

Lucas Leal Carvalho

**ANALOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA: DIFICULDADES E FORMAS DE
CONTORNÁ-LAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Física Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. Dr. José de Pinho Alves Filho.

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Carvalho, Lucas Leal

Analogias no Ensino de Física : Dificuldades e Formas de
Contorná-las / Lucas Leal Carvalho ; orientador, José de
Pinho Alves Filho - Florianópolis, SC, 2016.

52 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Físicas e Matemáticas. Graduação em Física.

Inclui referências

1. Física. 2. Analogias no ensino de física. I. Filho,
José de Pinho Alves . II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Física. III. Título.

Lucas Leal Carvalho

**ANALOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA: DIFICULDADES E
FORMAS DE CONTORNÁ-LAS**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciado em Física, e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Física.

Florianópolis, 03 de agosto de 2016.

Prof. Celso Yuji Matuo, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. José Pinho de Alves Filho, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Paulo José Sena dos Santos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Henrique César da Silva, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

O presente trabalho tem por escopo analisar dificuldades relacionadas ao uso de analogias no ensino de Física, bem como identificar métodos para superá-las. A princípio, examina-se o conceito de analogia, suas potencialidades e objetivos no ensino em geral, e no de Física, em particular. Posteriormente, é feito um levantamento dos principais problemas provocados por comparações inadequadas ou mal utilizadas, resumidas em três grupos, que abrangem desde a elaboração da analogia, sua contextualização e linguagem até seus limites de validade. Por fim, passa-se ao exame de metodologias elaboradas com o fim específico de orientar a escolha e aplicação de analogias. A partir delas, bem como de dados colhidos em entrevistas com graduandos de Licenciatura em Física, são identificadas práticas e métodos destinados a potencializar os benefícios das analogias, e ao mesmo tempo minimizar seus riscos.

Palavras-Chave: Analogias. Ensino de Física. Modelos para utilização de analogias.

ABSTRACT

The present work aims to analyse difficulties related to the use of analogies in the teaching of Physics, as well as to identify methods to overcome them. At first, we examine the concept of analogy, its potentialities and objectives in the teaching in general, and in Physics, in particular. Then, we investigate the main problems caused by inadequate or bad used comparisons, summarized in three categories, that comprise the elaboration of analogies, its contextualization and language, as well as its limits of validity. Lastly, we examine the methodologies proposed to guide the selection and use of analogies. Based on them, and on data collect from interviews with undergraduate Physics students, is possible to identify practices and methods designed to maximize the benefits of analogies, and at the same time to minimize its risks.

Keywords: Analogies. Teaching of Physics. Analogical reasoning models.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
1 ANALOGIAS: DEFINIÇÃO E EMPREGO NO ENSINO	9
1.1 CONCEITUAÇÃO	9
1.2 ANALOGIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS	10
1.3 ANALOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA	16
2 DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DE ANALOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA	21
2.1 BARREIRA DA LINGUAGEM	21
2.2 INCOMPREENSÃO DOS LIMITES	24
2.2.1 ASSOCIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS OU RELAÇÕES NÃO ANÁLOGAS	25
2.2.2 VÍNCULO ANALOGIA-MODELO	27
2.2.3 CONFUSÃO ENTRE ALVO E ANÁLOGO - DEPENDÊNCIA DA ANALOGIA	29
2.3 OUTRAS DIFICULDADES	31
3 MODELOS DE APLICAÇÃO DE ANALOGIAS	33
3.1 MODELO GMAT	33
3.2 MODELO TWA	38
3.3 MODELO FAR	43
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS	49
ANEXO	53

INTRODUÇÃO

A presente monografia tem como objeto de estudo as dificuldades atreladas à utilização de analogias em aulas de Física no Ensino Médio, assim como as formas de superar ou contornar tais dificuldades.

Embora seja praticamente pacífico na literatura que o uso de analogias contribui de diversas formas para o aprendizado, é também usual a ressalva de que diversas sutilezas devem ser levadas em conta a fim de evitar o seu desvirtuamento. Condena-se, portanto, a utilização de analogias improvisadas, já que a falta de preparo as tornaria mais vulneráveis a falhas conceituais e entendimento deficiente por parte dos alunos.

O objetivo geral do trabalho é identificar métodos prontamente aplicáveis capazes de contribuir para o uso mais eficaz das analogias. Para tanto, foi feita não somente uma revisão bibliográfica na literatura de ensino, mas também realizadas entrevistas com quatro graduandos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, de acordo com o formulário anexado ao final da monografia. Diversos dados colhidos nas entrevistas foram transcritos ou citados ao longo do trabalho, conforme sua pertinência com o ponto em análise.

A monografia está dividida em três capítulos. No primeiro deles, define-se o conceito de analogia, distinguindo-o de termos relacionados, mas não idênticos, como metáfora, modelo e exemplo. Também, são examinadas algumas peculiaridades e objetivos da utilização de analogias no ensino de ciência em geral, e da Física em particular.

Posteriormente, no capítulo 2, são investigadas algumas das principais dificuldades relacionadas às analogias no ensino de Física, classificadas em três grupos: barreira da linguagem, incompreensão dos limites e outras dificuldades.

No capítulo concludente, investigam-se formas de contornar os problemas identificados anteriormente. Para tanto, são analisados três modelos de aplicação de analogias, verdadeiros guias metodológicos para sua elaboração,

escolha, contextualização e apresentação. A partir das propostas dos modelos, aliadas às entrevistas com graduandos, são identificadas algumas práticas e cuidados a que o professor de Física deve estar atento. Tais considerações, por sua vez, conduzem à conclusão do trabalho, apresentada imediatamente após o encerramento do terceiro capítulo.

1. ANALOGIAS: DEFINIÇÃO E EMPREGO NO ENSINO

Este capítulo tem como objetivo definir o termo analogia, diferenciando-o de termos relacionados, como metáfora, modelo e exemplo. Tal encaminhamento justifica-se pela ocorrência de conflitos e equívocos no entendimento em relação aos termos citados, tanto no ambiente cotidiano (senso comum), quanto no ambiente escolar.

Ainda, objetiva o capítulo analisar as particularidades e objetivos do uso de analogias no ensino em geral, e no ensino de Física, em particular. A identificação destes elementos será útil na posterior investigação dos empecilhos mais comuns ao uso das comparações, assim como de maneiras de contorná-los.

1.1 CONCEITUAÇÃO

A palavra *analogia* é utilizada de forma usual no cotidiano, e seu emprego nos mais diferentes contextos não parece causar dificuldades de compreensão. A aparente existência de uma intuição semântica, contudo, não nos isenta de buscar uma conceituação clara para o termo. Do contrário, o desenvolvimento deste trabalho estaria sujeito a um sem número de indesejadas ambiguidades e incertezas.

A palavra analogia surgiu da junção de dois termos gregos: *ana* (segundo) e *logos* (razão). Em sua origem, remetia à relação de proporcionalidade entre termos. Seu significado poderia, portanto, ser parafraseado como “segundo proporção” ou “segundo relação” (JUNGES, 2011).

Naturalmente, o sentido atual não está vinculado de modo indissociável à etimologia (DUARTE, 2005). Não por outro motivo, a pesquisa em trabalhos acadêmicos relativos ao ensino de ciências revela de imediato uma enorme gama de propostas de conceituação do termo *analogia*, nem todas compatíveis entre si (ZAMBON; TERRAZAN, 2013; PRATA, 2012).

Nesse sentido, pertinentes os apontamentos de Duarte (2005, p. 02):

Ao percorrermos a literatura deparamo-nos com várias definições de analogia, de acordo com as perspectivas teóricas dos autores. Assim, para alguns, a analogia é entendida como um processo cognitivo que envolve uma comparação explícita de duas “coisas”, uma definição de informação nova em termos já familiares (Newby, 1987), ou um processo através do qual se identificam semelhanças entre diferentes conceitos, sendo um deles conhecido, familiar, e o outro desconhecido (Glynn, 1991). Outros ainda, como Duit (1991) e Treagust et al (1992), definem a analogia como uma comparação baseada em similaridades entre estruturas de dois domínios diferentes, um conhecido e outro desconhecido; demarcam-se, deste modo, da consideração da analogia como uma mera comparação entre semelhanças superficiais, entre atributos presentes nos domínios considerados.

Em comum, portanto, pode-se apontar que as diferentes definições relacionam o raciocínio analógico à transferência de informações entre domínios distintos – um previamente conhecido e outro a ser explicado. Nessa linha, analogias podem ser definidas como um instrumento que permite ao aluno estabelecer conexões (comparações) entre o conhecimento já existente, e uma informação ou conceito novo a ser assimilado (ZAMBON; TERRAZZAN, 2013).

Em sentido similar, pode-se afirmar que o pensamento analógico consiste em identificar relações entre coisas distintas, similaridades entre objetos diversos. Desse ponto de vista, exemplos históricos de analogias podem ser encontrados nos trabalhos de Isaac Newton, ao comparar o movimento orbital da Terra à trajetória de projéteis, ou ainda nas obras de Fresnel e Young, para explicar a teoria ondulatória da luz (JUNGES, 2011).

De grande utilidade é, desde já, distinguir analogia de outros termos com os quais pode ser confundida, como metáfora, modelo e exemplo.

Alguns autores, como Bozelli (2005) não fazem distinção entre as linguagens analógica e metafórica. Outros, consideram que a metáfora corresponde a uma comparação implícita, enquanto que a analogia corresponde a uma comparação explícita e mais elaborada (RIGOLON, 2008; DUARTE, 2005).

Nessa linha, expressões metafóricas são comuns no linguajar cotidiano. Quando um jornalista afirma, por exemplo, que a inflação está devorando o poder de compra da população, estamos diante de uma metáfora. A comparação entre um ente abstrato (inflação) e um predador animal está implícita, e espera-se que a audiência prontamente reconheça isso, ao invés de tomar a expressão de forma

literal. Nenhuma elaboração ou explicação adicional é esperada ou necessária; caso fosse, a metáfora poderia se converter em analogia (ALDRIGUE; ESPÍNDOLA, 2011).

Especialmente elucidativas são as seguintes considerações de Rigolon (2008, p. 36):

Quando se diz que “a Amazônia é o pulmão do mundo”, está-se utilizando uma metáfora, pois a afirma-se que ela é um pulmão, um órgão animal que obviamente não existe como tal num bioma, na Floresta Amazônica. Essa afirmação exige de quem a recebe, a habilidade de identificar que se trata de uma metáfora, caso contrário, pensar-se-á que o planeta Terra tem mesmo um pulmão.

Ao se afirmar “a Amazônia é como se fosse o pulmão do mundo”, utiliza-se uma analogia. O diferencial nessa afirmação é a expressão “como se fosse” que transmite a nítida idéia de que a Amazônia não é um pulmão da Terra, mas possui atividades e conseqüências parecidas com as de um pulmão. A analogia deixa bem nítido, sem a possibilidade de confusões, que a Amazônia não é um pulmão, mas ainda sim consegue fazer a necessária comparação entre os domínios Biomas (Floresta Amazônica) e Órgãos animais (pulmão).

Todos os acadêmicos entrevistados ao longo deste trabalho concordaram que analogias e metáforas não se confundem. Contudo, as definições dadas para esses termos não coincidiram entre si, e tampouco com as definições adotadas na literatura de ensino. Dois dos entrevistados afirmaram que analogias são comparações envolvendo pelo menos um ente abstrato, enquanto que metáforas envolveriam sempre entes concretos. Uma acadêmica afirmou que analogias seriam comparações mais realistas, enquanto que metáforas seriam ‘mais distantes da realidade’.

Analogias e modelos também não se confundem. Estes podem ser definidos como representações idealizadas e simplificadas da realidade (RIGOLON, 2008). Atendem a fins pragmáticos, não necessariamente ligados ao ensino. Por exemplo, servem para fundamentar a elaboração e teste de ideias, produzir explicações sobre fenômenos naturais e permitir a elaboração de previsões sobre o comportamento e propriedades do sistema modelado (FERREIRA; JUSTI; SOUZA, 2006).

Assim, a modelagem não visa identificar similaridades entre um domínio conhecido e outro desconhecido, como as analogias. Antes, visa construir uma

representação da realidade, à luz da qual fenômenos naturais possam, ao menos em nível simplificado, ser compreendidos e estudados.

Distinção semelhante aplica-se aos exemplos. Estes distinguem-se das analogias por não estabelecerem comparações entre dois conceitos. Os exemplos tratam de elementos pertencentes a um mesmo domínio, e não a domínios distintos. É, em geral, o destaque dado a uma espécie de um gênero; é um caso particular de uma situação ou fenômeno. Este caráter de particularidade não é partilhado pelas analogias, que pretendem estabelecer conexões entre domínios mais abrangentes (RIGOLON, 2008).

Até aqui foram identificados os pontos comuns à maior parte das definições acadêmicas de analogia. Também, foram analisadas as diferenças entre este termo e conceitos semelhantes, como metáfora, modelo e exemplo. Nos resta, por fim, conceituar certas terminologias associadas, após o que poderemos definir *analogia* para os fins deste trabalho.

Por terminologias associadas, nos referimos aos termos *alvo*, *análogo* e *relações analógicas*. Adotaremos as definições ofertadas por Zambon e Terrazzan (2013). Para os autores, *alvo* significa “o conceito, fenômeno ou assunto a ser compreendido”. *Análogo* refere-se ao “conceito, fenômeno ou assunto conhecido e familiar ao aprendiz”. *Relações analógicas* equivalem às “correspondências entre alvo e análogo”.

À luz das considerações prévias, podemos, finalmente, elaborar nossa definição de analogia. Esta corresponde a *uma comparação explícita entre, de um lado, conceitos e/ou fenômenos conhecidos, e, de outro, conceitos e/ou fenômenos desconhecidos ou pouco compreendidos, com o objetivo de facilitar a compreensão destes últimos, através da identificação de similaridades com os primeiros*.

Em outras palavras, valendo-nos da terminologia emprestada de Zambon e Terrazzan (2013), analogias podem ser definidas como *comparações entre um alvo e um análogo, através de relações analógicas, com o intuito de facilitar o aprendizado*.

1.2 ANALOGIAS NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Não é raro escutar dos alunos do Ensino Médio expressões que revelam dificuldade, e até aversão, pelas disciplinas científicas. Parte do problema é usualmente atribuído à falta de identificação entre os conteúdos ensinados e o cotidiano dos estudantes. Na ausência de uma ponte entre ambos, não chega a surpreender que surja todo tipo de dificuldade de compreensão (PRATA, 2012).

Tornar o ensino significativo é tarefa do professor. Nesse contexto, o uso de analogias revela-se um dos instrumentos à disposição para alcançar tal objetivo. A aproximação de um domínio desconhecido a outro domínio já conhecido, explicita na mente do aluno a ligação existente entre ambos (ZAMBON; TERRAZAN, 2013). No caso específico das ciências, trata-se de unir conceitos abstratos ao mundo sensível em que se vive.

Nas palavras de Ferraz e Terrazzan (2001, p. 02):

Analogias e metáforas não são as únicas formas de linguagem metafórica vulgarmente existentes, mas são provavelmente os formatos mais freqüentemente usados. É difícil diferenciar o significado de cada termo. Sob diferentes perspectivas (filosófica, lingüística) estes termos são usados com diferentes sentidos. Na perspectiva educacional, mais especificamente na perspectiva da educação em ciências (portanto a perspectiva que estamos adotando), são ferramentas de uso freqüente no processo de construção das noções científicas, estabelecendo relações entre sistemas distintos. Ou seja, um sistema conceitual científico e um sistema conceitual mais familiar. Os conceitos científicos considerados pelos alunos um tanto “indigestos” são mais facilmente compreendidos com o uso destes recursos que tornam os conceitos mais “palatáveis”.

Embora concordemos com a afirmação de que as analogias podem ajudar a tornar significativo o aprendizado, entendemos que o estabelecimento de uma ponte entre os conteúdos científicos e o cotidiano do estudante se dá, principalmente, pela contextualização.

Por contextualização, entendemos que, ao menos no Ensino Médio, a apresentação de conceitos científicos deve ter como ponto de partida problemas e situações cotidianas, conhecidas pelos alunos, seja diretamente, seja pelos meios de comunicação. Uma vez que na escola básica não se busca formar profissionais de ciência, carece de sentido aplicar ali um formato centrado em situações abstratas ou que privilegie a manipulação matemática por si mesma.

Pensamos, assim, que o uso de analogias deve ser usado após, ou na melhor das hipóteses, concomitantemente, com a contextualização do conteúdo científico. Do contrário, incorre-se no risco de que o estudante tome o conceito análogo pelo conceito alvo, obstáculo de aprendizado sobre o qual discorrer-se-á melhor no capítulo seguinte.

A utilização de analogias é também útil no processo de Transposição Didática. Tal processo é definido como um conjunto de transformações aplicadas a um saber dito sábio, para ser ensinado (CHEVALLARD, 1988). De forma resumida, dir-se-ia que se refere às modificações por que passam as teorias científicas, tais quais produzidas e discutidas no meio acadêmico, até chegar à sala de aula.

Por vezes, a linguagem padrão do fazer científico possui características e regras próprias, que a tornam impessoal e pouco didática. Aponta-se na literatura de ensino que uma das formas de vencer essa rigidez é justamente a utilização da linguagem comparativa. A função principal desta não é a transmissão do conhecimento em si, mas sim sua compreensão pelos estudantes (ANDRADE; ZYLBERSZTAJN; FERRARI, 2002).

A ressalva que se fazemos aqui é que as analogias não têm o propósito de modificar o próprio conteúdo ensinado, mas quando muito, a linguagem através da qual se ensina. Assim, o professor, participe no processo de Transposição Didática externa, deve estar atento para não corromper, ainda que involuntariamente, o conceito ensinado. É imperioso evitar que simplificações bem intencionadas acabem por alterar a essência do saber científico, a ponto de não restar dele senão uma imitação imprecisa em sala de aula.

A utilização de analogias para aproximar conteúdos e modificar a linguagem não exige, necessariamente, um papel ativo do aluno. Naturalmente, não se pretende aqui tratar o estudante como tábula rasa, e negar seu papel como sujeito de conhecimento. Analogias tem seu lugar mesmo em propostas construtivistas de ensino, ou em propostas que incorporam características construtivistas em si.

Santos e T éran (2010), citando Duit, apontam como características comuns do construtivismo em Educação Científica as seguintes: 1) *Construção ativa com base nas concepções já existentes*; 2) *Tentativa de construção a partir do mundo exterior de verificação na natureza*; 3) *Viabilidade de utilidade para o mesmo* e 4) *Construção do conhecimento como produto da sociedade*.

Vê-se logo que a primeira das características acima, se não se identifica de imediato com as analogias, ao menos coaduna com sua utilização. A aproximação de domínios distintos, um conhecido e outro desconhecido, pode ser um facilitador para que o aluno, por conta própria, faça a ligação entre ambos.

Ao discorrer sobre o papel heurístico das analogias, Perelmam (1987, p. 238) afirma que:

sua capacidade de conduzir à descoberta e à resolução de problemas não é contestado, quando se trata de explorar um domínio desconhecido, de sugerir a idéia daquilo que não é cognoscível. [...] Um modelo extraído de um domínio conhecido fornece um instrumento indispensável para guiar a investigação e imaginação.

Assim, as analogias podem atuar como verdadeiro guia para o pensamento, auxiliando o aluno a atingir pelo próprio raciocínio a compreensão dos conteúdos científicos.

Concordamos com a proposição acima, com a ressalva de que a liberdade conferida ao aluno em nenhuma hipótese anula o papel do professor. Dada a complexidade dos processos cognitivos, e a imprevisibilidade dos conhecimentos prévios, é possível que a interpretação conferida a determinada analogia pelo estudante acabe por reforçar concepções incorretas (alternativas).

Além disso, ao aproximar domínios distintos é possível que o aluno somente se dê conta dos aspectos similares entre os conceitos alvo e análogo, mas não dos aspectos de diferenciação. Em outras palavras, está sempre presente o risco de que o aprendiz não compreenda os limites de validade da analogia.

Nesse contexto, a orientação e supervisão do professor é indispensável, ainda que se possa discutir de que forma e até que ponto se fará

presente. Busca-se evitar assim a compreensão incorreta da analogia, ou sua extensão para além dos limites de validade pretendidos.

Pertinente, também, a ressalva feita por Perelmam (1987, p. 239) quanto ao caráter temporário da analogia:

Não concederá à analogia mais do que papel heurístico, será eliminada a partir do momento em que tenha exaurido o seu papel, só permanecendo os resultados das experiências que ela pode sugerir: o seu papel será de andaimes de uma casa em construção, que são retirados quando o edifício está terminado.

Curiosamente, o autor utiliza uma metáfora para explicar o caráter transitório da analogia, semelhante que é aos “*andaimes de uma casa em construção*”. Extrai-se do alerta a necessidade de não viciar os estudantes a pensar somente em termos de comparações, mas sim de valer-se destas como ferramentas auxiliares na construção do conhecimento. E, como toda ferramenta, também as analogias devem ter uma utilização limitada no tempo.

O objetivo final é que o aluno chegue à plena compreensão do conceito alvo. Nesse momento, espera-se que o entendimento já não dependa mais da analogia, vez que o domínio outrora desconhecido tornou-se agora conhecido. É nessa hora que a comparação, tendo cumprido seu objetivo, pode (e deve) ser descartada.

1.3 ANALOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA

O emprego de analogias no ensino em geral atende a diversos objetivos, alguns dos quais foram brevemente examinados no tópico anterior. Da mesma forma, foram apontados alguns empecilhos comuns, como o risco de compreensão incorreta ou de confusão entre os conceitos alvo e análogo. Resta agora avaliar a conveniência do emprego de analogias em uma área mais específica - o ensino de Física.

A utilização regular de analogias como instrumento de ensino em Física não é nova. Sem endossar a validade da comparação, Duarte (2005) aponta que já no século XIX físicos de prestígio, como Lorde Kelvin e Maxwell, buscaram explicar o circuito elétrico a partir do circuito hidráulico. A influência deles se fez

sentir nos livros didáticos da época e posteriores, que incessantemente replicaram a comparação.

Ao discorrer sobre os riscos das analogias no ensino de física, Simanek (2014) as divide em duas categorias: as benignas e as que servem de base para uma conclusão. Define a primeira categoria como uma comparação entre duas coisas que não possuem relação lógica ou física uma com a outra. Já no segundo grupo, também chamado de argumento por analogia, empregam-se comparações com o objetivo de derivar conclusões delas.

Como exemplo de comparação benigna, aponta a analogia entre reações nucleares em cadeia e ratoeiras que desarmam em sequência após o disparo da primeira delas. Como exemplo de comparação inadequada, indica a analogia entre a luz polarizada e vibrações em uma corda.

O professor é simpático ao emprego das analogias ditas benignas. Segundo ele, tais comparações cumprem uma função ilustrativa, ajudam a formar um quadro mental de coisas difíceis de conceber e funcionam muito bem como um artifício mnemônico. Sua utilidade e ausência de risco decorrem do fato de que a comparação envolve coisas claramente distintas, impedindo que seja compreendida de forma literal pelo aluno. Para Simanek (2014), quanto mais extravagante for a analogia, mais fácil será para o estudante se lembrar de que ela não passa de um auxílio ao raciocínio.

Por outro lado, o professor é avesso ao emprego de analogias enquanto base para uma conclusão. Como exemplo, aponta a seguinte afirmação: “M tem as propriedades A, B e C; então se N tem as propriedades A e B, também tem C”. Posta dessa forma, a analogia converte-se em um inválido método de argumentação, substituindo a razão e a lógica e colocando em risco a integridade do raciocínio.

Identificamos nas ideias de Simanek (2014) o receio de que os conceitos alvo e análogo sejam confundidos. Como já exposto, partilhamos dessa preocupação, com o acréscimo de que mesmo nas analogias benignas é conveniente que o professor declare explicitamente que a comparação não deve ser

tomada de forma literal. Embora isso possa parecer claro para o docente, não necessariamente o será para o aluno, em especial no ensino médio, onde se lida com pessoas jovens e não habituadas ao pensamento científico.

Naturalmente, a utilização de analogias será tanto mais tentadora para o professor quanto mais abstrato for o conceito alvo. Nas palavras de Bozelli e Nardi (2009, p. 247):

As analogias mostram-se importantes no Ensino de Ciências, visto que a maioria dos conceitos na área de Ciências – especialmente na Física – é de natureza abstrata, isto é, sua compreensão requer que os alunos sejam capazes de imaginar, modelar etc. Como esse processo não é simples, o professor sente, em algumas situações, a necessidade de utilizar uma situação mais familiar aos alunos.

Na literatura de ensino não é raro que os conceitos científicos sejam classificados em abstratos e concretos, ou teóricos e descritivos (TERRAZAN; ZAMBON, 2013). Os conceitos descritivos, que grosso modo correspondem aos concretos da outra classificação, correspondem àqueles de fácil observação, como sólidos, líquidos, transições de fase, etc. Já os conceitos teóricos, por vezes ditos abstratos, são aqueles de visualização difícil ou impossível, como átomos, quarks e genes (LAWSON, 1993).

A Física está repleta de conceitos teóricos: elétrons, prótons, entropia, não-localidade, campos, carga elétrica, inércia, energia, dentre outros. Contudo, pode-se afirmar que nem todos invocam a utilização de analogias com a mesma intensidade.

Por exemplo, tomemos os conceitos de próton (em uma perspectiva clássica, como partícula material) e inércia. O próton é classificado como um conceito teórico por não ser visível a olho nu, dadas suas dimensões ínfimas. Já a inércia, por ser uma propriedade imaterial, sem existência autônoma e, portanto, invisível em qualquer hipótese.

Apesar de estarem na mesma categoria, pensamos que a compreensão do próton é consideravelmente mais simples que a da inércia. Os alunos estão habituados à ideia de que existem coisas materiais invisíveis a olho nu,

seja por estarem muito distantes, seja por serem muito pequenas. Sendo assim, a concepção de partículas subatômicas não chega a representar um obstáculo ao raciocínio. A aceitação dessa ideia pode não ser tão simples, mas sua compreensão, de que se ocupam as analogias, sim. Sob essa perspectiva, o próton identifica-se muito mais com um conceito descritivo, e não teórico (abstrato).

A situação é distinta quando tratamos da inércia. Temos então uma característica invisível não por seu tamanho ou localização, mas sim por não ter existência material. Não há nada diretamente apreensível aos sentidos a que o estudante possa comparar a inércia. Muito mais que no caso do próton, exige-se aqui um elaborado trabalho de raciocínio abstrato. E justamente por isso, a utilização de analogias é especialmente recomendável, como forma de auxiliar o entendimento do aluno.

Por fim, as analogias podem, ainda que em menor grau, ser um instrumento útil para lidar com as concepções alternativas (LOPES, 2009). Estas podem ser definidas como modelos ou conhecimentos adquiridos da sociedade e experiência cotidiana, mas que estão em desacordo com as teorias científicas, produzidas de acordo com um método mais rigoroso (ALMEIDA; CRUZ; SOAVE, 2007).

O entendimento dos estudantes sobre os fenômenos físicos está repleto de concepções alternativas. Exemplos disso são a frequente associação entre força e velocidade, como se fossem proporcionais, ou ainda a confusão entre os conceitos de calor e temperatura, por vezes tratados erroneamente como sinônimos.

Nesse contexto, uma das potencialidades das analogias é tornar mais evidente a existência das concepções alternativas, ponto de partida para que o professor possa lidar com elas (DUARTE, 2005). As comparações podem, em um momento inicial, provocar um desconforto, ou insatisfação, no estudante, levando-o a identificar inconsistências em suas ideias prévias (LOPES, 2009).

Uma vez identificadas, desconstruir as concepções indesejadas envolve tornar a explicação científica inteligível ao aluno. Ela deve fazer sentido para

o discente, assim como a simbologia matemática e termos associados. Analogias podem ser usadas nesse ponto para conferir inteligibilidade ao conceito que se quer ensinar, ajudando a elucidar um domínio a conhecer a partir de outro já conhecido (LOPES, 2009).

Em vista do exposto, acreditamos que o emprego de analogias no ensino de Física, por si mesmo, não é indesejável. Tais comparações elaboradas cumprem um papel de auxílio à cognição, dando contornos mais definidos a conceitos puramente abstratos, e sobre os quais os estudantes, possivelmente, jamais ouviram falar.

Por outro lado, não encontramos na literatura nenhuma defesa do uso irrestrito de analogias no ensino de Física. Todos os autores consultados fazem ressalvas e apontam a existência de obstáculos de vários tipos, os quais devem ser levados em conta para se decidir pela adequação ou não de determinada analogia. Tais obstáculos constituem o objeto do capítulo seguinte.

2. DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DE ANALOGIAS NO ENSINO DE FÍSICA

Abordaremos neste capítulo alguns dos principais empecilhos à elaboração de boas analogias, assim como alguns dos obstáculos à sua compreensão adequada. A análise será centrada nas analogias aplicáveis ao ensino de Física.

Um prévio levantamento das dificuldades é imprescindível para a posterior identificação de métodos capazes de minimizá-las, potencializando os bons resultados as analogias.

2.1 A BARREIRA DA LINGUAGEM

O conhecimento científico, fruto de pesquisas cada vez mais especializadas, não raro vem atrelado ao que se pode chamar de linguagem científica erudita, dificilmente apreensível em seu estado bruto pelo público leigo (BOZELLI; NARDI, 2007).

A Física está repleta de termos desconhecidos do público em geral, ou compreendidos por este de forma imprecisa, não condizente com o sentido adotado pela comunidade acadêmica.

Assim, não chega a causar espanto que a linguagem seja um fator de suma importância quando da elaboração das analogias. O uso inadequado, incorreto ou impreciso das palavras, assim como o emprego de vocábulos obscuros, pode jogar por terra a eficácia de uma boa comparação (BOZELLI; NARDI, 2007).

Ao se falar em barreira da linguagem, é possível que nos venha à mente a situação em que o professor seja obrigado a simplificar ao máximo seu linguajar, por estar diante de alunos possuidores de um vocabulário muito pobre. Não nos ocuparemos desta situação, já que extrapola o ensino de Física e envolve a própria base educacional.

Apenas apontaremos que em uma situação dessas o docente poderá sempre se valer da ampla gama de sinônimos disponível em nosso idioma. Se nem assim alcançar a compreensão dos alunos, então é porque o objeto análogo não reside em um domínio conhecido destes últimos. Não se estará sequer diante de uma analogia, mas sim de uma comparação entre dois objetos igualmente desconhecidos (JUNGES, 2011).

A situação é distinta quando determinadas palavras utilizadas na analogia são compreendidas, mas de uma forma diferente da pretendida pelo professor, o que acaba por mascarar as similaridades entre conceitos alvo e análogo.

Para exemplificar, tomemos a famosa analogia do pudim de ameixas (ou passas), corriqueiramente utilizada para representar o modelo atômico de Thomson. De acordo com trabalho de Silva e Terrazan (2005), a maioria dos alunos entrevistados estava familiarizada com um pudim de passas (ou ameixas), mas menos da metade declarou que a comparação com o modelo atômico soava familiar.

Ao discorrer sobre os resultados da pesquisa, citados autores apontaram:

Os estudantes geram espontaneamente analogias como, por exemplo, um panetone de natal e um brigadeiro para o modelo atômico de Thomson, ao invés de utilizarem um pudim de ameixas como proposto em uma das atividades. Esta ocorrência indica um esforço dos estudantes para conectar um com novo conceito a uma situação familiar, tal esforço mostrou-se necessário para tornar a aprendizagem significativa (SILVA; TERRAZAN, 2005, p. 04).

Portanto, os estudantes entrevistados compreendiam o sentido do termo “pudim de ameixas”, mas nem todos tinham de forma clara em suas mentes qual é aspecto físico de um, ponto central para o sucesso da analogia. Com a troca do conceito análogo para “panetone” ou “brigadeiro” a eficácia da comparação aumentou, dada a maior familiaridade dos alunos.

O peso da linguagem também se faz sentir de forma marcante nas situações em que o próprio conceito análogo é repleto de sutilezas conceituais.

Tomemos como exemplo as expressões matemáticas estudadas no ensino médio, que relacionam força e aceleração ($F = ma$) e torque e aceleração angular ($T = I\alpha$). A fim de fornecer um esquema mnemônico aos alunos, e melhor elucidar a segunda expressão, não é raro que os professores refiram-se ao momento de inércia (I) como o análogo rotacional da massa (BASTOS; NARDI, 2008).

Dada a similaridade formal das expressões matemáticas, a comparação é irrepreensível, desde que se adote um ponto de vista puramente mnemônico (SIMANEK, 2014). Problemas surgem, contudo, quando a analogia abrange a natureza dos conceitos comparados.

Não é incomum que os estudantes de Ensino Médio relacionem massa a quantidade de matéria, como se fossem coisas iguais. Sob esse entendimento, massa corresponderia a algo palpável, mensurável e diretamente apreensível aos sentidos. Embora tal compreensão esteja incorreta, em muitos casos é impossível para o aluno perceber isso por conta própria.

Assim é porque no Ensino Médio o estudo da Segunda Lei de Newton sempre envolve situações em que massa e quantidade de matéria são proporcionais. Ainda que o estudante tome uma pela outra, seu desempenho acadêmico não será afetado, e nem mesmo sua capacidade de explicar o mundo ao seu redor à luz da Segunda Lei de Newton.

A situação é diferente quando lançamos mão da analogia entre massa e momento de inércia. A compreensão incorreta da primeira acarretará na compreensão incorreta do segundo. Na mente do professor, o conceito análogo (massa) é imaterial, abstrato. Na mente do aluno, é concreto e sensível (quantidade de matéria).

Ao procurar os pontos de similaridade entre ambos, o estudante tenderá a atribuir características materiais ao momento de inércia, e poderá concluir, erroneamente, que não passa de outro nome para a quantidade de matéria em sistemas rotacionais.

No exemplo acima, uma dissonância na comunicação professor-aluno acabou conduzindo a uma má-compreensão da analogia. Ambas as partes conheciam a palavra massa, mas atribuíram a ela significados diversos. Não bastasse isso, os dois significados permitiram que a analogia fizesse sentido. Aparentemente bem-sucedida, a comparação acabou por reforçar concepções alternativas.

No exemplo do pudim de ameixas, não houve dissonância na comunicação – professor e aluno atribuíram o mesmo sentido ao objeto análogo. O problema surgiu quando as palavras, embora compreendidas, não produziram a imagem mental (aspecto físico do pudim) necessária ao entendimento da analogia (JUNGES, 2011).

Assim, resta claro que uma boa analogia não prescinde de uma linguagem adequada (BOZELLI; NARDI, 2007). Naturalmente, não é fácil definir, caso a caso, o que vem a ser isso. Por tal razão, retornaremos a este ponto no capítulo concludente do presente trabalho.

2.2 INCOMPREENSÃO DOS LIMITES

Os benefícios das analogias no ensino são usualmente chamados na literatura de potencialidades. Dentre estas, destacam-se a ativação do raciocínio, desenvolvimento das atividades cognitivas, transformação do conhecimento científico erudito em algo mais inteligível e plausível, facilitação da visualização de conceitos abstratos, dentre outros (DUARTE, 2005).

Ao lado das potencialidades, porém, são também elencadas diversas dificuldades, ou problemas, que surgem com a utilização de analogias. Nas palavras de Duarte (2005, p. 12), tais dificuldades podem ser resumidas em quatro aspectos:

- 1. A analogia pode ser interpretada como o conceito em estudo, ou dela serem apenas retidos os detalhes mais evidentes e apelativos, sem se chegar a atingir o que se pretendia;*
- 2. Pode não ocorrer um raciocínio analógico que leve à compreensão da analogia;*
- 3. A analogia pode não ser reconhecida como tal, não ficando explícita a sua utilidade;*
- 4. Os alunos podem centrar-se nos aspectos positivos da analogia e desvalorizar as suas limitações.*

Os aspectos 1, 3 e 4 podem ser pensados como diferentes facetas de um único gênero, que chamaremos 'incompreensão dos limites da analogia'. De fato, quando o estudante toma o conceito alvo pelo análogo, interpreta a comparação de forma literal ou a estende para abranger características não assemelhadas, demonstra que não compreendeu o domínio de validade da analogia.

As diferentes formas como a incompreensão dos limites se manifesta serão melhor analisadas a seguir.

2.2.1 ASSOCIAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS OU RELAÇÕES NÃO ANÁLOGAS

Como já exposto, o ponto central das analogias é a comparação entre características ou relações semelhantes presentes em domínios distintos. Naturalmente, alvo e análogo, a despeito de guardarem semelhanças, não são iguais, o que impõe certas restrições à analogia. Deseja-se associar por meio dela as semelhanças, e não as diferenças. (JUNGES, 2011).

Sobre os cuidados para evitar associações não pretendidas, pode-se destacar que

de maneira geral as analogias têm um papel positivo do ponto de vista do ensino se os conceitos familiares, domínio análogo, e os novos conceitos, domínio alvo, forem corretamente relacionados no texto, contribuindo para a compreensão do aluno de forma significativa. Entretanto, se as características similares entre os domínios não forem bem estabelecidas, o aluno poderá ser levado a comparar características que não correspondem uma à outra, ocorrendo uma má interpretação dos resultados não ocorrendo a compreensão pretendida pelo uso da analogia. Neste caso, o estudante poderá confundir os conceitos e seu estudo não atingirá os objetivos propostos. (JUNGES, 2011, p. 28).

Em suma, é importante destacar em que aspectos domínio alvo e análogo são semelhantes, e em quais não são. Evita-se com isso que o estudante estenda o raciocínio analógico além dos limites pretendidos.

Para exemplificar, podemos pensar na famosa experiência da dupla fenda feita por Thomas Young, a fim de averiguar a natureza ondulatória da luz. Para ajudar os estudantes a compreender o sentido do padrão de interferência obtido pelo pesquisador, costuma-se imaginar um experimento análogo, feito em um tanque de água. Nesse último, as duas fendas são atravessadas não pela luz, mas

por perturbações que se propagam na superfície da água, gerando mais a frente pontos de interferência construtiva e destrutiva em um anteparo (SILVA, 2009).

Através da analogia, busca-se ajudar o aluno a compreender que padrões de interferência podem ser associados a fenômenos ondulatórios, e que a luz pode ser descrita como um desses fenômenos, à semelhança de ondas em tanque de água (SILVA, 2009).

Na mesma linha, a polarização da luz costuma ser explicada com o auxílio de analogias. Em uma das mais famosas, filtros polarizadores são comparados às barras paralelas de uma cerca. A luz, por sua vez, é associada a uma corda esticada, que pode ser agitada para produzir ondas transversais. Dependendo de como a corda é “chacoalhada”, as barras paralelas podem reter ou deixar passar as oscilações. Se as barras forem horizontais, deixarão passar ondas produzidas agitando-se a corda para a direita e para a esquerda, mas não aquelas produzidas chacoalhando-se a corda para cima e para baixo. Caso as barras sejam verticais, a situação se inverte (SIMANEK, 2014).

Que dificuldades podem vir da comparação entre luz e oscilações na água e em uma corda? Várias, razão pela qual retornaremos à análise dessas analogias em outros momentos ao longo deste trabalho. Por ora, destacamos que em ambos os casos o domínio análogo envolve a propagação de ondas em *meios materiais*, aspecto que não possui correspondência com a propagação da luz.

Ignorar tal ponto de distinção (limite da analogia) poderia conduzir à compreensão, incorreta, de que a luz depende de um meio para se propagar. O estudante poderia, erroneamente, concluir que o universo está preenchido por algum tipo de matéria, o que remete de imediato à já ultrapassada teoria do éter.

A extensão indevida da analogia poderia, ainda, prejudicar a compreensão da natureza dos campos eletromagnéticos. A partir das oscilações mecânicas em meios materiais, seria tentador conceber tais campos como feitos de alguma substância sensível, e não como entes abstratos.

Em risco semelhante incorrem determinadas analogias utilizadas para explicar o conceito de calor, ou para diferenciá-lo de temperatura. Existem diversas

variações, mas todas elas envolvem comparar o trânsito de energia térmica a algum tipo de transferência presente no cotidiano. Por exemplo, a transferência de dinheiro entre contas bancárias, ou de líquidos entre dois recipientes.

Os limites dessas analogias são ainda mais evidentes que no caso da luz, e não serão poucos os prejuízos provocados por ignorá-los. Enquanto o calor é assemelhado às transferências em si, os objetos transferidos (cédulas, moedas e líquidos) não possuem correspondente no fenômeno físico alvo (SANTOS; SOUZA, 2015).

Não compreender isso poderia levar o estudante a pensar no calor como substância, à semelhança do que pregava a já ultrapassada teoria do calórico. Cabe frisar que esta última teoria, embora abandonada no meio acadêmico, persiste como concepção alternativa, que não se deseja reforçar (ELIA; LOUZADA; SAMPAIO, 2015).

Os exemplos analisados demonstram que a incompreensão dos limites de uma analogia pode levar à associação, indevida, entre características não-análogas dos domínios comparados, com evidente prejuízo à compreensão do fenômeno físico alvo.

2.2.2 VÍNCULO ANALOGIA-MODELO

Como exposto em item anterior, os conceitos de analogia e modelo não se confundem. Aquela é uma comparação explícita entre domínios similares, este uma representação simplificada da realidade.

Em que pese a distinção, analogias estão sempre vinculadas a algum modelo. O que chamamos de compreensão de um fenômeno natural é, em última análise, a compreensão de um modelo científico que o descreve, e não raro, apenas parcialmente. A analogia surge em um momento posterior à modelização, com o objetivo didático de facilitar a compreensão do modelo (RIGOLON, 2008).

Dado o vínculo acima, analogias carregam consigo as limitações e vícios inerentes ao modelo subjacente. De especial relevância para os fins deste

trabalho, o fato de que um mesmo fenômeno físico pode ser explicado por diferentes modelos, a depender do aspecto que se deseja destacar. Nesse sentido:

Uma característica dos modelos é que nenhum deles descreve perfeitamente a realidade, e não podemos afirmar, a priori, que um modelo é “correto”. De fato, os conceitos de “certo” e “errado” não se aplicam a modelos. Um modelo pode ser mais ou menos adequado, dependendo de como ele representa a funcionalidade do sistema que supostamente representa. Devemos determinar se um modelo em particular é bom o suficiente para os seus propósitos, ou se há necessidade de buscarmos um modelo melhor (SANTOS; SOUZA, 2015, p. 17).

Quando lidamos com fenômenos quânticos, a adequação das analogias é especialmente sensível à multiplicidade de modelos. Assim é porque, em muitos aspectos, cai por terra qualquer correspondência com a física clássica, e como consequência, com as comparações eficazes neste último domínio.

A representação da luz polarizada como vibração em uma corda, por exemplo, em nada auxilia na compreensão da natureza dual da luz. Nessa analogia, o caráter corpuscular (fóton) simplesmente desaparece. Qualquer tentativa de aplicar a analogia clássica ao modelo quântico estaria fadada ao fracasso.

E não se trata simplesmente de um distanciamento entre domínios alvo e análogo. A analogia com ondas mecânicas é capaz de ilustrar, por exemplo, padrões de difração e interferência, presentes também em fenômenos quânticos, desde que nestes últimos sobressaia a natureza ondulatória da luz.

Contudo, a analogia clássica não seria capaz de abarcar o princípio da complementaridade, segundo o qual aspectos ondulatórios e corpusculares não são contraditórios (SIMANEK, 2014). Em outras palavras, uma única analogia clássica não seria capaz de ilustrar, ao mesmo tempo, o comportamento de ondas e partículas, vez que no modelo subjacente (anterior à física quântica) tais entidades são necessariamente distintas.

Não por outro motivo, a natureza corpuscular da radiação demanda analogias diferentes, coerentes com o modelo quantizado. Em uma delas, cunhada para explicar o efeito fotoelétrico, os quanta de luz são comparados a moedas de diferentes valores (GREENE, 2005). Ressalta-se com isso o caráter de partícula,

bem como a quantização de energia. Perde-se, por outro lado, a visualização do aspecto ondulatório.

Assim, é importante que os alunos compreendam que as analogias estão limitadas não apenas pelo grau de similaridade entre os domínios alvo e análogo, mas também pela abrangência do modelo que lhes serve de base.

2.2.3 CONFUSÃO ENTRE ALVO E ANÁLOGO – DEPENDÊNCIA DA ANALOGIA

É útil recordar que uma das dificuldades na utilização de analogias é que estas podem não ser reconhecidas como tais. Em alguns casos, isso pode resultar em completa incompreensão, fazendo da analogia uma peça inútil (DUARTE, 2005). Em outros, pode levar a uma interpretação literal, em que o conceito ou objeto análogo é entendido como *igual*, e não semelhante, ao conceito ou objeto alvo. Ainda, a uma dependência da analogia, a ponto de prejudicar (ou mesmo impossibilitar) o raciocínio à parte dela.

Tomemos como exemplo o modelo atômico de Rutherford. Nele, o átomo é representado como um diminuto sistema solar, com um núcleo central positivamente carregado em torno do qual orbitam elétrons (BASSO; PEDUZZI, 2003).

A comparação com o sistema solar estava de acordo com resultados experimentais que indicavam um núcleo pequeno em comparação com o tamanho do átomo, que abrangeria, em sua maior parte, espaço vazio. Embora tais características tivessem base experimental, a imagem pictórica do modelo não tinha, e não passou, desde o início, de uma analogia (DUNBAR, 1999).

Apesar disso, não é raro que o público em geral tome o análogo pelo alvo, e imagine que a disposição dos constituintes atômicos (prótons, nêutrons e elétrons) seja, literalmente, igual à disposição do sol e planetas no sistema solar. Contribui para isso o uso massivo do modelo de Rutherford em livros, revistas e programas de divulgação científica, sem o devido cuidado em esclarecer que a figura tem por base uma analogia, não se confundindo com um retrato do átomo (TABER, 2013).

Mesmo nas escolas, em que modelos atômicos mais atuais são apresentados, a fácil visualização do modelo de Rutherford usualmente leva a uma dependência daquele modelo. Após o estudo de características atômicas não explicadas pelo modelo de Rutherford, como quantização dos níveis de energia e nuvem eletrônica, os estudantes persistem em utilizar a imagem do átomo enquanto pequeno sistema solar para resolver problemas e explicar sua estrutura (TABER, 2013).

É evidência de uma dependência do modelo analógico, à luz do qual, de alguma forma, mesmo características quânticas com ele incompatíveis são explicadas.

Coisa semelhante acontece com o modelo atômico de Bohr. As órbitas estáveis postuladas nele guardam analogia com os harmônicos de uma onda em uma corda com extremidades fixas (PARENTE; SANTOS, TORT, 2014). No entanto, não é raro que a analogia não seja reconhecida como tal, levando à conclusão de que os orbitais atômicos são trajetórias literais no espaço, possivelmente limitados por cascas esféricas. Ainda, que as transições entre níveis de energia envolvem o salto literal de uma posição no espaço para outra (TABER, 2013).

Vê-se logo que a indistinção entre alvo e análogo pode conduzir a uma compreensão distorcida e alternativa dos fenômenos físicos, além de limitar o raciocínio, que se torna dependente de um artifício mental (analogia) inadequado para basear o pensamento.

2.3 OUTRAS DIFICULDADES

Abordaremos neste tópico outras dificuldades relacionadas à utilização de analogias, não enquadradas nas categorias barreira de linguagem e incompreensão dos limites, já explanadas. São as seguintes: 1) não-associação de semelhanças e 2) analogia *ad hoc*.

A primeira acontece quando características similares entre os domínios alvo e análogo não são bem estabelecidas ou explicitadas. Como resultado, os alunos serão incapazes de compreender, ao menos em parte, os pontos e relações de semelhança (JUNGES, 2011).

Por exemplo, é usual comparar a corrente elétrica ao fluir de um líquido. Os estudantes em geral estão familiarizados com o fluxo de água por sistemas de encanamento, e prontamente associam o deslocamento ordenado do fluido (em um sentido específico) ao deslocamento dos elétrons (SIMANEK, 2014).

No entanto, existem outras similaridades entre os modelos hidráulico e elétrico que normalmente passam despercebidas. Após serem apresentados àquela analogia, verificou-se que boa parte dos alunos não responde corretamente à seguinte pergunta: considere que em um circuito alimentado por corrente contínua os elétrons atravessam um resistor; a velocidade dos elétrons que sai do resistor será, em média, maior, menor ou igual à dos que entram nele? (SIMANEK, 2014).

A maior parte dos estudantes responde “menor”, quando o correto seria “igual”. Não se dão conta de que no resistor inexistente transformação da energia cinética, mas sim conversão da energia potencial elétrica em calor.

A analogia com o fluido escorrendo por um cano poderia ajudar na obtenção da resposta correta. De fato, a maior parte dos estudantes afirma que a quantidade de água que entra em uma mangueira, em um determinado período de tempo, é idêntica à que sai no mesmo intervalo. Parece-lhes claro que não há acúmulo de líquido no interior da mangueira, e que a velocidade do fluido é idêntica em todo o percurso. No entanto, não associam tais características à corrente elétrica (SIMANEK, 2014).

Evidentemente, a analogia corrente hidráulica – corrente elétrica é subutilizada. Apenas um dos pontos de semelhança é destacado – o sentido líquido da corrente – enquanto que vários outros são deixados de lado.

No caso da não-associação de semelhanças, faz-se um uso limitado de uma analogia que possui alcance maior. No caso da analogia *ad hoc*, contudo, o baixo poder elucidativo vem da comparação em si, que apenas funciona em pequeno número de contextos e situações (SIMANEK, 2014).

Retomemos as analogias entre luz polarizada e uma corda vibrante, e entre um filtro polarizador e as barras paralelas de uma cerca. Nelas, o funcionamento do polarizador é ilustrado através da capacidade das barras de reter

vibrações perpendiculares à sua orientação. No entanto, essa analogia só funciona no caso específico em que as barras e as oscilações são perpendiculares.

Suponhamos, por exemplo, que um feixe de luz atravessasse dois filtros com eixos de polarização perpendiculares entre si. Nesse caso, nenhuma luz atravessa ambos, e uma experiência similar com barras paralelas e oscilações em uma corda produziria resultado similar.

Contudo, suponhamos agora que existam três filtros polarizadores. O primeiro e o último estão orientados de forma que seus eixos de polarização fiquem perpendiculares entre si. O filtro intermédio, por sua vez, tem o eixo de polarização inclinado 45 graus em relação aos outros dois. Nesse caso, boa parte da luz consegue atravessar os três filtros, resultado não reproduzido pela experiência análoga com barras e oscilações em cordas.

O exemplo acima ilustra como determinadas analogias possuem escopo de aplicação bastante limitado. Nos parece, contudo, ser desnecessário classificá-las em uma categoria própria, ou identificar nelas uma dificuldade adicional ao uso de comparações. Recai-se aqui, tão somente, no já abordado risco de incompreensão dos limites, com a peculiaridade de que a área de abrangência da analogia é particularmente restrita.

Diante do exposto, não há dúvida de que são diversos os empecilhos ao bom uso de comparações no ensino de física. A identificação de formas, métodos e práticas capazes de contorná-las constitui o objeto do capítulo seguinte.

3. MODELOS DE APLICAÇÃO DE ANALOGIAS

Analogias servem como pontes entre domínios conhecidos e outros desconhecidos. Trata-se, contudo, de uma ponte elusiva, que pode conduzir a destinos outros além daquele esperado. Assim é quando as analogias, por serem mal-elaboradas ou empregadas, conduzem os alunos a falsas associações, a reforçar concepções alternativas e a desenvolver erros conceituais (RIGOLON, 2008).

Para evitar, ou ao menos minimizar, esses riscos, existem na literatura diversos estudos que objetivam delinear formas adequadas de ensinar com analogias, além de contornar suas dificuldades e dar contornos precisos às suas limitações (RIGOLON, 2008). Como resultado, foram propostos vários modelos de trabalho com analogias, três dos quais serão abordados a seguir.

Não nos limitaremos, contudo, à simples descrição dos modelos. Antes, buscaremos analisar como os esquemas propostos podem ajudar as barreiras delineadas no capítulo anterior: linguagem, incompreensão dos limites e dissociação de características similares.

3.1 MODELO GMAT

Tido como um dos primeiros modelos para ensinar analogias científicas, o GMAT foi proposto por Hassan Hussein Zeitoun em 1984. O nome corresponde à sigla em inglês para *General Model os Analogy Teaching*. Trata-se de um modelo-guia para professores e pesquisadores da área de ensino. É composto por nove etapas que incorporam uma variedade de particularidades contextuais, tornando o modelo bastante completo (DAGHER, 2000).

O motivo principal para a elaboração do GMAT foi a constatação de que é recorrente o uso de analogias em sala de aula. Existe, portanto, necessidade de que sejam utilizadas de forma mais eficaz possível, com o menor número de falhas, a justificar a elaboração de um modelo-guia (JUNGES, 2011).

As nove etapas do GMAT podem ser divididas em quatro fases.

A primeira, que chamaremos *avaliação dos alunos*, corresponde às etapas 1 e 2. Aqui, cabe ao professor averiguar a habilidade de raciocínio analógico dos estudantes, intimamente relacionada à capacidade de gerar imagens visuais e executar tarefas cognitivamente complexas. Além disso, deve-se levantar os conhecimentos prévios dos alunos. A execução dessa fase pode ser feita de várias formas, dentre as quais as mais comuns são questionários escritos e discussões em sala de aula (JUNGES, 2011).

A segunda fase, *avaliação das analogias*, engloba as etapas 3, 4 e 5 do GMAT. Nela, cabe ao professor selecionar analogias dentre materiais de aprendizagem à sua disposição (livros, sites, vídeos...), embora nada impeça que o docente elabore suas próprias. A seguir, deve julgar a adequação das analogias, o que é feito tendo em mente as características dos alunos, conforme levantadas na fase anterior. Basicamente, deverá o professor verificar se as comparações selecionadas são familiares e de complexidade moderada, além de existirem muitos pontos de similaridade entre alvo e análogo (RIGOLON, 2008).

A terceira fase é a *aplicação das analogias*, e corresponde às etapas 6 e 7 do GMAT. Previamente, o docente estabelece a forma de apresentação que julgar mais adequada – aula expositiva, discussão, vídeo, texto, jogos, etc. Seja qual for a forma, deverá introduzir a analogia escolhida de acordo com alguns passos:

Apresentar a analogia inclui diversos passos: introduzir o análogo (que se não for familiar aos alunos, deve ser explicado); conectar o análogo com o alvo; apresentar as características da analogia uma a uma, começando pela mais saliente e mostrar as características que não são relevantes quando transferidas para o alvo e discutir o motivo de elas não serem relevantes (JUNGES, 2011, p. 31).

Por fim, na fase concludente, *avaliação de resultados*, verifica-se se os alunos entenderam de fato a analogia, conseguindo identificar as características correspondentes entre alvo e análogo. Ainda, deve-se fazer uma revisão das etapas anteriores, buscando pontos de acertos e eventuais erros cometidos, para aprimoramento futuro. Essa fase engloba as duas últimas etapas, 8 e 9, do GMAT (RIGOLON, 2008).

Pela descrição do modelo podemos perceber que ele se opõe frontalmente à utilização de analogias espontâneas, elaboradas de última hora pelo professor. Mesmo analogias produzidas de antemão são contraindicadas pelo GMAT, caso o docente não tenha dedicado a elas um tempo mínimo, destinado a avaliar a adequação aos seus alunos.

Pensamos que este é um ponto positivo do GMAT. Analogias espontâneas ou improvisadas carregam consigo um maior risco de incompreensão. Por não ter-se debruçado sobre a analogia, a exposição do docente em sala de aula tenderá a ser menos clara, e a ignorar sutilezas conceituais potencialmente perigosas. Haverá maior risco de que os estudantes não compreendam bem a comparação, seja associando características não-análogas, deixando de associar características similares ou estendo a comparação fora dos seus limites de validade.

No mesmo sentido, todos os discentes do curso de Licenciatura em Física entrevistados ao longo deste trabalho afirmaram que a utilização de analogias espontâneas é mais arriscada. Um deles, contudo, afirmou que somente professores novatos deveriam evitar analogias improvisadas, já que profissionais experientes conseguiriam aplicá-las sem grande prejuízo.

Destacamos a seguir, algumas das respostas dadas à pergunta “você considera que o uso de analogias espontâneas ou improvisadas é mais arriscado?”:

Eu acredito que seja. Principalmente na prática do professor. Como eu usei elas no meu estágio, e estou começando a dar aula eu tenho medo às vezes de fazer assim e acabar confundindo ainda mais eles [alunos]. Eu acho que, quando eu uso nos textos, nos resumos elas são mais coerentes (ACADÊMICO 1).

Acredito que sim. Até pelo fato de, quando tu tenta improvisar tu pode acabar dando muita sorte de fazer uma coisa bem feita, mas o risco de dar uma coisa ruim também é bem grande (ACADÊMICO 3).

Improviso é uma coisa arriscada, né? Eu acho que qualquer coisa que tu na hora não, na hora tu tire do além assim, vou fazer isso na hora eu acho meio complicado. Tem um risco muito grande, pode ser que seja uma sacada genial, mas acho que pra errar é muito mais fácil (ACADÊMICO 4).

A preparação prévia defendida pelo método GMAT não abrange apenas a analogia em si e sua adequação ao grau de conhecimento dos alunos, mas alcança também a forma apresentação (terceira fase – etapa 6).

Pensamos que isso contribuiu para contornar as armadilhas da linguagem. Caberá ao professor ensaiar de antemão a apresentação da analogia. Nesse momento, poderá avaliar se existem palavras potencialmente desconhecidas, ou de sentido dúbio, em sua exposição. Em caso positivo, poderá optar por um sinônimo, por reformular a exposição ou mesmo por abandonar a analogia e utilizar outra estratégia didática.

Dentre os licenciandos entrevistados, apenas um afirmou que seria melhor abandonar uma analogia caso os alunos não compreendessem o sentido de uma palavra importante na comparação. Os demais opinaram que seria melhor definir o termo primeiro, ou usar um sinônimo. Dentre estes últimos, dois fizeram a ressalva de que procurariam usar uma segunda analogia como reforço, por receio de que a barreira da linguagem na primeira prejudicasse o entendimento.

Pesamos que se a palavra desconhecida apenas nomeasse uma objeto concreto (um pudim de passas, por exemplo), não seria necessário abandonar a analogias, mas tão somente prosseguir com um sinônimo ou com um termo que descrevesse um objeto parecido e mais comum (um panetone?). Contudo, se os estudantes desconhecessem por nome algo mais abstrato, como uma relação matemática ou uma característica imaterial, seria melhor abrir mão da analogia. Isso porque não é seguro supor que com uma explicação breve, ou com a simples troca de palavras, possam os alunos compreender logo o sentido de conceitos mais sutis.

Retornando ao modelo GMAT, outro ponto de destaque é que pressupõe que o professor conheça seus alunos *antes* de usar analogias (JUNGES, 2011). A adequação ou inadequação não residiria na comparação em si, mas sim na capacidade de alunos específicos a compreenderem corretamente. Isso também contribui para contornar a barreira da linguagem, vez que o docente terá melhores condições de avaliar, previamente, se os objetos e conceitos envolvidos na analogia são conhecidos por seus alunos.

Cabe destacar também que o GMAT especifica passos para a apresentação da analogia (etapa 7), que podem ser resumidas da seguinte forma: 1) apresentar o análogo; 2) conectar alvo e análogo; 3) explicitar as semelhanças entre ambos e 4) explicitar as diferenças (JUNGES, 2011).

Os dois últimos passos têm grande importância. Sem eles, a analogia mais se aproximará de uma metáfora – uma comparação implícita – relegando aos alunos a tarefa de distinguir similaridades e diferenças. A necessidade do terceiro passo é evidente, vez que o próprio cerne do pensamento analógico envolve colocar lado a lado características parecidas de domínios distintos. Contudo, para que os limites da comparação sejam entendidos, o quarto passo é igualmente importante.

Defendemos que toda apresentação de analogia deve incluir a exposição dos seus limites. Naturalmente, não é possível fazer uma lista exaustiva deles. Enquanto as similaridades são finitas, as distinções são inumeráveis. No entanto, apresentar ao menos os limites mais evidentes fará com o estudante se familiarize com a ideia de domínio de validade, e seja cauteloso ao pensar o alvo em termos do análogo.

Todos os licenciandos entrevistados afirmaram que é importante explicar juntamente com a analogia os seus limites de validade. Três deles disseram que fazem isso em sala de aula. Dentre estes, dois explicaram que preferem apontar diretamente as características não similares, bem como as situações em que a analogia falha. O terceiro licenciando disse que preferia fazer perguntas aos estudantes, e estimulá-los a fazê-las, para a partir daí avaliar se tinham entendido corretamente a proposta da comparação.

Relacionado a isso, um dos entrevistados explicou que ao usar analogias costuma relacioná-las a um modelo físico. Em resposta à pergunta “como é possível avaliar se os alunos entenderam os limites de validade de uma analogia”, afirmou o seguinte:

Eu acho que é explicar a validade de uma analogia. E falar que na realidade a gente faz um modelo, né? A gente cria algo a partir do fenômeno, e até onde esse modelo consegue explicar que a gente entende. O resto, sei lá, fatores externos... quando chegar no final fazer um

fechamento, mostrar até onde isso aqui serve, pra onde que isso não serve. (ACADÊMICO 4).

A manifestação acima é pertinente. Como visto no capítulo precedente, analogias estão sempre atreladas a modelos físicos. Se os alunos compreenderem essa ligação, não lhes será difícil estender as potencialidades e limitações dos modelos às analogias.

Por fim, fazemos a ressalva de que o GMAT se trata de um modelo de linhas gerais. Ela não trata de maneira específica, por exemplo, dos instrumentos através dos quais o professor poderá avaliar o nível de raciocínio e conhecimentos prévios dos estudantes. Tampouco dá orientações precisas sobre como selecionar analogias, ou avaliar os resultados de sua aplicação.

Não quer isso dizer, contudo, que seja de pouca utilidade. A partir das linhas gerais do GMAT, podemos extrair as seguintes orientações prontamente aplicáveis: 1) evitar o uso de analogias logo nas primeiras aulas, quando o professor ainda não teve tempo para conhecer os alunos; 2) evitar comparações espontâneas e improvisadas; 3) adequar a analogia a cada público específico, usando palavras e conceitos facilmente reconhecíveis; 4) deixar explícitos os pontos de similaridades entre alvo e análogo e 5) deixar explícitos os pontos de distinção entre alvo e análogo, além dos limites de validade da comparação.

3.2 MODELO TWA

Embora o modelo GMAT possua a vantagem de incorporar muitos fatores contextuais, é desvantajoso por sua extensão e grande quantidade de etapas. Assim, a prática escolar com base naquele modelo acaba prejudicada, ou mesmo abandonada, pela dificuldade de se aderir de perto a todos os passos propostos (JUNGES, 2011).

Como alternativa, foi desenvolvido o modelo TWA, sigla em inglês para *Teaching With Analogies*. Mantém-se a ideia de que analogias devem ser aplicadas não de forma improvisada, mas sim de acordo com uma metodologia previamente pensada. Reduz-se, contudo, a extensão, resultando em um modelo mais simples e eficaz (RIGOLON, 2008).

O TWA foi desenvolvido por Shawn Glynn e Bruce Britton em 1988. Teve como base a pesquisa de analogias em livros didáticos de Química, Física e Biologia (JUNGES, 2011). Também foram observadas aulas de professores de ciências tidos como exemplares (FERRAZ; TERRAZZAN, 2003). Como resultado, foram selecionadas as analogias mais significativas do ponto de vista didático, e a partir de então submetidas a uma análise para identificar suas características comuns e processos de elaboração.

O modelo TWA pode ser esquematizado em seis passos básicos (COLL, 2009). São os seguintes (RIGOLON, 2008):

1- Introdução do conceito alvo: explica-se de maneira introdutória o conceito que se pretende ensinar. A extensão dessa etapa varia de acordo com a complexidade do assunto e da forma como se usará posteriormente a analogia;

2 – Recordação, ou sugestão, do conceito análogo: por *recordação* dá-se a entender que o análogo, necessariamente parte do domínio conhecido, não é ensinado aos alunos. Estes são apenas lembrados do que já sabem sobre aquele objeto ou conceito. Já o termo *sugestão*, significa que aos alunos será proposta uma situação análoga, e a comparação será levada adiante apenas se ela lhes parecer familiar.

3 - Identificação das características relevantes do alvo e análogo: nesse momento as similaridades e distinções não são ainda abordadas, mas tão somente expostas as diversas características dos objetos e conceitos envolvidos na comparação.

4 – Mapeamento de similaridades entre alvo e análogo: nessa etapa, as correspondências são estabelecidas, seja diretamente pelo professor, seja pelos alunos com seu auxílio.

5 – Indicação de onde a analogia falha: explicitam-se as diferenças entre alvo e análogo e buscam-se conceitos alternativos eventualmente desenvolvidos pelos alunos.

6 - **Esboço de conclusões sobre o alvo:** sistematização do que se pôde aprender sobre o alvo a partir do análogo.

A partir da proposta TWA, as seis etapas devem se desenvolver sob a direção do professor, e não de forma autônoma pelo aluno. Busca-se com isso evitar que as etapas sejam realizadas de maneira falha ou superficial. Pode ocorrer, por exemplo, a má identificação de aspectos análogos e ou conclusões errôneas por parte dos alunos (JUNGES, 2011).

Ao discorrer sobre a aplicação do modelo TWA, Ferraz e Terrazzan (2003, p. 215) aduzem que

[...] a ordem em que estes seis passos são desenvolvidos pode variar, o importante é levar em consideração a realização efetiva de todos eles. Se o professor ou o autor do livro didático desenvolver somente algum desses passos, deixando outros a cargo dos estudantes, é possível que estes venham a desenvolvê-los pobremente. O resultado pode ser a formação ou a manutenção de concepções alternativas sobre o assunto que está sendo ensinado.

Concordamos com o papel reservado ao professor, pelas razões acima. Não parece plausível esperar que os alunos de Ensino Médio, em sua maioria adolescentes com modesta bagagem acadêmica, tenham maturidade suficiente para estabelecer as ligações analógicas de forma precisa por conta própria.

Apesar de ter a aplicação centrada no professor, o TWA não impede que os estudantes interpretem as analogias, desde que auxiliados pelo docente (etapa 4). Nesse caso, existe a vantagem de que os alunos familiarizam-se com estratégias interpretativas, desenvolvem um senso e podem, futuramente, desenvolver suas próprias analogias (RIGOLON, 2008).

O TWA se distancia do GMAT em alguns pontos. Um deles é que não se ocupa da fase de elaboração e escolha das analogias, mas apenas da sua aplicação. Em tal ponto não chega a surpreender, já que o modelo em estudo tem justamente a proposta de ser mais conciso.

Vê-se também que a terceira etapa do TWA (identificação das características relevantes) não tem um correspondente preciso no GMAT. Neste, os aspectos relevantes e as ligações entre eles são apresentados de maneira conjunta. Naquele, primeiro elencam-se características, e somente então procuram-se semelhanças (ou diferenças) entre elas. Defendemos que nesse ponto a proposta do TWA é superior, por conduzir o raciocínio de forma mais clara, organizada e progressiva. A identificação de similaridades e distinções é feita sobre uma base de características previamente estabelecida, base esta ausente no GMAT.

O TWA possui ainda uma desejável maleabilidade. Permite que uma analogia seja abortada caso o análogo não pareça familiar aos alunos (fase 2 – sugestão do conceito análogo). Aqui talvez seja injusto falar em superioridade sobre o GMAT, já que este último pressupõe que o professor conheça seus estudantes, minimizando a chance de que proponha como análogo algo fora da realidade deles. Em todo caso, a maleabilidade a que nos referimos deve ser utilizada com cuidado, para não se tornar uma desculpa para desleixo ou falta de preparo, como se ao professor fosse lícito sugerir objetos análogos ao acaso, na esperança de que um deles sirva ao seu propósito.

Outro ponto de interesse, é que o TWA prevê a utilização de analogia somente após a apresentação do conceito alvo (etapa 1). Questionados sobre o momento mais adequado para introduzir uma comparação, não houve consenso entre os licenciandos entrevistados. Dois deles afirmaram sempre utilizar as analogias *antes* de apresentar o conceito físico alvo. Os outros dois afirmaram avaliar a conveniência disso caso a caso, podendo apresentar o análogo antes ou depois do alvo, conforme o contexto torne uma ou outra opção mais adequada.

Destacamos as seguintes respostas, dadas às perguntas “você acredita que é melhor utilizar uma analogia antes ou depois de apresentar o conceito físico alvo? Por quê?”:

Eu acho que tem que ser antes. Eu sempre uso antes. Porque... eu acredito que.... uma analogia, se a gente pensar em fazer uma analogia com a vida dele [aluno], com o cotidiano do dia-a-dia, vai chamar a atenção. E esse chamar a atenção eu uso pra dar continuidade no conteúdo. Pra eles prestarem atenção depois. (ACADÊMICA 1).

Então, acho que aí depende muito do, da situação. Se for simples de eles entender, se tu achas simples de entender acho que convém falar depois, mas senão, pra pelo menos eles perceberem que tu quer falar, acho que ela vem antes. Depende muito do conteúdo a ser trabalhado. (ACADÊMICO 3).

A razão apontada pela acadêmica é certamente relevante, já que uma das potencialidades da analogia é chamar a atenção do estudante. Pensamos, contudo, que em geral é mais adequado apresentar a comparação após o conceito físico alvo. Dessa forma, o aluno saberá de antemão onde se pretende chegar com a analogia, ajudando a guiar seu raciocínio em um determinado sentido.

Além disso, usar a comparação em um momento posterior faz com que o conceito alvo seja considerado pelo menos duas vezes, uma antes e outra depois da analogia. Essa retomada nos parece bastante aconselhável, e inclusive lembra a proposta de Aprendizagem em Espiral, de Jerome Bruner.¹

No mesmo sentido, o modelo TWA contém uma espécie de abandono da analogia em sua etapa concludente (esboço de conclusões sobre o alvo). Nela, as pontes figurativas entre os domínios conhecido e desconhecido são deixadas de lado. As conclusões focam no objeto ou conceito alvo por si mesmo, sem o suporte do análogo. Relembrando a metáfora de Perelman citada no primeiro capítulo deste trabalho, assim como os andaimes são retirados de uma casa recém construída, no modelo TWA a analogia é retirada após cumprir seu objetivo.

Tal peculiaridade ajuda a evitar a dependência da analogia, isto é, que o estudante passe a pensar somente em termos de comparações. Também, evita que tome o conceito alvo pelo análogo, já que os dois se encontram em apenas uma etapa do processo (passo 4), para logo em seguida serem apontadas suas diferenças (passo 5), e então definitivamente separados (passo 6).

Assim, são várias as contribuições do modelo TWA para o uso eficaz de analogias. Como ressalva, apontamos o fato de que não se ocupa da fase de

¹ O conceito de aprendizagem em espiral prega que qualquer conteúdo científico pode ser ensinado a alunos desde a tenra idade, pelo menos em suas formas mais simples, uma vez que esses mesmos conteúdos deverão ser posteriormente retomados e aprofundados, de acordo com a evolução cognitiva do estudante (ALMEIDA; PRAIA; VASCONCELOS, 2003).

escolha e elaboração das comparações, e muito pouco do contexto em que devem ser usadas. Nesse mesmo sentido:

[...] contexto em que se estabelece a relação analógica entre o domínio-alvo e o domínio análogo é essencial. Para a aprendizagem com analogias, dois aspectos devem ser considerados: o lugar de onde a analogia provém (professor ou livro didático) e o estudante. Seja através de falas dos professores ou através de textos didáticos, as relações analógicas entre alvo e análogo se definem dentro do contexto particular estabelecido pelo apresentador. Porém, na grande maioria das vezes, os estudantes não compartilham o contexto de onde se originou a analogia. Nestes casos, costumam sentir-se meramente confrontados com objetos (FERRAZ; TERRAZZAN, 2003, p. 216)

Nesses pontos, contextualização e preparação, nos parece que o modelo GMAT possui superioridades que podem ser utilizadas, ao menos em parte, para suprir as deficiências do TWA.

3.3 MODELO FAR

Assim como o TWA pretendeu oferecer uma alternativa mais sintética ao GMAT, o modelo (ou guia) FAR surgiu com o intuito de ser ainda mais objetivo que o TWA, facilitando seu uso em sala de aula (COLL, 2009).

Foi proposto em 1998 por David Treagust, a partir da observação de que os contratempos cotidianos nem sempre favoreciam a aderência estrita aos seis passos do guia TWA. A sigla FAR corresponde, em inglês, a *Focus-Action-Reflexion* (Foco-Ação-Reflexão), sendo o modelo composto precisamente por três etapas, identificadas pelas três letras da sigla (JUNGES, 2011).

São as seguintes (COLL, 2009):

1- **Foco**: consiste em três partes – conceito alvo, estudantes e conceito análogo. Nessa etapa, prévia à efetiva utilização da analogia, cabe ao docente avaliar a complexidade dos conceitos envolvidos, assim como os conhecimentos prévios dos estudantes;

2 – **Ação**: as similaridades e distinções entre os conceitos alvo e análogo são mapeadas;

3 – **Reflexão**: consiste em duas partes – conclusões e melhorias. Na primeira, verifica-se se os estudantes compreenderam a analogia de forma satisfatória. Na segunda verifica-se, com base na experiência em sala de aula, se há margem para aprimorar a analogia ou a forma de ensiná-la.

Embora o modelo acima tenha a intenção de ser mais sucinto que os precedentes, somos da opinião de que na verdade engloba as propostas dos anteriores. Se levarmos em conta as subdivisões dos passos acima, o FAR tem seis, e não três etapas. Além disso, abrange não somente a aplicação da analogia (como o TWA), mas também sua elaboração, escolha e contextualização (como o GMAT).

Assim, a praticidade perseguida pelo FAR depende muito mais da analogia em si que do guia metodológico. Há casos em que os domínios analógico e alvo estão tão distantes entre si que a chance de compreensão incorreta é minimizada. As ligações entre ambos não são óbvias, de forma que os estudantes dificilmente encontrarão outras além daquelas explicitadas pelo professor (SIMANEK, 2014).

Por exemplo, para explicar o processo de reação em cadeia na fissão nuclear, podemos propor a seguinte analogia. Imagine-se que no chão são colocadas várias ratoeiras armadas, próximas umas das outras, e sobre cada uma delas duas rolhas. Depois que a primeira ratoeira é desarmada, suas duas rolhas são atiradas para longe, desarmando outras duas ratoeiras, que por sua vez arremessarão suas quatro rolhas, que dispararão outras quatro armadilhas, e assim sucessivamente até que todas tenham sido desarmadas (SIMANEK, 2014).

Toda a ação acontece rapidamente, e é autossustentável após o primeiro disparo, além de aumentar em progressão geométrica. Tais características são partilhadas pelo processo de reação em cadeia na fissão nuclear. Contudo, diante da disparidade gritante entre átomos e ratoeiras, será mais fácil para os estudantes entenderem os limites da analogia, e aceita-la como simples esquema mnemônico (SIMANEK, 2014).

Assim, comparações que envolvem domínios muito diferentes, com similaridades pontuais, são mais seguras, no sentido de que há menos risco de que os alunos a tomem como literal, ou que a estendam além de limites bem definidos.

Em uma das entrevistas feitas para este trabalho, uma graduanda em Física expressou opinião semelhante. Eis a resposta dada à seguinte pergunta “Que cuidados o professor deve tomar para evitar que o estudante confunda a representação (analogia) com o objeto ou conceito representado?”:

Isso acontece bastante. Já aconteceu comigo. Agora eu penso bastante, porque eu usei um outro conceito de física. Era quantidade de movimento, eu fui explicar o que era variação da quantidade de movimento e acabei falando da variação da temperatura. Depois eles [alunos] queriam trabalhar só com a variação da temperatura, eles não conseguiram fazer associação. Então eu não uso mais analogias relacionadas à física, a conceitos mais práticos da física. Tento fazer com a realidade deles [dos alunos] a partir de agora (ACADÊMICA 1).

No caso acima, a analogia envolveu dois conceitos físicos – variação de temperatura (análogo) e variação da quantidade de movimento (alvo). Dada a proximidade entre os dois domínios (ambos conceitos físicos abstratos), os estudantes tiveram dificuldade em dissociá-los após a comparação. Tanto que a entrevistada passou desde então a preferir análogos mais próximos do cotidiano, e mais distantes da grade curricular.

Acordamos que quanto mais próximos os domínios alvo e análogo estiverem, mais cuidadosa deve ser a preparação e apresentação da analogia. Nessa categoria estão comparações entre conceitos físicos, como massa e momento de inércia, por exemplo. Por outro lado, quando os domínios são distantes, como ratoeiras e átomos, existem menos fatores a ser levados em conta. Nesses casos, haverá margem para preparações e apresentações mais sucintas, que constituem o propósito do modelo FAR.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de analogias no ensino de ciências, e particularmente no ensino de Física, certamente possui diversas vantagens. Ajuda a torná-lo significativo, além de ativar o raciocínio, tornar inteligíveis conceitos abstratos ou de difícil visualização, facilitar mudanças conceituais e revelar concepções alternativas indesejadas.

Contudo, a utilização das analogias exige certos cuidados. A começar pelo que se entende por analogia. Esta não se confunde com modelo, e tampouco se resume a um mero exemplo ou metáfora. Antes, consiste em comparar, explicitamente, características similares de conceitos, fenômenos ou objetos pertencentes a domínios distintos, um alvo (desconhecido) e outro análogo (conhecido).

Diversas dificuldades, ou problemas, podem surgir pelo uso de analogias inadequadas, ou mesmo pelo mau uso de analogias adequadas. A linguagem, por exemplo, pode representar uma barreira. Assim é caso a comparação envolva palavras desconhecidas pelos alunos, ou que possam ser interpretadas por estes de maneira diversa da pretendida pelo professor.

Há também o risco de que os estudantes não compreendam os limites da analogia. Podem interpretá-la de forma literal, confundindo alvo e análogo, ou tornando-se dependentes dela, a ponto de somente conceberem o alvo em termos do análogo, mas não separadamente. Ainda, é possível que estendam a comparação além do pretendido, associando características não similares como se fossem semelhantes.

Por fim, existe o risco de que os alunos não percebam os pontos de similaridade entre os domínios conhecido e desconhecido. Nessa hipótese, a analogia sequer é reconhecida como tal, e é como se jamais tivesse disso feita, caindo por terra qualquer benefício que dela pudesse advir.

Não se defende, contudo, que seja o caso de recomendar o abandono completo das analogias, mas apenas o abandono do seu uso improvisado e

casuístico. Consegue-se isso através da utilização de metodologias elaboradas especificamente para minimizar os riscos e potencializar os benefícios das analogias no ensino.

Três de tais metodologias foram consideradas no capítulo concludente deste trabalho. A mais antiga, identificada pela sigla GMAT (General Model of Analogy Teaching), é também a mais extensa e abrangente, composta por nove passos que compreendem não somente a apresentação da analogia, mas também sua escolha, elaboração e contextualização. Em seguida, cronologicamente, vem o modelo TWA (*Teaching With Analogies*), mais sintético que o anterior, e focado na apresentação da analogia em sala de aula. Por fim, há o modelo FAR (*Focus-Action-Reflexion*), cuja proposta é ser ainda mais objetivo, composto por três etapas que, a nosso ver, sintetizam os passos dos modelos precedentes.

A partir dos modelos acima, bem como das entrevistas realizadas com quatro graduandos do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, foi possível chegar a algumas práticas e cuidados que podem contribuir para o uso mais eficaz das analogias. São os seguintes:

1 – Evitar o uso de analogias espontâneas ou improvisadas. A preparação prévia contribui para a clareza da apresentação posterior, e a identificar possíveis armadilhas conceituais e de linguagem.

2 - Evitar o uso de analogias antes de conhecer os alunos e o meio social em que vivem. Com isso reduz-se o risco de que a linguagem do professor esteja em dissonância com a dos estudantes, e de que a escolha do análogo recaia em objeto ou conceito pouco familiar.

3 – Explicitar não somente as similaridades entre alvo e análogo, mas também suas diferenças, além das situações em que a analogia não se aplica. Evita-se com isso que o estudante entenda a comparação como algo literal, ou que a estenda além dos seus limites.

4 – Apresentar o conceito alvo antes da analogia, e retornar a ele após. Dessa forma torna-se mais fácil para o aluno perceber desde o início onde a analogia pretende chegar, e mais inteligível sua linha de raciocínio.

5 – Quando possível, evitar a comparação entre conceitos físicos próximos, para reduzir o risco de confusão entre um e outro. Ao selecionar o objeto ou conceito análogo, dar preferência àqueles presentes no cotidiano.

6 – Ao final da analogia, retomar o conceito alvo de forma desvinculada do análogo. Com isso, busca-se evitar que o estudante torne-se dependente da comparação, sendo capaz de compreender o alvo enquanto conceito autônomo, e não necessariamente relacionado analogicamente a um outro.

Naturalmente, o uso eficaz das analogias exige dedicação e preparação. Contudo, diante dos seus benefícios e potencialidades, é provável que o comprometimento do professor produza bons resultados em sala de aula.

REFERÊNCIAS

ALDRIGUE, Natália de Souza. ESPÍNDOLA, Lucienne. **Revista Veredas**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, 2011.

ALMEIDA, Leandro. PRAIA, João Félix. VASCONCELOS, Clara. Teorias de aprendizagem e o ensino/aprendizagem das ciências: da instrução à aprendizagem. **Revista Psicologia Escolar e Educacional**, Campinas, v. 7, n. 1, 2003.

ALMEIDA, Voltaire de Oliveira. CRUZ, Carolina Abs da. SOAVE, Paulo Azevedo. **Revista Textos de Apoio ao Professor de Física**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, 2007.

ANDRADE, Beatrice. FERRARI, Nadir. ZYLBERSZTAJN, Arden. **Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciência**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, 2002.

BASSO, Andreza. PEDUZZI, Luiz Orlando Quadro. O Átomo de Bohr em livros didáticos de Física: interagindo com autores. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru/SP. **Anais do IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**. Bauru. 2003.

BASTOS, Fernando. NARDI, Roberto. **Debates recentes sobre a formação de professores: considerações sobre contribuições da pesquisa acadêmica**. In.: roberto Nardi (Org.). Formação de Professores e Práticas Pedagógicas no Ensino de Ciências. São Paulo: Escrituras, 2008, 228 p.

BOZELLI, Fernanda Cátia. **Analogias e metáforas no ensino de física: o discurso do professor e o discurso do aluno**. 2005. 234f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005. Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/BibliotecaVirtual/ArquivosPDF/DIS_MEST/DIS_MEST2005_0331_BOZELLI%20FERNANDA%20CATIA.pdf>.

_____. NARDI, Roberto. Explicação no Ensino de Física: o uso de analogias em sala de aula por licenciandos. In.: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2007. **Caderno de Resumos**. Belo Horizonte: **ABRAPEC**, 2007. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/vienpec/CR2/p616.pdf>>.

_____. **Ensino de física, analogias e a dinâmica do contexto interativo discursivo em sala de aula**. In: Roberto Nardi. (Org.). Ensino de Ciências e Matemática I: Temas sobre Formação de Professores. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009, 258 p.

CHEVALLARD, Yves. **On Didactic Transposition Theory: Some Introductory Notes**. Simpósio Internacional de Pesquisa e Desenvolvimento em Educação Matemática, Bratislava, Tchecoslováquia, 1988. Disponível em:

<http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/On_Didactic_Transposition_Theory.pdf>.

COLL, Richard. **A better way to teach with analogies**. New Zealand Institute of Chemistry, 2009. Disponível em: < http://nzic.org.nz/chemed-nz/issue-archive/ChemEdNZFeb09_Coll.pdf>.

DAGHER, Zoubeida. **O Caso das Analogias no Ensino da Ciência para a Compreensão**. Em Mintzes, J.J., Wandersee, J.H. & Novak, J.D. (Eds.). *Ensinando Ciência para a Compreensão*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2000.

DUARTE, Maria da Conceição. Analogias na Educação em Ciências: contributos e desafios. **Revista Investigações no Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.10, n.1, 2005.

DUNBAR, Kevin. **How Scientists Build Models In Vivo Sciences as a Window on the Scientific Mind**. In.: Lorenzo Magnani (Org.) *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. Pavia: Springer Science, 1999, 342 p. Disponível em: < https://books.google.com.br/books?id=ghHaBwAAQBAJ&pg=PA88&lpg=PA88&dq=rutherford+atom+analogie+solar+system&source=bl&ots=ed6d6YsL2L&sig=h2_oMWx3hX9BViUW01Fiv1DYGIY&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjVIMLZmZDNAhVJeSYKHZ8-CjIQ6AEILDAC#v=onepage&q=rutherford%20atom%20analogie%20solar%20system&f=false>.

ELIA, Marcos da Fonseca. LOUZADA, Alexandre Neves. SAMPAIO, Fábio Ferrentini. Concepções alternativas dos estudantes sobre conceitos térmicos: Um estudo de avaliação diagnóstica e formativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 1, 2015.

FERRAZ, Daniela Frigo; TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. O uso de analogias como recurso didático por professores de Biologia no ensino médio. **Revista Brasileira de Educação em Pesquisa e Ciência**, São Paulo, v.1, n.3, 2001.

_____. Uso Espontâneo de Analogias por Professores de Biologia e o Uso Sistematizado de Analogias: Que Relação? **Revista Ciência & Educação**, Bauru, v.9, n. 2, 2003.

FERREIRA, Poliana Flávia Maia. JUSTI, Rosária da Silva. SOUZA, Vinícius Catão de Assis. Analogias utilizadas no ensino dos modelos atômicos de Thomson e Bohr: uma análise crítica sobre o que os alunos pensam a partir delas. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 11, n.1, 2006.

GREENE, Brian. **O Tecido do Cosmo**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

JUNGES, Samira. Análise do uso de analogias em livros de Física para o Ensino Médio. **Revista da Graduação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, 2011.

LAWSON, Anton. The importance of analogy: a prelude to the special issue. **Journal of Research in Science Teaching**, v.30, n.10, 1993.

LOPES, Bruno Bernardo Galindo. Abordagem de concepções alternativas e processos de mudança conceitual em livros didáticos de física. **Revista Ciências em Foco**. Campinas, v. 1, n. 2, 2009.

PARENTE, F.A.G. SANTOS, A.C.F. TORT, A.C. O átomo de Boh no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 1, 2014.

PERELMAN, Chaim (1987). Analogia e Metáfora. **Enciclopédia Einaudi - Oral/Escrito Argumentação**, v.11. Lisboa/POR: Imprensa Nacional/Casa da Moeda.

PRATA, Leonardo de Almeida. **Novas analogias no ensino de Física – Eletrostática**. 2012. 89 f.. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Nilópolis, 2011.

RIGOLON, Rafael Gustavo. **O conceito e o uso de analogias como recurso didático por licenciandos de Biologia**. 2008. 132 f.. Dissertação (Mestrado em Educação para as Ciências) – Universidade Estadual de Maringá – UEM. Maringá, 2008. Disponível em: <<http://cienciaematematica.vivawebinternet.com.br/media/dissertacoes/b69c927b373e216.pdf>>.

SANTOS, Antônio Carlos Fontes dos. SOUZA, Vitor Ribeiro de. **Uma aula sobre energia mecânica e sua conservação através do uso de analogias**. 2015. 23f.. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Curso de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/14716628-Uma-aula-sobre-energia-mecanica-e-sua-conservacao-atraves-do-uso-de-analogias.html>>.

SANTOS, Saulo Cezar Seiffert; TÉRAN, Augusto Fachin. Aprendizagem significativa, modelos mentais e analogias no contexto construtivista: uma aproximação possível para a educação em ciências. Encontro Internacional de Aprendizagem Significativa, 6. Encontro Nacional de Aprendizagem Significativa, 3. **Anais do VI EIAS / 3 ENAS**. São Paulo/SP, 2010. Disponível em: <<http://ensinodeciencia.webnode.com.br/products/analogias-e-metaforas/>>.

SIMANEK, Donald. **The dangers of analogies**. Lock Haven University, 2014. Disponível em: <<https://www.lhup.edu/~dsimaneck/scenario/analogy.htm>>.

SILVA, Boniek Venceslau da Cruz. **Young fez, realmente, o experimento da fenda dupla?** Latin American Journal Physics, v. 3, 2009. Disponível em: <http://www.lajpe.org/may09/16_Boniek_Venceslau.pdf>.

SILVA, Leandro Londero da. TERRAZZAN, Eduardo. O Uso de Analogias no Ensino de Modelos Atômicos *In: XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF*. Rio de Janeiro/RJ. **Anais do XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de

Janeiro, 2005. Disponível em: <
http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_ousodeanalogiasnoensinod.trabalho.pdf>.

TABER, Keith. **The Atom as a Tiny Solar System**. In.: Georgio Tsapalis (Org.). Concepts of Matter in Science Education. New York: Springer, 2013, 523 p. Disponível em: <
<https://books.google.com.br/books?id=nIfEBAAAQBAJ&pg=PA172&lpg=PA172&dq=rutherford+atom+analogy+solar+system+alternative+conceptions&source=bl&ots=Rf7UG1gNU5&sig=BeiMURPzVI2e661-t4ZGv3HFqXc&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjy77zImpDNAhVCSCYKHVrPBoMQ6AEIHzAA#v=onepage&q=rutherford%20atom%20analogy%20solar%20system%20alternative%20conceptions&f=false>>.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. ZAMBON, Luciana Bagolin. Analogias produzidas por alunos do ensino médio em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, vol. 35, n. 1, 2013.

ANEXO

QUESTIONÁRIO

1. O que você entende por analogia? E metáfora?
2. Existem diferenças entre a analogia utilizada nos discursos falado e escrito?
3. Que características tornam uma analogia adequada, em geral?
4. Que características tornam uma analogia não adequada, em geral?
5. Em sala de aula é comum o Professor fazer analogias para tratar de determinados assuntos/conteúdos. No seu entendimento, é uma boa estratégia o uso de analogias para facilitar o aprendizado do aluno?
6. Que dificuldades de aprendizado podem ser provocadas pelo uso de analogias inadequadas?
7. Suponha que determinada analogia envolva um termo pouco conhecido pelos alunos. Na sua opinião, é melhor descartá-la ou utilizá-la, desde que se explique o significado daquele termo?
8. Que cuidados o professor deve tomar para evitar que o estudante confunda a representação (analogia) com o objeto ou conceito representado?
9. O uso de analogias improvisadas (não preparadas de antemão) oferece maiores riscos de compreensão incorreta. Você concorda com essa afirmação? Em caso positivo, que riscos são esses?
10. Como é possível avaliar se os alunos entenderam os limites de validade de uma analogia?
11. Se determinada analogia tem domínio de validade muito restrito, existem situações em que é adequada sua utilização mesmo assim?
12. Você faz uso de analogias em suas aulas? Teria condições de oferecer 2 ou 3 exemplos?

13. Você acredita que é melhor utilizar a analogia antes ou depois de apresentar o conceito físico representado? Por quê?

14. É melhor uma boa metáfora ou uma analogia? Como você justifica a escolha?