, L5 não menciona a entalpia durante a construção do significado e não fala sobre a determinação da altura da montanha. Embora ele mostre compreender a lei de Hess, a analogia não foi estabelecida com a imagem. Isso é confirmado quando L5 diz que a analogia “*confunde a maneira de pensar*”.

Considerações e Limitações da Analogia 4

Conforme discutimos ao realizar a leitura semiológica da analogia pictórica 4, ela possibilita muitas associações com a lei de Hess, mas são associações complexas que exigem a compreensão do contexto análogo. Nenhum dos licenciandos que participou da pesquisa mostrou entender que o significado denotativo se referia a determinação da altura da montanha depender apenas da diferença entre a altitude inicial e final. Essa questão é a essência da analogia, pois isso permite a comparação com a determinação da variação da entalpia, que depende apenas do estado inicial e final das reações. Ponderamos que o texto que acompanha a analogia não é suficientemente claro e não explica essa relação.

A esse respeito, entendemos ser importante retomar a questão da ambiguidade das imagens, discutida no referencial teórico da tese. A imagem é

ambígua e o texto possui a função de ancorá-la, ou seja, de direcionar sua interpretação para o contexto pretendido. Quando se trata de imagens utilizadas em analogias, isso se torna ainda mais pronunciado, pois o texto precisa ancorá-la tanto denotativa quanto conotativamente. Isso equivale a dizer que a explicação verbal, principalmente nas analogias pictóricas que se baseiam em relações de similaridade funcionais, necessita evidenciar o comportamento, o funcionamento e as demais características do análogo e, adicionalmente, direcionar para o domínio alvo. Além disso, Penn (2002) indica que na leitura semiológica nenhum elemento da imagem, incluindo o texto que a acompanha, deve ser deixado de fora. Porém, evidenciado pela análise dos dados dos licenciandos, o título da analogia, que indicava a comparação da altura da montanha com a lei de Hess, não foi foco de atenção dos participantes.

Apesar disso, algumas relações que consideramos essenciais foram identificadas. Os cinco licenciandos associaram os diferentes caminhos com reações químicas que podem ser realizadas em uma ou mais etapas e o início e final dos caminhos da montanha com, respectivamente, o início e final das reações. Isso auxilia na compreensão de que uma mesma reação pode ser realizada em uma ou mais etapas.

No entanto, outras associações, possibilitadas pelas características da imagem, foram realizadas pelos licenciandos e levaram a conclusões equivocadas do conceito científico: L1 relacionou a diferença da distância percorrida nos caminhos I e II com a variação de entalpia nas reações realizadas em uma ou mais etapas, e a distância será diferente em cada caminho; L2 associou a quantidade de energia e o tempo que a pessoa irá gastar dependendo do caminho com a energia e tempo gasto nas reações; L3, de maneira similar a L2, associou o caminho I com uma reação dividida em etapas, que seria mais lenta e que demandaria menos energia, e o caminho II com uma reação direta, que seria mais rápida e demandaria mais energia. Como essas associações são possíveis e fundamentadas em inferências acerca das características do análogo, consideramos como limitações da analogia pictórica, pois são aspectos que não devem ser relacionados com a lei de Hess.

Com exceção de L4, os licenciandos apresentaram os princípios da lei de Hess, mostrando que compreendem o conceito. Ainda assim, fizeram associações incorretas, evidenciando que, ao optar por utilizar essa analogia para fins de ensino e aprendizagem, é necessário garantir que o domínio análogo seja familiar

aos estudantes, visto que todos os participantes da pesquisa indicaram não compreender, e explicitar as relações de similaridade com o conceito científico abordado, que não se mostraram intuitivas e simples de serem realizadas.

As relações sintagmáticas e paradigmáticas que podem levar a uma conotação incorreta e, portanto, as limitações da analogia, estão resumidas no Quadro 54.

Quadro 54 – Limitações da analogia pictórica 4

Relações Sintagmáticas	Relações Paradigmáticas		Significado Conotativo
	Elementos Denotativos →	Elementos Conotativos	
Caminho I mais longo e Caminho II mais curto	Distância percorrida nos caminhos I e II →	Variação de entalpia	
Caminhos diferentes que parecem exigir mais ou menos esforço	Quantidade de energia que a pessoa irá gastar dependendo do caminho →	Quantidade de energia gasta nas reações dependendo do percurso escolhido	
Caminho menos íngreme, subida pela lateral da montanha	caminho I demandando menos energia →	Reação dividida em etapas demandando menos energia	
Caminho íngreme, subida vertical da montanha	caminho II demandando mais energia →	Reação direta demandando mais energia	A variação da entalpia difere se a reação ocorrer de forma direta ou indireta.

Fonte: Autora (2023).

Conforme o Quadro 54, foram identificadas quatro características do análogo que podem levar a uma compreensão divergente da pretendida e, consequentemente, gerar equívocos conceituais. A distância entre a base da montanha e o topo é diferente nos dois caminhos apresentados na imagem, mas isso não deve entrar em correspondência com a variação de entalpia. A altura no topo da montanha é que deve ser comparada com a variação de entalpia, ao passo que a diferença de altitude entre o ponto inicial e final independe do caminho percorrido. A inferência de que a escalada da montanha exige mais gasto energético do que subir pela trilha lateral, também não pode ser relacionada com diferença de energia envolvida em uma reação direta ou indireta, pois leva a crer que a variação de entalpia difere dependendo do caminho da reação. Nesse sentido, a subida menos íngreme pela lateral da montanha comparada a subida vertical aponta para demandas

energéticas distintas e culminam na compreensão equivocada do conceito científico em questão.

6.5 DISCUSSÃO GERAL

Nesta seção, traremos uma discussão geral dos resultados encontrados e das percepções acerca das analogias investigadas, da estratégia de análise de analogias pictóricas, elaborada segundo os fundamentos da semiologia e sistematizada no instrumento analítico, e da validação comunicativa realizada por meio do questionário.

Ao investigar as analogias pictóricas selecionadas para esta tese, foram evidenciadas algumas diferenças importantes entre as que se baseiam em relações de similaridade do tipo funcional e estrutural. Respaldados por Penn (2002), entendemos que a interpretação de uma imagem será sempre subjetiva, dada sua natureza ambígua e polissêmica, razão pela qual o registro verbal é necessário para ancorá-la. Assim, entendemos que, na analogia pictórica, a linguagem assume uma dupla função mediadora, ao atribuir valor a imagem, no sentido proposto por Barthes (2012), em dois domínios de conhecimento distintos, o análogo e o alvo. Com isso, queremos dizer que o texto ou a explicação oral tem a função de contextualizar a imagem tanto em relação a denotação quanto a conotação. Contudo, notamos que essa dupla função se mostra mais pronunciada nas analogias funcionais do que nas estruturais.

Nas analogias estruturais, as similaridades entre análogo e alvo são em termos de construção e aparência, como forma e organização espacial. Por essa razão, o significado denotativo, ou literal, é relativamente intuitivo e não exige entendimentos relacionados ao funcionamento do sistema representado. Tomemos como exemplo a analogia que compara o modelo atômico de Rutherford com o sistema solar. Para realizar as associações, não é necessário que se saiba como funciona o sistema solar, mas apenas compreender como é a disposição dos elementos que o compõem. Portanto, cabe ao registro verbal colocar a imagem utilizada para representar o análogo dentro do contexto de ensino do referido modelo atômico. Por sua vez, ao analisar as analogias do tipo funcionais, ficou evidente a importância do texto que a acompanha não somente para trazer a representação do

análogo para o contexto alvo, mas também para explicar aspectos do funcionamento do análogo que precisam ser considerados para que a analogia seja possível.

O princípio das analogias do tipo funcional é o compartilhamento de funções semelhantes, como funcionamento, comportamento e intensidade. Portanto, a comparação entre os domínios é menos intuitiva e exige uma compreensão mais aprofundada do análogo. Tendo em vista essa complexidade adicional, entendemos que a explicação verbal precisa retirar a ambiguidade da imagem empregada, direcionar a interpretação e destacar aspectos importantes que precisam ser levados em conta antes de serem comparados com o conceito científico. Conforme vimos nas análises e discussões da analogia pictórica 4, por exemplo, a falta de explicações consistentes acerca do funcionamento do domínio que deveria ser familiar aos estudantes fez com que nenhum licenciando identificasse o princípio da analogia investigada.

Outro aspecto que observamos em relação às diferenças entre os tipos de analogias diz respeito a como as associações por similaridade, ou relações paradigmáticas, ocorrem. Retomando o que foi discutido no capítulo 3, as relações paradigmáticas podem se estabelecer de maneira denotativa ou conotativa. Em se tratando de analogias pictóricas, o objetivo é que as associações sejam realizadas no âmbito da conotação, visto que se intenciona partir do significado literal de uma imagem, que é familiar ao sujeito, para alcançar o significado adicional desconhecido. Entretanto, notamos dentro do agrupamento paradigmático conotativo uma subdivisão. Nas analogias, os grupos associativos, ou paradigmas, podem derivar de elementos estruturais ou aspectos funcionais. Entendemos que isso equivale ao exemplo dado por Saussure (2012) ao dizer que um grupo associativo de uma palavra pode ser criado em função de elementos comuns, como ensinamento, lento e armamento, que possuem o mesmo sufixo ‘ento’, ou pelo significado, como ensinamento, aprendizagem e educação. Nesse sentido, as relações paradigmáticas estruturais derivam de elementos, equivalentes ao sufixo ou radical de uma palavra por exemplo, enquanto as relações paradigmáticas funcionais se referem ao âmbito do significado.

Ainda sobre as analogias investigadas, constatamos diversas limitações, ou seja, características não compartilhadas entre análogo e alvo, que podem levar a conclusões equivocadas se associadas com aspectos do conteúdo não familiar. Também verificamos que muitas delas não foram identificadas pelos

participantes da pesquisa e resultaram em incoerências em relação ao conteúdo abordado. Esse fato, pode levar a questionamentos sobre as inconveniências de utilizar analogias no ensino. Todavia, enxergamos as limitações como um potencial para abrir discussões dos domínios da analogia de forma que a aprendizagem se faça também pelas diferenças entre os conhecimentos. Mas, para isso, é necessário que haja uma tomada de consciência das limitações por parte de quem faz a mediação da analogia.

Em relação ao resultado teórico-metodológico da tese, defendemos que, diante das análises e discussões apresentadas, o instrumento analítico fundamentado nos princípios da semiologia mostrou-se eficiente para identificar possibilidades analógicas de analogias pictóricas utilizadas no ensino de ciências, além de definir quais são as relações essenciais entre os domínios comparados para alcançar o conceito científico a que se refere. Entendemos que investigar a natureza construída da imagem, ou seja, inventariar todos os elementos que a compõem e atribuir-lhes significados dentro dos dois domínios comparados pela analogia, favoreceu um olhar mais crítico e atento para aspectos que dificilmente seriam percebidos em um emprego espontâneo ou não planejado da analogia pictórica em sala de aula. Ademais, constatamos que sistematizar o caminho interpretativo permitiu uma visualização geral da analogia, de maneira que foi possível definir quais relações são necessárias para a compreensão e, adicionalmente, prever possíveis limitações que precisam ser explicitadas para não prejudicar o processo de aprendizagem.

Destacamos que a leitura de imagens é idiossincrática e, portanto, diferentes sujeitos podem percorrer caminhos interpretativos distintos. Contudo, quando a imagem é colocada dentro do ensino para representar um domínio análogo e estabelecer uma analogia com conceitos científicos, algumas comparações de similaridade são essenciais para que ela alcance seu objetivo comunicativo, no caso facilitar a compreensão de conceitos difíceis. Diante disso, depreendemos que a ferramenta é capaz de auxiliar professores na definição das associações fundamentais, na predição de limitações, e que uma leitura mais aprofundada e sistematizada das analogias permite ainda a identificação de relações de similaridade adicionais, que enriquecem ainda mais a analogia.

Em relação ao questionário proposto aos licenciandos, formulado para realizar uma validação comunicativa das analogias, ou seja, investigar os conhecimentos compartilhados em um grupo específico de pessoas, constatamos que

permitiu perscrutar como ocorreu a construção de significados a partir das analogias investigadas. Ao conduzir os estudantes para uma leitura semiológica, identificamos associações e conotações indesejadas e, com isso, foi possível definir quais características da imagem o levou a esse resultado. Consideramos que a ferramenta suscitou ainda a exposição de equívocos conceituais que uma leitura superficial das analogias não teria exposto. Por conseguinte, entendemos que se for utilizado durante a instrução, pode fornecer informações para que o professor seja capaz de intervir para que interpretações divergentes da pretendida sejam solucionadas e que não sejam reforçadas concepções alternativas.

Por fim, observamos que, em muitos casos, quando solicitados a dizer o significado que as analogias buscavam conotar, os licenciandos apresentaram respostas compatíveis com o conceito científico em questão. Porém, ao tentar estabelecer relações analógicas, mostravam dificuldades ou apresentavam incoerências. Não obstante, ressaltamos que o educador deve ter em mente que as relações de similaridade entre os domínios comparados de uma analogia podem não ser claras para os estudantes. Portanto, entendemos que provocar uma leitura semiológica é uma estratégia fértil para que o entendimento das analogias seja mais aprofundado, para que o professor possa acompanhar a construção de significados pelos estudantes e, principalmente, para que as analogias efetivamente auxiliem o processo de ensino e aprendizagem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dadas as diversas ideias e conceitos abstratos envolvidos nas disciplinas científicas, o uso e a articulação de multimodos e múltiplas representações se justifica pela concordância de que cada representação atende a diferentes necessidades em relação ao pensamento e comunicação dentro dessa área do conhecimento. Da mesma forma, é consenso na literatura que certos tipos de representações ou modos de apresentar o conteúdo são capazes de potencializar uma aproximação com a estrutura cognitiva de um aluno ao se valer de seus conhecimentos prévios, como é o caso das analogias que as figuras podem vir a produzir.

Todavia, é essencial compreender, seja qual for o modo ou forma de representação utilizado, que há uma distância entre o que a representação estimula e o que os estudantes precisam pensar para interpretá-las e vinculá-las ao conteúdo. Por conseguinte, é necessário o professor traçar estratégias que auxiliem a superar os obstáculos que se manifestam no processo de aprendizagem. Ademais, é preciso incluir os desafios que se apresentam aos professores quando trabalham com as diferentes representações, pois a maneira como entendem e utilizam cada recurso representacional no ensino é determinante para favorecer, ou não, a aprendizagem.

Diante disso, entendemos que a semiologia é uma referência cognitiva que fornece recursos para compreender a construção de sentidos a partir das diversas representações usadas na ciência. Conforme vimos, a linguagem molda o pensamento, mas a linguagem científica tem como característica ser multimodal e multirepresentacional. Logo, é natural que os recursos semióticos mobilizados no discurso científico sejam compreendidos como sistemas organizados de signos, os quais contribuem, cada qual a seu modo, para formar um sistema único de construção de significados científicos.

Ora, o ensino e aprendizagem de ciências implica em compreender as diversas representações utilizadas nesse domínio de conhecimento e o que significam. Isso requer de quem ensina um entendimento aprofundado sobre o processo de significação, ou seja, de como determinada representação é capaz de produzir sentido na direção do conteúdo em estudo. As analogias pictóricas, em particular, são um modo frequentemente utilizado em várias mídias e em materiais instrucionais didáticos para apresentar e comunicar conceitos científicos, que

mobilizam necessariamente representações imagéticas e verbais.

Nesse direcionamento, esta tese buscou investigar *quais são os conhecimentos e relações, subjacentes às analogias pictóricas, necessários para que o leitor aprendiz compreenda o conceito científico pretendido; como os licenciandos em química constroem os significados a partir das analogias pictóricas; e quais são as limitações das analogias pictóricas investigadas.*

Sustentados pelos referenciais teóricos que discutem o emprego de analogias e representações imagéticas no ensino e aprendizagem de ciências, vimos a necessidade de uma estratégia analítica que permitisse analisar as analogias pictóricas de modo a caracterizar os domínios comparados, identificar as relações necessárias para que o estudante compreenda o conceito científico pretendido e reconhecer as limitações existentes. Diante disso, propusemos um instrumento analítico, formulado segundo os referenciais da semiologia, para investigar a construção de significados a partir de analogias pictóricas utilizadas no ensino de química.

A leitura semiológica nos permitiu diferenciar os conhecimentos subjacentes às analogias pictóricas, ou diferentes saberes referentes aos domínios análogo e alvo, ao comprehendê-los, à luz do referencial de Barthes (2012), como resultados de processos de significação distintos implicados em uma mesma representação, no caso a denotação e a conotação.

Sob outra perspectiva, mas ainda semiológica, analisamos a imagem segundo os eixos estruturantes da linguagem propostos por Saussure (2012), os quais concluímos ser também eixos estruturantes da imagem. Isso possibilitou identificar as relações necessárias para nos movermos do domínio análogo ao alvo ou, respectivamente, do âmbito denotativo em direção ao conotativo. A leitura semiológica permitiu depreender as possibilidades analógicas das representações imagéticas investigadas nesta tese e presumir associações indesejadas, mas possíveis, que levariam a divergências do conceito científico pretendido.

No decorrer da pesquisa, nos deparamos com o fato evidente de a construção de significados ser algo particular de cada sujeito, e que o caminho interpretativo depende de uma série de fatores, como os conhecimentos que cada um possui e da atribuição de sentido dada a representação da analogia. Pautados em Barthes (2012), Coelho Netto (2003) e Penn (2002), entendemos que o sentido de uma representação é delimitado por uma relação solidária com o contexto no qual

aparece e subordinada a um processo individual de significação. Por essa razão, submetemos as analogias pictóricas investigadas na tese a uma validação comunicativa com estudantes de licenciatura em química. A partir do questionário, com o qual os participantes da pesquisa foram conduzidos a realizar uma leitura semiológica, conseguimos perscrutar o processo de significação trilhado pelos licenciandos. Isso possibilitou verificar se as relações pertinentes para a compreensão foram realmente estabelecidas e identificar outras, decorrentes das características da representação imagética, que resultaram em equívocos conceituais. Essas últimas, contrastadas com as associações indesejadas presumidas anteriormente, permitiu inferir as limitações das analogias pictóricas.

Neste trabalho, a partir do ponto de vista das reflexões elaboradas, concluímos a viabilidade do instrumento analítico proposto para compreender de maneira mais aprofundada como os conhecimentos científicos são construídos por meio de analogias pictóricas. O trabalho procurou contribuir com campo de pesquisas em ensino e aprendizagem de ciências ao fornecer um instrumento para que professores possam analisar analogias pictóricas, ao optar por empregá-la no momento da instrução, antecipar as relações necessárias para compreensão e possíveis limitações, para serem posteriormente explicitadas aos estudantes. Além disso, concluímos que as perguntas elaboradas para o questionário proposto aos participantes da pesquisa também contribuem ao se mostrarem uma ferramenta fértil no acompanhamento do percurso de aprendizagem quando se utiliza esse modo representacional em específico.

Para finalizar, e como perspectiva futura de estudos que partem desta pesquisa, a leitura semiológica de analogias pictóricas poderia ser investigada como estratégia de ensino. Nesse sentido, pretendemos empregar o instrumento analítico desenvolvido nesta tese em sala de aula, durante o ensino, e investigar se a condução de uma leitura semiológica favorece a construção de conceitos científicos. Em um outro viés, vislumbramos também aprofundar a presente pesquisa para analogias estritamente verbais, ou seja, que não empregam representações imagéticas e nas quais a visualização do domínio análogo fica a cargo do aprendiz.

REFERÊNCIAS

- ACEVEDO, J. A. El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: La teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciências. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v.1, n.3, p.188–205, 2004.
- AINSWORTH, S. The functions of multiple representations. **Computers & Education**, Nottingham, v. 33, p. 131-152, 1999.
- AMADOR, F.; CARNEIRO, M. H. O papel das imagens nos manuais escolares de ciências naturais do ensino básico: uma análise do conceito de evolução. **Revista de Educação**, v. 8, n. 2, p. 119-129, 1999.
- ATKIN, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de química: questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- BARBOSA, E. K. M.; ROMERO, A. L.; MONTEIRO, P. C. Analogias relacionadas ao conteúdo-conceitual quantidade de matéria em livros didáticos de Química do Ensino Médio. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v11i10.27754>>. Acesso em set. de 2022.
- BARTHES, R. **Elementos de semiologia**. 19 ed. São Paulo: Cultrix, 2012.
- BEAN, T. W.; SEARLES, D.; SINGER, H.; COWEN, S. Learning Concepts from Biology Text Through Pictorial Analogies and an Analogical Study Guide. **The Journal of Educational Research**, v. 83, n. 4, p. 233-237, 1990.
- BOZZELI, F.K. ; NARDI, R. O discurso analógico no ensino superior de Física. In: NARDI, R. ; ALMEIDA, M.J.P.M. (org.). **Analogias, Leituras e Modelos no Ensino da Ciência: a sala de aula em estudo**. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.
- BRODEN, T. F. Sémiologie/sémiotique chez Saussure et Jakobson: concepts, filiation, débats. **Revista do GELNE**, v.19, n. Especial, p. 237-247, 2017.
- BROWN, D. E.; CLEMENT, J. Overcoming misconceptions via analogical reasoning: abstract transfer versus explanatory model construction. **Instructional Science**, v.18, n.4, p.237-261, 1989.
- CARMONA, A. G. The Use of Analogies in Science Communication: Effectiveness of an Activity in Initial Primary Science Teacher Education. **International Journal of Science and Mathematics Education**. v.19, n.8, p. 1543-1561, dez. 2021.
- CASSIANO, W. S. **Análise de imagens em livros didáticos de Física**. Brasília. 2002. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade de Brasília, 2002.
- LEVIN, J. R.; ANGLIN, G. J.; CARNEY, R. N. On empirically validating functions of pictures in prose. In: WILLOWS, D. M. ; HOUGHTON, H. A. (eds.), **The Psychology**

- of Illustration: I. Basic Research**, Springer, New York, p. 51–85, 1987.
- CARTER, J. **Como ver a olho nu o raro alinhamento de 5 planetas neste mês**. 2022. Disponível em : <<https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/06/como-ver-a-olho-nu-o-raro-alinhamento-de-5-planetas-neste-mes/>>. Acesso em dez. 2022.
- CARVALHO, S. A.; ARAGÃO, C. O. Os caminhos do letramento visual: uma análise de material didático virtual. **Revista Estudos Anglo-Americanos**, Florianópolis, UFSC, n. 44, p. 9-34, 2015.
- CLEMENT, J. Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with student's preconceptions in physics. **Journal of Research in Science Teaching**, v.30, n.10, p.1241-47, 1993.
- COELHO NETTO, J. T. **Semiótica, informação e comunicação**. 6.ed. São Paulo: Perspectiva S. A., 2003.
- COLIN, P.; VIENNOT, L. Reading images in optics: students 'difficulties and teachers' views. **International Journal Of Science Education**, London, n. 24, p. 313-332, 2002.
- CORRÊA, C. A. **Aprendizagem da conservação da energia mecânica à luz da leitura conotativa de um signo artístico**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.
- COSTA, M. A. Estruturalismo. In: MARTELOTTA, Mário Eduardo. **Manual de Linguística**. 2. ed. São Paulo, SP: Contexto, 2011. P. 113-126.
- CURTIS, R. V. When is a science analogy like a social studies analogy? A comparison of text analogies across two disciplines. **Instructional Science**, v.17, p. 169-177, 1988.
- CURTIS, R. V.; REIGELUTH, C. M. The use of analogies in written text. **Instructional Science**, v. 13, p. 99-117, 1984. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF00052380>>. Acesso em 22 jul. 2022.
- DAGHER, Z. R. Does the use of analogies contribute to conceptual change? **Science Education**, v.78, n. 6, p. 601-614, 1994.
- DISESSA, A. Metarepresentation: Native Competence and Targets for Instruction. **Cognition and Instruction**. 22(3): 293-331, 2004.
- DUARTE, M. C. Analogias na educação em ciências contributos e desafios. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10, n.1, p. 7-29, 2005.
- DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, v.75, n.6, p.649-672, 1991.
- DUVAL, R. **Semiosis y pensamiento humano: registros semióticos y**

- aprendizajes intelectuales.** Santiago de Cali: Universidad del Valle, 2004.
- ECO, U. A estrutura ausente.** 7 ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1997. 426p.
- 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**, vol.4, n.2, p.1-15, 2002.
- FERRAZ, D. F.; TERRAZZAN, E. A.** Uso espontâneo de analogias por professores de Biologia e o uso sistematizado de analogias: que relação? **Ciência & Educação** (Bauru), v. 9, n. 2, p. 213-227, 2003.
- FERRY, A. S. Análise estrutural e multimodal de analogias em uma sala de aula de química.** 2016. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- FIDALGO, A. Semiótica: a lógica da comunicação.** Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 1998.
- FIDALGO, A.; GRANDIM, A. Manual de semiótica.** Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2005.
- FONSECA, M. R. M. Química: Ensino Médio / Martha reis.** v.2, 1.ed. São Paulo: Ática, 2013. 428p.
- FOUCAULT, M. Isto não é um cachimbo.** 5ed. São Paulo: Editora Paz e Terra S/A, 2008.
- FRISON, M. D., et al.** **Livro didático como instrumento de apoio para construção de propostas de ensino de ciências naturais.** In: VII Enpec - Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2009, Florianópolis - SC. Anais do VII Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências. Florianópolis, 2009.
- GEE, J. P.** Language in the science classroom: Academic social languages as the heart of school-based literacy. In: **SAUL, E.W. (Ed.) Crossing borders in literacy and science instruction: Perspectives on theory and practice.** Newark DE: International Reading Association and National Science Teachers Association, 2004.
- GENTNER, D.** Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. **Cognitive Science**, v. 7, n. 2, p.155-170, 1983.
- GINESTE, M. D.; GILBERT, L.** Les analogies dans l'acquisition de concepts en biologie chez des élèves de 10-11 ans. **Didaskalia**, n. 7, p. 27-41, 1995.
- GIRALDI, P. M.; SOUZA, S. C.** O funcionamento de analogias em textos didáticos de biologia: questões de linguagem. **Ciência e Ensino**, v.1, n.1, 2006.
- GLYNN, S.M.** The teaching with analogies model. In **K.D. Muth (Ed.), Children's comprehension of text.** Newark, DE: International Reading Association, p. 185–204, 1989.

GLYNN, S.M. Explaining science concepts: a teaching-with-analogies model. In: GLYNN, S.M.; YEARNY, R.H.; BRITTON, B.K. (Orgs.). **The Psychology of Learning Science**. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, p.219-240, 1991.

GLYNN, S.M. Teaching Science With Analogy: A Strategy for Teachers and Textbook Authors. **Reading Research Report**, USA (National Reading Research Center. Universities of Georgia and Maryland), n. 15, 1994. Disponível em: <<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED373306.pdf>>. Acesso em jul. 2022.

GLYNN, S. M. Conceptual bridges: Using analogies to explain scientific concepts. **Science Teacher**, v. 62, n.9, p.24–27, 1995.

GOBERT, J.; CLEMENT, J. The effects of student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of spatial, causal and dynamic knowledge in plate tectonics. **Journal of Research in Science Education**, v. 36, n. 1, p. 39-53, 1999.

GONZÁLEZ, B. El modelo analógico como recurso didáctico en ciencias experimentales: The analogical model as a didactic resource in science education. **Revista Iberoamericana de Educación**, v. 37, n.2, p. 1–15, 2005.

GOUVEIA, A. A.; LABURÚ, C. E. A Aprendizagem Da Representação Dos Circuitos Elétricos Mediada Por Símbolos-Ponte. In: **ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**, 5., 2005. Bauru. Atas...Bauru: Abrapec, 2005.

GREGÓRIO, A. P. H. **Identificação e superação dos equívocos conceituais e procedimentais influenciados por affordances negativos no processo de ensino e aprendizagem de química**. 2021. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

HARDY, L. Plum pud. 2009. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/98983159@N00/4231586321>>. Acesso em dez. 2022.

HARRISON, A. G. JONG, O. Exploring the use of multiple analogical models When teaching and learning Chemical equilibrium. **Jornal of Research in Science Teaching**. V. 42, n. 10, p. 1135 – 1159, 2005.

HARRISON, A. G. Teaching with analogies: friends or foes? In: HARRISON, A. G.; COLL, R. K. (Orgs.). **Using analogies in middle and secondary science classrooms: The FAR guide-aninteresting way to teach with analogies**. California: Corwin. 2008. p. 6-21.

HERNANDES, J. L. Apropriação de conceitos de termoquímica Apoiados em relações sintagmáticas e Paradigmáticas. **Revista Ciências & Ideias**, v.10, n.2, p. 95-117, 2019.

HOLYOAK, K. J.; THAGARD, P. **Mental leaps: Analogy in creative thought**. Cambridge: Bradford, 1995.

ISSING, L.J.; HANNEMANN, J.; HAACK, J. Visualization by pictorial analogies in

understanding expository text. **Advances in Psychology**. V. 58, p. 195-214, 1989. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62155-X](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62155-X)>. Acesso em 25 jul. 2022.

ISSING, L.J. Learning from Pictorial Analogies. **European Journal of Psychology of Education**. v. 2, n. 4, p. 489-499, 1990.

JAIPAL, K. Meaning making through multiple modalities in a biology classroom: A multimodal semiotics discourse analysis. **Science Education**, p. 48–72, 2009.

JOHNSON, S. Complicar é uma ciência: a obscuridade e as antenas semióticas, **Folha de S. Paulo**, São Paulo, Caderno Ilustríssima, p.6, 20 abr. 2011.

JUSTI, R.; MENDONÇA, P. C. C. Usando analogias com função criativa: uma nova estratégia para o ensino de química. **Educació Química EdiQ**, n.1, p. 24-29, 2008.

JUSTI, R. Modelos e modelagem no ensino de Química: um olha sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In: SANTOS, W. L. P. S.; MALDANER, O. A. **Ensino de Química em Foco**. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 209-229.

KLEIN, P. D. Rethinking Rethinking the multiplicity of cognitive resources and curricular representations: Alternatives to “learning styles” and “multiple intelligences”. **Journal of Curriculum Studies**, v. 35, n. 1, p. 45–81, 2003.

KLEIN, T. A. S.; LABURÚ, C. E. Imagem e ensino de ciências: análise de representações visuais sobre DNA e biotecnologia segundo a retórica da conotação. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, n. 7, ENPEC, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis: ABRAPEC, p. 1-11, 2009.

KLEIN, T. A. S. **Perspectiva semiótica sobre o uso de imagens na aprendizagem significativa do conceito de biotecnologia por alunos do ensino médio**. 2011. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

KLEIN, T. A. S.; LABURÚ, C. E. Multimodos de representação e teoria da aprendizagem significativa: possíveis interconexões na construção do conceito de biotecnologia. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.14, n. 2, p. 137-152, ago-nov 2012.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas Representações, aprendizagem significativa e subjetividade: Três referenciais conciliáveis da educação científica. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 2, p. 469-487, 2011.

LABURÚ, C. E.; BARROS, M. A.; SILVA, O. H. M. Construção dos conceitos de física de estudantes apoiada em relações sintagmáticas e paradigmáticas. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 16, n. 1, p. 93–113, jan./abr. 2014.

LABURÚ, C. E.; GOUVEIA, A. A. A aprendizagem da representação dos circuitos elétricos mediada por símbolos-ponte. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação Científica, n. 5, 2005, Bauru: Abrapec, 2006.

LABURÚ, C. E.; SILVA, O. H. M. Multimodos e múltiplas representações: fundamentos e perspectivas semióticas para a aprendizagem. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 7-33, 2011.

LABURÚ, C. E.; ZÔMPERO, A. F.; BARROS, M. A. **Vygotsky e Múltiplas Representações: Leituras Convergente para o Ensino De Ciências**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 1, p. 7-24, abr. 2013.

LEMKE, J. L. Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In MARTIN, J. R.; VEEL, R. (Eds.). **Reading science: functional perspectives on discourses of science**. London: Routledge. 1998.

LEMKE, J. L. **Teaching all the languages of Science: Words, symbols, images, and actions**. CONFERENCE ON SCIENCE EDUCATION. 1998, Barcelona. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jay-Lemke/publication/270904608_Teaching_All_the_Languages_of_Science_Words_Symbols_Images_and_Actions/links/54b998070cf2d11571a4b624/Teaching-All-the-Languages-of-Science-Words-Symbols-Images-and-Actions.pdf>. Acesso em: jul. 2022.

LEMKE, J. L. Mathematics in the middle: Measure, picture, gesture, sign, and word. In ANDERSON, M.; SÀENZ-LUDLOW, A.; ZELLWEGER, S.; CIFARELLI, V. V. (Eds.), **Educational perspectives on mathematics as semiosis**: From thinking to interpreting to knowing. Ottawa: Legas Publishing, 2003. p. 215-234.

LOPES, C. V. M.; MARTINS, R. A. J. J. Thomson e o uso de analogias para explicar os modelos atômicos: o 'pudim de passas' nos livros texto. In: **Anais VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Florianópolis, SC, 2009.

MARTINS, I. O papel das representações visuais no ensino-aprendizagem de ciências. Em: **Atas Do Encontro De Pesquisa Em Ensino De Ciências**, Águas De Lindóia (SP), 366-373, 1997.

MARTINS, I.; GOUVÉA, G.; PICCININI, C. Aprendendo com imagens. **Ciência e Cultura**, v. 57, n. 4, p. 38-40, 2005.

MAYER, R. E. Y.; GALLINI, J. K. When Is An Illustration Worth Ten Thousand Words. **Journal Of Educational Psychology**, Washington, n. 82, p. 715-726, 1990.

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

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. Mudança conceitual: análise crítica e propostas à luz da teoria da aprendizagem significativa. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 301-315, 2003.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: da visão clássica à visão crítica**. Conferência de encerramento do V Encontro Internacional sobre Aprendizagem

Significativa, Madrid, Espanha, setembro de 2006 e do I Encuentro Nacional sobre Enseñanza de la Matemática, Tandil, Argentina, abril de 2007. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~moreira/visaooclasicavisaocritica.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022.

MORTIMER, E. F.; et al. Interações entre modos semióticos e a construção de significados em aulas de ensino superior. **Revista Ensaio**. V. 16, n.3. Belo Horizonte, 2014. P. 121-145.

MOZZER, N. B. **O ato criativo de comparar: um estudo das analogias elaboradas por alunos e professores de ciências**. 2008. Dissertação (Mestrado em Educação), Faculdade de Educação da UGMG, Belo Horizonte.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. Science teachers' analogical reasoning. **Research in Science Education**, v.43, n.4, p.1689-1713, 2013.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. S. "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, 2015.

MOZZER, N. B.; JUSTI, R. S. Modelagem analógica no ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, Belo Horizonte, v. 23, n. 1, p. 155-182, abr. 2018.

OLIVA, J. M. El pensamiento analógico desde la investigación educativa y desde la perspectiva del profesor de ciencias. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 3, 363-384, 2004.

OSBORNE, R. J.; WITTROCK, M.C. Learning science: a generative process. **Science Education**, v. 67, n.4, p. 489-508, 1983.

OTERO, M. R.; MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. El uso de imágenes en textos de física para La enseñanza secundaria y universitaria. **Investigações em Ensino de Ciências**, 7 (2), 2002.

PACCA, J. L., et al. Corrente Elétrica E Circuito Elétrico: Algumas Concepções Do Senso Comum. **Caderno Brasileiro De Ensino De Física**, Florianópolis, n. 20, p. 151-167, 2003.

PALLACIOS, F. J, P. Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 24, n. 1, p. 13-30, 2006.

PALLACIOS, F. J, P.; JIMÉNEZ, J. D. Las ilustraciones em la enseñanza-aprendizaje de las ciências. Análisis de libros de texto. **Enseñanza de las ciências**, 20 (3), 369-386, 2002.

PENN, G. Análise semiótica de imagens paradas. In: BAUER, M. W.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. 2. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002. p. 319-342.

PERUCCI, L. R. **Eixos estruturantes da linguagem e as paráfrases para a**

apropriação de conceitos de matéria e energia nos ecossistemas. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

PERUZZO, F. M; CANTO, E. L. do. **Química na abordagem do cotidiano: Química Geral e Inorgânica.** v1. 4ed. Moderna: São Paulo, 2006. 408p.

PETERSON, M. Schemes for Integrating Text and Image in the Science Textbook: Effects on Comprehension and Situational Interest. **International Journal of Environmental and Science Education**, v. 11, n. 6, p. 1365-1385, 2016.

PETERSON, M. How to do things with pictures: the experience of challenging imagery in visual media. **Dialectic**, v.1., n. 2, p. 14-35, 2017.

PETERSON, M. Aspects of visual metaphor: an operational typology of visual rhetoric for research in advertising. **International Journal of Advertising**, v. 38, n. 1, 2018.

PETERSON, M.; DELGADO, C.; TANG, K. -S.; BORDAR, C.; NORVILLE, K. **A taxonomy of cognitive image functions for science curriculum materials: identifying and creating ‘performative’ visual displays.** **International Journal of Science Education**, v.43, n.2, p.314-343, 2021.

PINTÓ, R.; AMETLLER, J. Students' difficulties in readings images. Comparing results from four national research groups. **International Journal Of Science Education**, London, n. 24, p. 333-341, 2002.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accommodation of scientificconception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66 n. 2, p. 221-227, 1982.

PRAIN, V.; WALDRIP, B. Na exploratory study of teachers' and students' use of multi-modal representations of concepts in primary Science. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 15, p. 1843-1866, 2006.

RAMOS, T. C.; MOZZER, N. B. Análise do Uso da Analogia com o “Pudim de Passas” Guiado pelo TWA no Ensino do Modelo Atômico de Thomson: considerações e recomendações. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v.40, n.2, p.106-115, maio 2018.

RAMOS, T. C.; MENDONÇA, P. C. C. MOZZER, N. B. Argumentação de estudantes na criação e crítica de analogias sobre o Modelo Atômico de Thomson. **Revista Ciência & Educação**, v. 25, n. 3, p. 607-624, 2019.

RAVIOLI, A.; GARRITZ. Analogías en la enseñanza del equilibrio químico. “Ensenanza de las Ciencias: Perspectivas Iberoamericanas”. **Revista Educación Química en Línea**, v. 18, n. 1, p. 16-29, 2007.

RAVIOLI, A.; GARRITZ, A. Analogias no ensino de equilíbrio químico. **Química Nova na Escola**. n. 27, 2008.

- RUTHERFORD, E. The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom. **Philosophical Magazine**, v. 6, n. 21, p. 669–688. 1911.
- SHAH, P.; HOEFFNER, J. Review of graph comprehension research: implication for instruction: education. **Psychology Review**, Washington, n. 14, p. 47-69, 2002.
- SANTAELLA, L. **O que é semiótica**. São Paulo: Brasiliense, 2005.
- SAUSSURE, F. de. **Curso de linguística geral**. 34. ed. São Paulo: Cultrix, 2012. 312p.
- SHULMAN, L. S. Those who understand: knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 4, p. 414, 1986.
- SILVA, H. C. Lendo imagens na educação científica: construção e realidade. **Pro-Posições**, v. 17, n. 1 [49], p. 71-83, jan./abr., 2006.
- SIQUEIRA, M. PIETROCOLA, M. Espalhamento de Rutherford na sala de aula do Ensino Médio. **Física na Escola**, v. 11, n. 2, p. 9-11. 2010.
- LIN, S. H.; SHIAU, B. R.; LAWRENZ, F. The Effectiveness of Teaching Science with Pictorial Analogies. **Research in Science Education**, v. 26., n. 4, p. 495-511, 1996.
- SOUZA, V. C. A.; JUSTI, R. C.; FERREIRA, P. F. M. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os estudantes pensam a partir delas. **Investigação em Ciências**, v. 11, n. 1, p. 7-28, 2006.
- STYLIANIDOU, F., ORMEROD, F.; OGBORN, J. Analysis of science textbook pictures about energy and pupils readings of them. **International Journal Of Science Education**, London, n. 24, p. 257-283, 2002.
- SWELLER, J.; CHANDLER, P.; TIERNEY, P.; COOPER, M. Cognitive Load as a Factor in the Structuring of Technical Material, **Journal of Experimental Psychology: General**, vol. 119, p. 176 – 192, 1990.
- TAYLOR, C.; DEWSBURY, B. M. On the problem and promise of metaphor use in science and science communication. **Jornal of Microbiology e Biology Education**. v.19, n.1, março, 2018. Disponível em: <<https://journals.asm.org/doi/10.1128/jmbe.v19i1.1538>>. Acesso em Júlio de 2022.
- THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. **Using analogies in secondary chemistry teaching**. Eric Document Reproduction, Service No. ED 349 164, 1991. Disponível em: <<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED349164.pdf>>. Acesso em 25 jul. 2022.
- THIELE, R. B.; TREAGUST, D. F. An interpretative examination of high school chemistry teachers “analogical explanations”. **Journal of Reserch in Science Teaching**, v. 31, n. 3, p. 227-242, 1994.

TREAGUST, D. F., HARRISON, A. G., VENVILLE, G. J., and DAGHER, Z. Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. **International Journal of Science Education**, 18, 213–229, 1996.

TREAGUST, D. F.; HARRISON, A.G.; VENVILLE, G.J. Teaching science effectively with analogies: an approach for pre-service and in-service teacher education. **Journal of Science Teacher Education**, v.9, n.1, p.85-101, 1998.

SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. **Química cidadã**. Vol 1, 3^a ed. São Paulo: Editora AJS, 2016.

SOUZA, Marcen de Oliveira; SILVEIRA, Eliane. As cartas de Saussure: um lugar singular em sua produção. **Estudos Linguísticos**, São Paulo, v. 49, n. 3, p. 1727-1742, dez. 2020.

TOMIO, D.; GRUMES, C.; RONCHI, D. L.; PIAZZA, F.; REINICKE, K.; PECINI, V. As imagens no ensino de ciências: o que dizem os estudantes sobre elas? **Caderno pedagógico**, Lajeado, v. 10, n. 1, p. 25-40, 2013.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; PETERSON, S. Picturing evaporation: learning science literacy through a particle representation. **Teaching Science**, v. 52, n. 1, p. 12-17, 2006.

TYTLER, R.; PRAIN, V.; PETERSON, S. Representational issues in students learning about evaporation. **Research in Science Education**, v. 37, n. 3, p. 313-331, 2007.

UNSWORTH, L. **Teaching multiliteracies across the curriculum**. Buckingham: Open University Press, 2001.

URIBE BELTRÁN, M.; CUÉLLAR FERNÁNDEZ, L. Estudio histórico-epistemológico del modelo atómico de Rutherford. **Tecné, Episteme y Didaxis: TED**, [S.I.], n. 14, 2003. DOI: 10.17227/ted.num14-5572. Disponível em: <<https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/5572>>. Acesso em: 21 set. 2022.

VOLLI, U. **Manual de Semiótica**. Edições Loyola, São Paulo, 2007. 338 p.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2009. 520p.

WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Using multi-modal representations to improve learning in junior secondary science. **Research in Science Education**, New York, v. 40, n. 1, p. 65–80, jan. 2010.

WALDRIP, B.; PRAIN, V.; CAROLAN, J. Learning junior secondary science through multi-modal representations. **Electronic Journal of Science Education**, v. 11, n. 1, 2006.

ZÔMPERO, A. F; LABURÚ, C. E. As relações entre aprendizagem significativa e

representações multimodais. **Revista Ensaio.** v. 12, n. 3, p. 31-40, 2010.

ZÔMPERO, A. F; LABURÚ, C. E. Significados de fotossíntese apropriados por alunos do ensino fundamental a partir de uma atividade investigativa mediada por multimodos de representação. **Investigações em Ensino de Ciências.** v. 16, n. 2, p. 179-199, 2011.

ZÔMPERO, A. F; LABURÚ, C. E. Significados de fotossíntese produzidos por alunos do ensino fundamental a partir de conexões estabelecidas entre atividade investigativa e multimodos de representação. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias.** v. 13, n. 3, p. 242-266, 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS UTILIZADAS NO ENSINO DE QUÍMICA”

Prezado (a) Senhor (a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) a participar da pesquisa “LEITURA SEMIOLÓGICA DE ANALOGIAS PICTÓRICAS UTILIZADAS NO ENSINO DE QUÍMICA”, a ser realizada no _____. O objetivo da pesquisa é identificar os significados que os estudantes atribuem as analogias e investigar o processo de interpretação da mesma a fim de compreender os limites e possibilidades das analogias apresentadas. Sua participação é muito importante e ela se dará da seguinte forma: os dados serão coletados por meio de um questionário disponibilizado no *Google Forms*, para o qual serão instruídos nos instantes iniciais da coleta.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo o Senhor (a) recusar-se a participar ou desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que as informações suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa (ou para esta e futuras pesquisas) e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar sua identidade. O questionário respondido pelo Senhor (a), enviado via *Google Forms*, terão como destino particular e exclusivo a análise da pesquisadora. Estes registros serão armazenados pela pesquisadora por um período de dois anos, para eventuais necessidades de refazer a análise dos dados.

Esclarecemos ainda que o Senhor (a) não pagará e nem será remunerado (a) por sua participação.

Em relação aos benefícios da investigação, caso as hipóteses do trabalho sejam confirmadas, surge uma nova forma de analisar e trabalhar com analogias pictóricas no ensino de Química e Ciências.

Quanto a possibilidade de riscos, a pesquisa não prevê riscos físicos aos participantes. Contudo, tendo em vista que o objeto de análise da pesquisa serão suas respostas ao questionário, entendemos que há riscos dos participantes se sentirem constrangidos. Nesse caso, a pesquisadora se coloca à disposição para conversar em particular, via telefone ou e-mail, para esclarecer que em nenhum momento suas

identidades serão reveladas. Caso o Senhor (a) continue se sentindo constrangido (a), terá total liberdade para que deixe de compor a população da pesquisa, sem que lhe haja nenhum prejuízo.

Caso o (a) Senhor (a) tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma das devidamente preenchida, assinada e entregue a você.

Cidade, _____ de _____ de 2022.

Pesquisadora Responsável
Josiane Letícia Hernandes

Eu _____, tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo plenamente em participar voluntariamente da pesquisa descrita acima.

Assinatura: _____

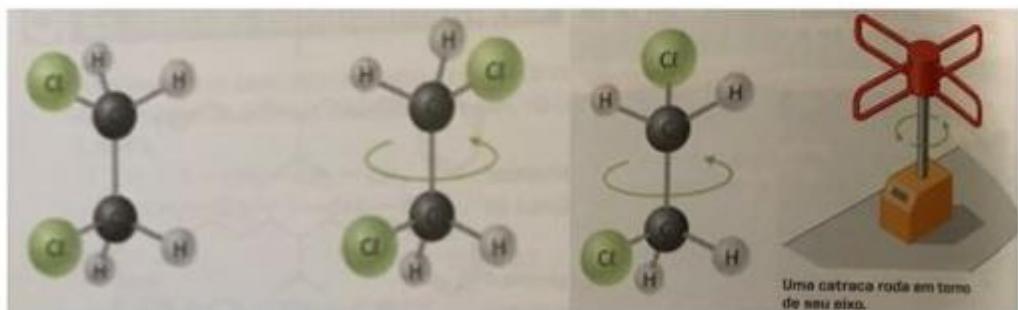
Data:

APÊNDICE B – Exemplo do Questionário com Perguntas e Respostas

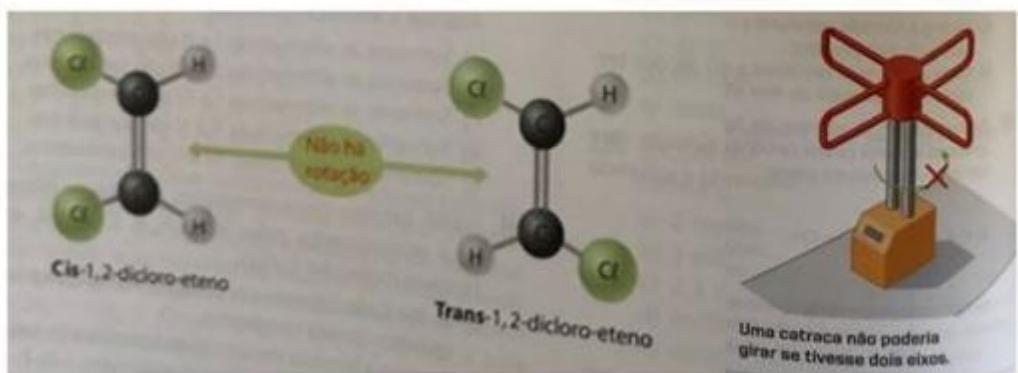
Os exercícios não são testes ou jogo de adivinhar. A leitura é de natureza subjetiva, então, sintam-se à vontade para falar sobre os aspectos do material que lhes causam determinada interpretação.

Isomeria cis-trans em compostos com duplas ligações

A ligação simples C-C permite a rotação de seus dois átomos de carbono. No composto. No composto CH₂Cl-CH₂Cl, por exemplo, podemos ter várias orientações para os átomos de carbono, como mostrado abaixo, mas todas elas representam o mesmo composto.



A ligação dupla C=C já não permite a rotação dos átomos de carbono. Para o composto CH₂Cl-CH₂Cl, teremos então apenas duas posições possíveis, denominadas **cis** e **trans**.



- Quais são os elementos presentes na imagem? (Anote tudo que achar relevante).

R: Duas catracas: a primeira tem apenas um eixo, tem setas, uma base e a parte superior da catraca; a segunda tem dois eixos, tem uma seta com um "x", uma base e a parte superior da catraca.

- Como os elementos prescritos anteriormente se relacionam um com o outro? Há pistas para ênfases e relações, por exemplo, cor, tamanho, posicionamento?

R: Primeira catraca: a base e a parte superior estão ligadas por um eixo; as setas ao redor do eixo indicam que pode haver rotação em torno do próprio eixo.

Segunda catraca: a base e a parte superior estão ligadas por dois eixos; a seta redor do eixo com um "x" indica que não pode haver rotação.

3. Explique o significado literal da imagem.

R: Uma catraca com apenas um eixo é capaz de girar totalmente em seu próprio eixo e uma catraca com configurações similares, mas com dois eixos não pode se movimentar

4. Quais são as relações de similaridade existentes e correspondências entre o conceito químico com os elementos prescritos anteriormente? (Confira se todos os elementos descritos na questão 1 estão incluídos e se suas inter-relações foram levadas em consideração).

R: A base e a parte superior da catraca corresponde aos dois átomos de carbono de um composto; o eixo corresponde a ligação entre os carbonos; a primeira catraca que tem apenas um eixo corresponde a um composto com ligação simples; as setas na primeira catraca indicando a rotação corresponde a rotação que compostos de ligação simples pode realizar; a segunda catraca com dois eixos corresponde a um composto com ligação dupla; a seta com o x indicando que não há rotação corresponde aos compostos com ligação dupla que não podem rotacionar.

5. Explique o significado científico que a imagem representa.

R: Compostos com ligações simples podem sofrer rotação e com ligações duplas não podem, ou seja, quando há ligação dupla a configuração do composto é fixa.

6. Existem limitações na analogia? Explique (aspectos na imagem que devem ser desconsiderados na relação com o conteúdo científico ou que podem levar a algum erro).

R: As bases das catracas são fixas e em um composto com ligação simples as duas extremidades pode girar livremente.