



MAES-3DMF: mapeamento estrutural de um Modelo Analógico do Espaço Sideral 3D em Meio Fluido para o ensino de Ciências

Délcio Julião Emar de Almeida^a, Rangel Benedito Sales de Almeida^a, Alexandre da Silva Ferry^b

^aInstituto de Comunicação e Design do Centro Universitário de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

^bCentro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

ARTICLE INFO

Received: 24 septiembre 2018

Accepted: 30 octubre 2018

Available on-line: 1 noviembre 2018

Keywords: Models, Analogies, Science Education, Astronomy Teaching

E-mail addresses:

delcio.almeida@prof.unibh.br

rangelsales13@gmail.com

alexandreferry001@gmail.com

ISSN 2007-9842

© 2018 Institute of Science Education.
All rights reserved

ABSTRACT

This article presents the analysis of a model developed for astronomy teaching in the light of Structural Mapping theory Dedre Gentner, in order to characterize it in terms of its scope and limitations, arguing about its potential as a resource scientific dissemination and teaching mediation in science education. This model was named Model Analogous to outer space in 3 dimensions in fluid medium (MAES-3DMF). To this end, the analysis was developed from the alignment of its structural elements, the relevant attributes and the relationships between these elements and / or their attributes, placing side by side features of scientific interest entity - in this case the outer space - and the model built to represent it. The MAES-3DMF is the result of research carried out in two Master's thesis at the Federal Center of Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), which resulted in the traveling exhibit of astronomy Space Multiverse. Therefore, its initial purpose was related to science communication in non-formal education spaces. We discuss its potential as a teaching mediation resource for astronomy education. The structural mapping, while theory and MAES-3DMF analysis tool enabled us to argue about the scope and limitations of the model as a partial representation of the modeled entity, and allowed us to discuss their educational potential as mediation resource for the teaching of science.

O presente artigo apresenta a análise de um modelo elaborado para o ensino de Astronomia, à luz da teoria do Mapeamento Estrutural de Dedre Gentner, a fim de caracterizá-lo em termos de sua abrangência e limitação, discutindo a respeito das suas potencialidades como recurso de divulgação científica e de mediação didática no ensino de Ciências. Esse modelo foi nomeado de Modelo Análogo ao Espaço Sideral em 3 Dimensões em Meio Fluido (MAES- 3DMF). Para tal, a análise foi desenvolvida a partir do alinhamento dos seus elementos estruturais, dos atributos relevantes e das relações entre esses elementos e/ou seus atributos, colocando lado a lado características da entidade de interesse científico – no caso o espaço sideral – e as do modelo construído para representá-la. O MAES-3DMF é resultado de pesquisas desenvolvidas em duas dissertações de Mestrado no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), que resultou na exposição itinerante de astronomia Espaço Multiverso. Portanto, seu intento inicial se relacionava com a divulgação científica em espaços não-formais de educação. Neste trabalho discutimos o seu potencial como recurso de mediação didática para o ensino de Astronomia. O mapeamento estrutural, enquanto teoria e ferramenta de análise do MAES-3DMF nos possibilitou argumentar a respeito da abrangência e limitações do modelo como representação parcial da entidade modelada, e nos permitiu discutir o seu potencial pedagógico como recurso de mediação para o ensino de Ciências.

I. INTRODUÇÃO

O Modelo Analógico do Espaço Sideral 3D em Meio Fluido - MAES-3DMF é um modelo criado com o propósito de representar parcialmente aspectos e entidades do Universo. Tal modelo surgiu a partir da proposta de remodelagem do “Simulador de Planetário Líquido” proposto para o ensino da formação de sistemas solares objetivando a alfabetização e assimilação de conceitos científicos (Oliveira & Nagem, 2010). Tal modelo, composto por água, óleo e álcool, passou pelo processo de remodelagem com o objetivo de expandi-lo para espaços não formais de educação, tais como museus e exposições científicas (Almeida, 2012).

I.1 Descrição da montagem do MAES-3DMF

O MAES-3DMF foi concebido para ser construído em dimensões que podem variar e se ajustar a qualquer ambiente, utilizando materiais baratos e disponíveis, podendo se figurar individualmente ou em conjunto com outros MAES-3DMF, dependendo do espaço disponível. Os principais materiais que o compõem são um pedestal, preferencialmente de madeira, o qual funciona como suporte para um recipiente de vidro que contém os fluidos e como contenedor de uma lâmpada de luz negra, um lastro opcional para estabilização do sistema e instalação elétrica.

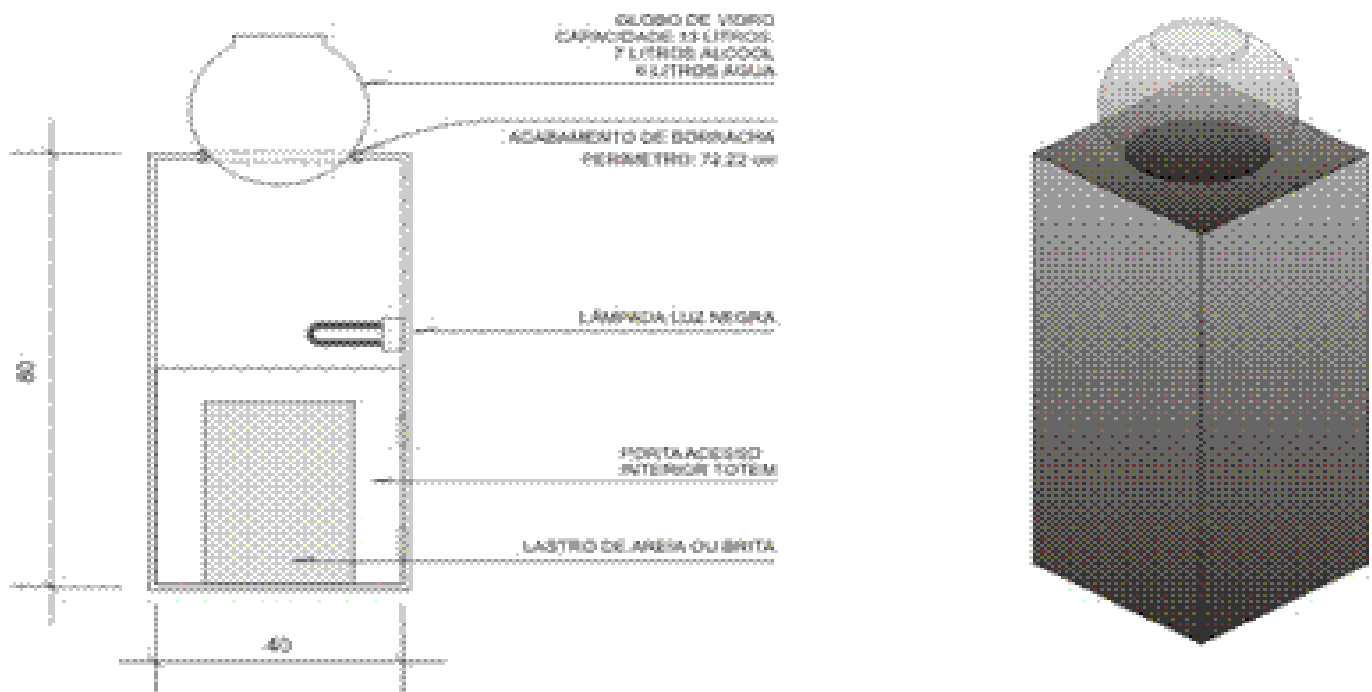


FIGURA 1. Desenho esquemático (corte longitudinal) e perspectiva isométrica do pedestal de apoio. *Fonte:* Décio Almeida (2011). Arquivo pessoal.

A montagem do sistema se caracteriza pela inserção de água no recipiente esférico de vidro, seguida pela introdução de álcool no sistema. A quantidade dessas duas substâncias dependerá do tamanho do recipiente, sendo aproximadamente metade de água e a outra metade de álcool, o qual é introduzido pelo processo de vasos comunicantes.

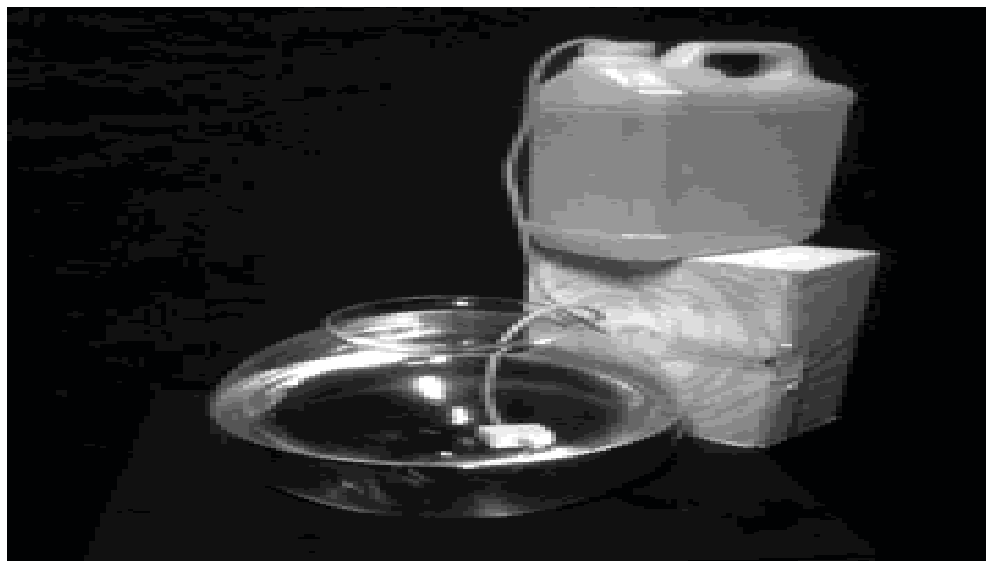


FIGURA 2. Demonstração do sistema de inclusão de álcool sobre a água por meio da técnica de vasos comunicantes. Fonte: Délcio Almeida (2011). Arquivo pessoal.

O óleo é acrescentado ao sistema, por meio de aspersão, logo após a conclusão da inclusão do álcool no recipiente, o qual é lacrado em seguida. Vale aqui esclarecer que o óleo é misturado a diversos pigmentos que possuem cores variadas, em recipientes de aspersão separados, sendo borrifados no sistema bifásico água-álcool, um de cada vez. No momento em que se incluem os óleos pigmentados, os mesmos começam a se interagir, aglutinando e movimentando, permitindo a verificação das primeiras similaridades com a entidade “espaço sideral”, tais como a formação da nebulosa primordial (figura 3. A), configuração de galáxias (figura 3. B), e formação de sistemas planetários.

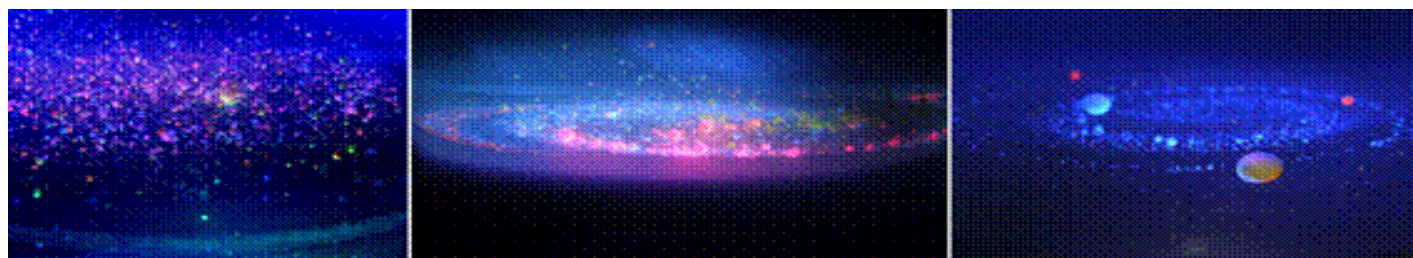


FIGURA 3. Configurações após a inclusão dos óleos pigmentados no sistema água/álcool. Fonte: Júlio Alessi, 2013 (arquivo pessoal)

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

II.1 Modelos na Ciência e na Educação em Ciências

Ao abordar o papel dos modelos na Ciência e na Educação em Ciências, primeiramente devemos definir, com clareza, qual é a concepção de modelo adequada a esse contexto e que, conseqüentemente, nos interessa para análise. O termo modelo é, sem dúvida, bastante polissêmico (Chamizo, 2013), o que lhe permite assumir diferentes significados em diversos contextos de aplicação. Em alguns contextos, os modelos são concebidos como um padrão a ser seguido (modelo de família, modelo de escola, etc), em outros, como uma marca, um tipo de alguma coisa (modelo de carro, modelo de avião, modelo de geladeira, etc), ou ainda, como algo a ser reproduzido (molde de alguma coisa). No entanto, nenhuma dessas concepções reflete o significado atribuído aos modelos no contexto da Ciência e, conseqüentemente, no da Educação em Ciências.

Em Ciência e na Educação em Ciências, os modelos são concebidos como representações parciais de alguma entidade de interesse científico (partículas, sistemas, objetos, fenômenos, processos etc) criadas com finalidades específicas quanto à entidade representada, sendo passíveis de modificações (Justi et al., 2012). Os modelos são representações parciais que estabelecem relações de similaridades com as entidades modeladas (Giere, 1988, Chamizo, 2013). Essas representações também são concebidas (e devem ser compreendidas) como mediadoras entre a realidade e as teorias sobre essa realidade. Em outras palavras, como mediadoras entre as entidades de interesse científico e as formas pelas quais a Ciências as concebem (Mozzer & Justi, 2015).

Uma parte da literatura dedicada ao estudo dos modelos na Ciências e na Educação em Ciências tem apresentado uma tipologia de modelos que nos permitem distingui-los em termos de seus diferentes contextos e finalidades. Segundo essa tipologia, inicialmente apresentada por Gilbert e Boulter (1997), podemos distinguir os modelos científicos consensuais, os modelos curriculares e os modelos didáticos (também chamados de modelos de ensino). Chamizo (2013), em sua revisão bibliográfica sobre modelos e modelagem no contexto da Ciência e da Educação em Ciências, resume diferentes tipologias e classificações apresentadas por diferentes autores: (i) modelos de escala, analógicos, matemáticos e teóricos (Black, 1962); (ii) icônicos, simbólicos e enactive models (Bruner, 1966); (iii) de escala, análogos e teóricos (Giere, 1991); (iv) modelos mentais, expressos, consensuais e de ensino (Gilbert & Boulter, 1997); (v) analógicos (de escala, icônicos/simbólicos, teórico-matemáticos) e mentais (Harrison & Treagust, 2000a e b); (vi) históricos e híbridos (Justi, 2000); concretos, verbais, visuais, matemáticos e gestuais (Boulter & Buckley, 2000); e (vii) icônicos (Harre, 2004).

Nos trabalhos desenvolvidos em nosso grupo de pesquisa, temos adotado a tipologia e as concepções de modelo trabalhadas por Gilbert e seus colaboradores (Gilbert & Boulter, 1997; Justi & Gilbert, 2000 e 2003), incluindo os trabalhos produzidos por Justi e seus colaboradores (Ferreira & Justi, 2007 e 2008, Mendonça & Justi, 2009a e b, Souza & Justi, 2010, 2011 e 2012).

De acordo com esse referencial teórico, se considera os modelos científicos como sendo os modelos produzidos por cientistas, aqueles aceitos e consensuados pela comunidade científica (Raviolo, 2009). Os modelos curriculares, por sua vez, constituem parte dos conteúdos a ensinar, selecionados e adaptados a partir dos modelos produzidos pela Ciência. Os modelos curriculares podem ser compreendidos como simplificações dos modelos científicos adequadas para os diferentes níveis e segmentos da educação. Já os modelos de ensino, também chamados de modelos didáticos, são concebidos como representações utilizadas em situações de ensino com o objetivo de facilitar a compreensão sobre algum aspecto do modelo curricular.

II.2 Analogias

Entre os trabalhos de maior relevância sobre analogias, seja no campo da Psicologia Cognitiva ou no da Educação em Ciências, estão os da Dedre Gentner e seus colaboradores. Esses trabalhos têm como referencial teórico a Teoria do Mapeamento Estrutural (Structure-mapping theory) das analogias, publicado no início da década de 1980 (Gentner, 1983). A partir da teoria de Gentner (1983), nós entendemos que as analogias estabelecem correspondências entre dois domínios de conhecimento: o domínio base ou familiar, que serve de fonte de conhecimentos, e o domínio alvo cuja compreensão constitui o motivo da comparação. Diferentemente de outros tipos de comparação, no caso das analogias, o foco da comparação é relacional, isto é, as correspondências são estabelecidas, exclusiva ou predominantemente, entre relações; não é necessário haver correspondências entre atributos dos elementos que pertencem aos dois domínios. A autora ainda distingue relações entre atributos ou elementos, classificando-as como relações de primeira ordem, das relações entre relações, chamando-as de relações de ordem superior.

Além desses aspectos fundamentais da teoria, Gentner e Markman (1997) descrevem ainda três restrições psicológicas no alinhamento estrutural de uma analogia: (1ª) Consistência estrutural: uma analogia deve ser estruturalmente consistente, ou seja, deve haver uma conectividade em paralelo e uma correspondência “um a um” entre os elementos de cada domínio comparado. Essa conectividade em paralelo requer que as relações correspondentes possuam argumentos correspondentes, e a correspondência um a um limita qualquer elemento em um domínio a no máximo um elemento

correspondente no outro domínio. (2^a) Foco relacional: uma analogia deve envolver relações comuns, mas não precisa envolver descrições de objetos em comum; isto é, o foco de uma analogia deve estar nas relações, e não nos atributos dos elementos que constituem os domínios comparados. (3^a) Sistemática: o “princípio da sistematicidade” de uma analogia diz respeito a uma “preferência tácita por coerência e poder preditivo causal no processamento analógico” (Gentner & Markman, 1997, p. 47). Segundo os autores, as pessoas preferem mapear sistemas de relações conectados e governados por relações de ordem superior (relações entre relações), com importação inferencial, ao invés de mapear predicados (atributos ou relações de primeira ordem) isolados. Ainda segundo os autores, “um conjunto combinado (a matching set) de relações interconectadas por relações restritivas de ordem superior perfaz uma combinação analógica melhor do que um igual número de relações desconectadas entre si”.

Em síntese, podemos dizer que uma analogia estará contextualmente adequada para o ensino de Ciências se, entre outras condições não contempladas neste texto, possuir foco relacional, for sistemática e estruturalmente consistente (Ferry, 2016). Dessa forma, ao considerar as semelhanças entre o processo de estabelecimento (ou construção) de analogias e o processo de produção ou compreensão de modelos (i.e., processo de modelagem), uma vez que ambos se baseiam em relações de similaridades, nós pressupomos que a adequação contextual de um modelo também possa ser analisada sob esses mesmos aspectos. Ou seja, neste trabalho nós pressupomos que um modelo estará adequado contextualmente para o ensino de Ciências se ele possuir foco relacional (superando as representações de mera aparência), for sistemático (ao permitir a compreensão de um conjunto de relações representadas, conectadas e governadas por relações de ordem superior) e estruturalmente consistente (os elementos representantes correspondem um a um aos elementos representados e, no interior das relações representadas, há conectividade em paralelo entre elementos e atributos).

II.3 Relações entre Modelos e Analogias

Ao tratar das relações entre modelos e analogias no contexto da Educação em Ciências, Mozzer e Justi (2015) primeiramente destacam o papel mediador dos modelos entre as entidades de interesse científico e os conjuntos de afirmações sobre essas entidades, afirmando que os modelos estabelecem com as entidades representadas uma relação de similaridade. Nesse contexto, as autoras reafirmam as considerações de Duit (1991) ao dizer que “o que faz um modelo ser um modelo são as relações analógicas que o originam”, estabelecidas entre certos aspectos estruturais do domínio representado pelo modelo e do domínio base, familiar àquele que elabora o modelo. Baseadas no trabalho de Duit (idem), as autoras afirmam que “modelos são representações parciais e estruturalmente análogas aos domínios comparados”. Além dessas colocações, Mozzer & Justi (idem) também afirmam que:

(i) as analogias seriam as relações de similaridade estabelecidas entre tais domínios, a partir dos quais os modelos são construídos; e que, (ii) dado os objetivos dos modelos de ensino, as analogias se constituiriam como um dos modelos mais comumente empregados no ensino de Ciências. Nós discordamos parcialmente desses pontos e tentaremos expor nossos argumentos e considerações.

Tendo em vista o nosso referencial teórico para a compreensão e análise das analogias na Educação em Ciências, nos parece incoerente concebê-las como modelos de ensino (modelos utilizados para o ensino, modelos criados com finalidades didáticas) ao mesmo tempo em que as concebemos como processo cognitivo. Consideramos mais coerente e adequado concebê-las como processo ou recurso cognitivo que, no contexto da Educação em Ciências, pode ser compreendida como recurso de mediação didática utilizado para explicar ou compreender aspectos de uma entidade de interesse científico que, por sua vez, foi modelada, simplificada e incorporada ao currículo de Ciências (modelo curricular).

Entendemos que a afirmação de Duit (1991) a respeito dos modelos como “representações parciais estruturalmente análogas” se refere à relação de similaridade, enunciada por Giere (1988), mantida entre as entidades de interesse científico e os seus modelos. No entanto, de acordo com as concepções de Gentner (1983) sobre as analogias e os outros tipos de comparação (p. ex.: similaridades por mera aparência e similaridades literais), podemos considerar que nem toda relação de similaridade entre um modelo e sua entidade representada implica, necessariamente, em uma relação

analógica. Ou seja, as relações de similaridades existentes entre os modelos e suas entidades de interesse representadas nem sempre se configuram como analogias, embora o estabelecimento de analogias possa, sim, constituir o processo de elaboração de modelos. A figura 5 reúne tais conceitos e resume as suas relações.

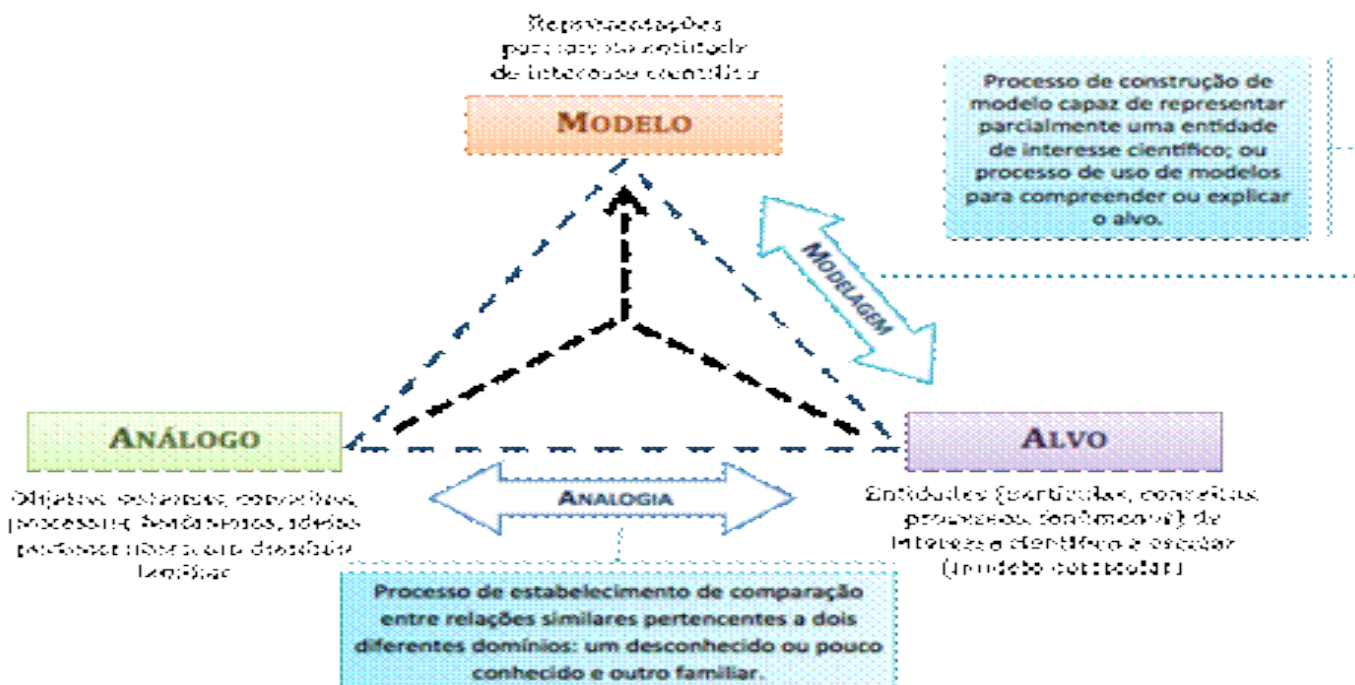


FIGURA 5. Esquema relacional entre os conceitos Modelos, Análogos e Alvo.

Em síntese, concebemos os modelos de ensino como representações parciais criadas por professores ou autores de livros didáticos com a finalidade de permitir a compreensão de aspectos das entidade científica de interesse (conceitos, processos, fenômenos, partículas), simplificadas e adequadas ao currículo. As analogias, por sua vez, concebemos como processo de estabelecimento de comparações relacionais, e não como representação parcial da entidade de interesse. As analogias são recursos de mediação didática utilizados por professores ou autores de livros didáticos com a uma finalidade semelhante a dos modelos de ensino.

A fim de contribuir para o esclarecimento das diferenças entre a nossa concepção de analogias, fundamentada nos trabalhos de Gentner e seus colaboradores, e a forma como compreendemos os modelos didáticos, talvez seja pertinente adotarmos os seguintes princípios: (1) os princípios da representatividade e da dependência.

Aplicados ao papel dos modelos em relação à entidade modelada; e (2°) os princípios da familiaridade e da independência aplicados ao papel dos análogos (domínio base das analogias) em relação à entidade alvo da comparação. Segundo o princípio da representatividade, os modelos são construções humanas elaboradas com a finalidade de representar as entidades de interesse, sendo inevitavelmente parciais em relação aos aspectos de qualquer entidade representada. Há que se dizer ainda que os modelos são construções dependentes do que se conhece a respeito das entidades de interesse científico, tornando-os passíveis de modificações. Isso significa que o nosso conhecimento a respeito das entidades de interesse científico pode modificar os modelos que elaboramos para representá-las. Esse seria, portanto, o princípio da dependência (as formas como representamos parcialmente as entidades dependem das formas como as concebemos, dependem do nosso conhecimento sobre elas).

Segundo o princípio da familiaridade, os análogos são entidades pertencentes a um domínio de conhecimento familiar para quem estabelece as analogias e, geralmente, familiar aos seus interlocutores (p.ex., os estudantes). Os objetos, processos, fenômenos e ideias tomados como domínio base para a construção de analogias também estabelecem com o domínio alvo uma relação de similaridade. No entanto, nosso conhecimento sobre o domínio base, a princípio,

independe das formas como as entidades de interesse científico, tomadas como alvo da compreensão por meio de uma analogia, são concebidas. Esse seria, portanto, o princípio da independência que se aplica à relação entre o análogo e o alvo. Isso significa que o nosso conhecimento a respeito das entidades de interesse científico não modifica as entidades escolhidas como análogos para a construção de uma analogia. O nosso conhecimento sobre a entidade de interesse científico pode provocar mudanças nas nossas escolhas que fazemos dos objetos, processos, fenômenos ou ideias para constituírem o domínio base das analogias.

II.4 Questão de Pesquisa

Neste trabalho, analisamos um modelo elaborado para o ensino de Astronomia, identificando sua abrangência e limitações a fim de discutir suas potencialidades como recurso de mediação didática. A nossa análise teve como finalidade responder a seguinte questão: Quais as características estruturais de um modelo elaborado para o ensino de Astronomia, as quais nos permitem compreendê-lo como sendo uma representação contextualmente adequada?

III. METODOLOGIA

III.1 Sequência e estratégias da análise

A análise das características estruturais do MAES-3DMF, realizada com a finalidade de se discutir a sua adequação contextual como representação parcial de aspectos, entidades e fenômenos de interesse no estudo da Astronomia, foi conduzida sequencialmente em três partes:

- 1) Levantamento de três diferentes contextos de uso do modelo com suas respectivas finalidades: (1°) representar parcialmente o processo de formação de uma nebulosa, que é uma gigantesca nuvem de poeira e gás interestelar. Essas nuvens são conhecidas como berçários de estrelas, já que as mesmas se originam nessas regiões do espaço; (2°) representar aspectos da estrutura de galáxias em espiral, que são aglomerados de estrelas, nebulosas e outros objetos siderais; (3°) representar aspectos do processo de formação dos sistemas planetários. Quando uma nebulosa é afetada por algum fenômeno, como por exemplo a explosão de uma estrela supernova, começará a girar cada vez mais rápido, com sua matéria entrando em colapso em direção ao centro. Esse processo resultará em um disco protoplanetário, ou disco de acreção, gerando uma estrela recém nascida no centro e um sistema de jovens planetesimais que colidem para formar planetas maiores, como a Terra e os demais componentes do Sistema Solar. Esse processo é conhecido como acreção;
- 2) Mapeamento estrutural do modelo para cada entidade de interesse científico identificada nesses três contextos de uso, a fim de identificar a abrangência e as limitações do modelo em cada caso. Esse mapeamento foi conduzido conforme o padrão de análise estrutural de modelos apresentado a seguir;
- 3) Análise de suas características em termos da consistência estrutural, do foco e a da sistematicidade do modelo, discutindo sua potencialidade e adequação contextual para o ensino de Astronomia, de acordo com o nosso referencial teórico.

III.2 Padrão de análise estrutural aplicado a modelos

O padrão de análise estrutural do MAES-3DMF foi inspirado e desenvolvido a partir do padrão de representação de mapeamento estrutural de analogias elaborado por Ferry e Paula (2015) e aprimorado por Ferry (2016). Esse padrão aplicado à análise de modelos está apresentado na.

TABELA 1. Padrão de representação das correspondências no mapeamento dos modelos, inspirado no padrão de mapeamento estrutural das analogias, de Ferry (2016).

MODELO	REPRESENTAÇÃO DAS CORRESPONDÊNCIAS	ENTIDADE DE INTERESSE CIENTÍFICO MODELADA
Elemento representante	E_n ←————→	Elemento representado
Um dos elementos que compõem o modelo	<i>Correspondências entre elementos são representadas por uma seta bidirecional acompanhada da letra E</i>	Um dos elementos que compõem a estrutura modelada
Atributos do elemento representante	A_n ←————→	Atributos do elemento representado
Predicados de um elemento do modelo baseados em uma única característica	<i>Correspondências entre atributos são representadas por uma seta bidirecional acompanhada da letra A</i>	Predicados de um elemento da entidade de interesse científico baseados em uma única característica
Relações de 1ª ordem	r_n ←————→	Relações de 1ª ordem
Relações entre dois ou mais elementos do modelo ou entre suas características	<i>Correspondências entre relações de menor complexidade são representadas por uma seta bidirecional acompanhada da letra r</i>	Relações entre dois ou mais elementos da entidade de interesse científico ou entre suas características
Relações de ordem superior	R_n ←————→	Relações de ordem superior
Relações estabelecidas entre relações previamente postuladas entre elementos constituintes do modelo	<i>Correspondências entre relações de maior complexidade são representadas por uma seta bidirecional acompanhada da letra R</i>	Relações estabelecidas entre relações previamente postuladas entre elementos constituintes da entidade de interesse científico
Atributos dos elementos representantes ou Relações entre esses elementos/atributos	$L: []$ ←————→ X	Atributos dos elementos representados ou Relações entre esses elementos/atributos
Atributos ou relações ausentes no modelo, ou aspectos do modelo que não se aplicam ou que não podem ser transferidos para a entidade modelada	<i>Limitações da representação são codificadas com a letra L</i>	Atributos ou relações presentes na entidade de interesse científico que não estão representadas
Atributos dos elementos representantes ou Relações entre esses elementos/atributos	$D: []$ ←————→ X	Atributos dos elementos representados ou Relações entre esses elementos/atributos
Aspectos de algum atributo ou relação do modelo que são diferentes da entidade modelada	<i>Diferenças alinháveis são codificadas com a letra D</i>	Aspectos de algum atributo ou relação presente na entidade de interesse científico que são diferentes do modelo

Fonte: Elaborado pelos autores, inspirado em Ferry e Paula (2015) e Ferry (2016).

Tabela 1. Em nosso padrão aplicado à análise de modelos, no lugar dos domínios base e alvo, apresenta-se, respectivamente, o modelo e a entidade de interesse científico modelada.

De acordo com Ferry e Paula (2015), primeiramente devem ser mapeados os elementos, os atributos desses elementos e as relações entre esses atributos (ou entre os próprios elementos) por meio de um esquema que explicita o tipo de correspondência mapeada. Nesse esquema, as correspondências entre os elementos de cada domínio são representadas por setas bidirecionais acompanhadas pela letra E (maiúscula), identificada por um número de ordem. As correspondências entre os atributos desses elementos são representadas por setas bidirecionais, acompanhadas, porém, pela letra A, com um número de ordem e endereçada ao elemento diretamente relacionado. As relações são representadas pelo mesmo sinal gráfico, acompanhadas pela letra r (minúscula) ou R (maiúscula). A letra minúscula representa uma relação de primeira ordem, enquanto a maiúscula representa uma relação de ordem superior.

Entendemos que, por meio do alinhamento dos elementos, atributos e relações em correspondência, evidencia-se a abrangência do modelo frente à entidade de interesse científico modelada. Ou seja, o mapeamento das correspondências entre o modelo e sua entidade nos permite identificar tudo aquilo que o modelo é capaz de representar.

A fim de identificar as suas limitações, bem como as diferenças alinháveis entre o modelo e a entidade de interesse científico, utilizamos setas bidirecionais assinaladas com um sinal gráfico semelhantes a uma letra “X”. Os códigos que identificam os atributos ou relações associados a tais diferenças alinháveis são antecedidas pela letra D. As limitações da comparação enunciadas pelo professor, que não se configuram como uma diferença alinhável, são identificadas pelo mesmo sinal gráfico com seus códigos antecedidos pela letra L. A Tabela 1 descreve resumidamente os diferentes tipos de correspondências.

IV. RESULTADOS

A partir do levantamento das entidades de interesse científico em cada um dos três contextos de uso do MAES-3DMF, já apresentadas na seção da metodologia, elaboramos três mapeamentos estruturais do modelo frente a cada entidade.

Esses mapeamentos estão apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 a seguir.

IV.1 1° contexto de representação: Formação de uma nebulosa

A figura 1 ilustra o primeiro estágio da configuração do modelo, com os mesmos códigos dos elementos constituintes indicados no mapeamento da tabela 2.

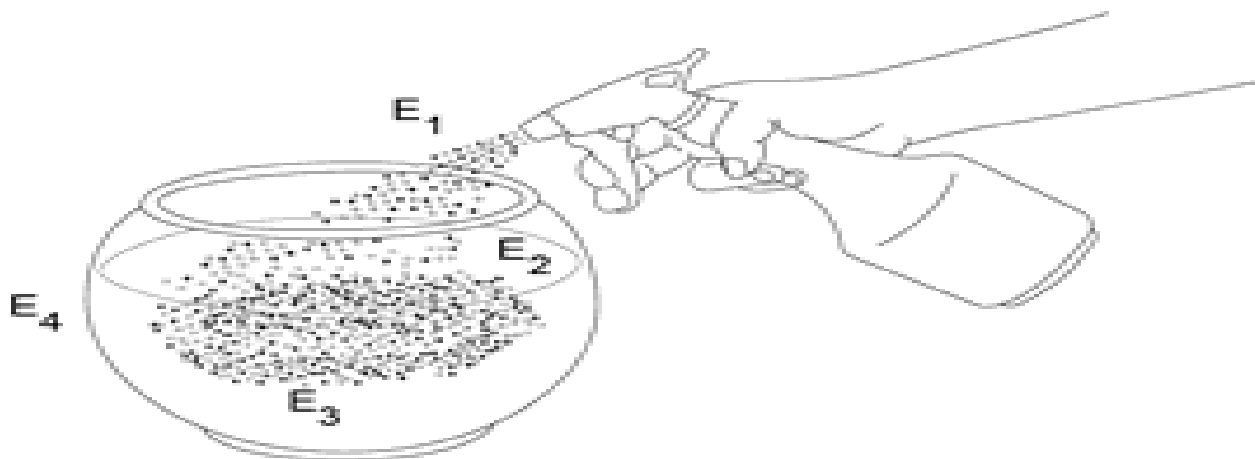


FIGURA 1. Primeiro estágio da configuração do MAES-3DMF.

TABELA 2. Mapeamento Estrutural do MAES-3DMF aplicado ao primeiro contexto de representação.

Modelo	Correspondências	Entidade de Interesse Científico Modelada
Gotas de Óleo com variedade de pigmentos	E_1 ↔	Corpos celestes constituídos por diferentes materiais (substâncias)
Sistema formado por álcool e água	E_2 ↔	Espaço imensurável
Interface entre o álcool e a água	E_3 ↔	Área de acreção
Recipiente	E_4 ↔	Universo
Cores distintas dos pigmentos aplicados ao óleo	$A_1 (E_1)$ ↔	Variedade dos materiais que constituem os corpos celestes
Inserção de gotas de óleo pigmentado no sistema álcool e água	$r_1 (E_1, E_2)$ ↔	Formação da nebulosa composta por inúmeros corpos celestes no espaço imensurável
Interação entre o óleo pigmentado e o sistema álcool e água (aglutinação inicial)	$r_2 (E_1, E_2)$ ↔	Formação de estrelas e planetas (corpos celestes) no espaço imensurável
Movimento das gotas de óleo sobre a interface entre a água e o álcool, proporcionado pelo formato esférico do recipiente	$r_3 (E_1, E_3, E_4)$ ↔	Movimento dos corpos celestes no espaço proporcionado pela força gravitacional
O movimento das gotas de óleo é circular	$D: [r_3 (E_1, E_3, E_4)]$ ↔ X	O movimento das estrelas e outros corpos celestes é elíptico

Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapeamento estrutural do MAES-3DMF frente à entidade de interesse científico do primeiro contexto de representação nos permitiu perceber que esse modelo é capaz de representar quatro (4) elementos, um (1) atributo relevante e três (3) relações de primeira ordem, que neste caso podem ser compreendidas como três relações de ordem estrutural, uma vez que elas apenas “organizam” os elementos constituintes do modelo e da entidade modelada. Ao analisar essas correspondências mapeadas, podemos afirmar que, embora as gotas de óleo sobre o sistema heterogêneo água- álcool possam representar diferentes corpos celestes ao mesmo tempo, isso não compromete contextualmente a correspondência um a um entre os elementos constituintes do modelo e da entidade modelada, e nem a conectividade em paralelo observada entre os argumentos das três relações mapeadas. Isso significa que o MAES-3DMF é um modelo estruturalmente consistente para esse contexto de uso. O nosso mapeamento também indicou uma diferença alinhável entre o modelo e a entidade modelada, associada à terceira relação de primeira ordem (r_3) - o movimento das estrelas e outros corpos celestes.

Tendo em vista o maior número de relações mapeadas em relação à quantidade de atributos relevantes (apenas 1), podemos também afirmar que o foco desse modelo é relacional. Isso significa que o MAES-3DMF, aplicado nesse primeiro contexto de modelagem, não consiste em uma representação de mera aparência. No entanto, trata-se de um modelo não sistemático (ou pouco sistemático), uma vez que as três relações de ordem estrutural não estão conectadas e nem governadas por nenhuma relação de ordem superior. Isso significa que as três relações mapeadas poderiam ser compreendidas como predicados relacionais isolados. Contudo, consideramos que a falta de sistematicidade desse modelo neste primeiro contexto de representação não inviabilizaria o seu uso para a finalidade indicada (representar parcialmente o processo de formação de uma nebulosa). Tais considerações nos permitem afirmar que o MAES-3DMF se configura como um modelo contextualmente adequado para o ensino de Astronomia.

IV.2 2° contexto de representação: Estrutura de galáxias em espiral

A figura 2 ilustra o segundo estágio da configuração do modelo, com os mesmos códigos dos elementos constituintes indicados no mapeamento da tabela 3.

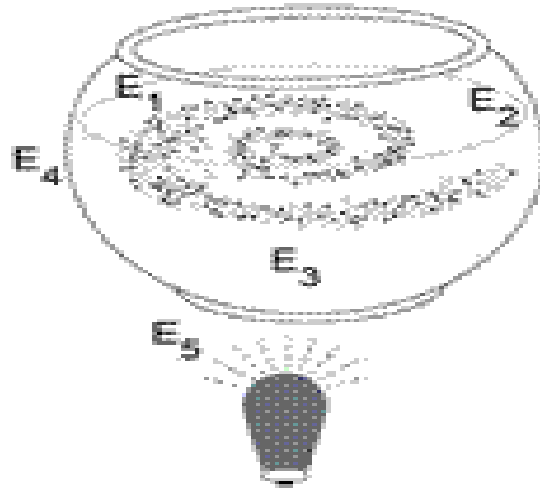


FIGURA 2. Segundo estágio da configuração do MAES-3DMF.

TABELA 3. Mapeamento Estrutural do MAES-3DMF aplicado ao segundo contexto de representação.

<i>Modelo</i>	<i>Correspondências</i>	<i>Entidade de Interesse Científico Modelada</i>
Esferas de óleo	E ₁ ↔	Estrelas e outros corpos celestes
Sistema formado por álcool e água	E ₂ ↔	Espaço imensurável
Interface entre o álcool e a água	E ₃ ↔	Área de acreção
Recipiente	E ₄ ↔	Universo
Luz emitida por fluorescência pelos pigmentos, após excitação provocada pela lâmpada de "luz negra"	E ₅ ↔	Luz emitida pelas estrelas
As luzes emitidas por fluorescência pelos diferentes pigmentos apresentam cores diferentes	A ₁ (E ₅) ↔	As luzes emitidas pelas estrelas possuem cores diferentes
Movimento das esferas de óleo	A ₂ (E ₁) ↔	Movimento das estrelas e outros corpos celestes
As esferas de óleo apresentam diferentes tamanhos	A ₃ (E ₁) ↔	As estrelas e outros corpos celestes apresentam diferentes tamanhos
O movimento das esferas de óleo é circular	D: [A ₂ (E ₁)] ↔ X	O movimento das estrelas e outros corpos celestes é elíptico
As esferas de óleo se movimentam sobre a interface entre o álcool e a água, gerando formas espirais	r ₁ (A ₂ , E ₃) ↔	As estrelas e outros corpos celestes se movimentam em uma área de acreção, formando galáxias em espiral

Fonte: Elaborado pelos autores.

O mapeamento estrutural do MAES-3DMF, frente a entidade de interesse científico do segundo contexto de representação, nos permitiu perceber que esse modelo é capaz de representar cinco (5) elementos, três (3) atributos relevantes e apenas uma (1) relação de primeira ordem, que neste caso também pode ser compreendida como uma relação de ordem estrutural. O nosso mapeamento também indicou uma diferença alinhável entre o modelo e a entidade modelada, associada ao segundo atributo mapeado (A2) - a luz emitida pelas estrelas.

Nesse segundo estágio de evolução do MAES-3DMF, imediatamente à aspersão dos óleos pigmentados, essas substâncias (óleo e pigmentos) começam a interagir, se aglutinando e formando esferas cada vez maiores na interface formada entre o álcool e a água. Neste processo, acrescido do movimento que ocorre devido à inserção do álcool ao sistema e da interação com a água, verifica-se a formação de uma espiral muito semelhante a uma galáxia, o que nos permite estabelecer relações de similaridades com esse corpo celeste, com seus diversos integrantes, principalmente estrelas de vários tamanhos e cores. Essa espiral, entretanto, se desfaz rapidamente, levando o modelo a outro estágio de configuração e, conseqüentemente, a outras possibilidades de representação: a formação do disco de acreção no qual ocorre a formação dos planetas que, no modelo, pode ser representada pelas esferas em aglutinação. Esse outro estágio de configuração nos permitiu elaborar o mapeamento estrutural do terceiro contexto de representação, apresentado na tabela 4.

O mapeamento estrutural do MAES-3DMF nesse segundo estágio de configuração nos permite reafirmar a sua consistência estrutural, assim como discutimos a respeito das correspondências mapeadas no primeiro contexto de representação. No entanto, no segundo contexto, o foco do modelo se encontra mais direcionado para atributos da entidade modelada do que para relações estruturais. Isso significa que, nesse contexto, embora tenhamos mapeado uma relação de primeira ordem que trata do formato das galáxias em formação, o MAES-3DMF desempenha mais o papel de uma representação de mera aparência. Conseqüentemente, havendo apenas uma relação de primeira ordem representada pelo modelo, não há sistematicidade em sua representação. Portanto, nesse segundo contexto de representação, o MAES-3DMF se apresenta como uma representação de mera aparência estruturalmente consistente e localmente útil para representar aspectos estruturais de galáxias em espiral. Considerando essa finalidade, apesar dessas restrições discutidas, ainda podemos considerar o MAES-3DMF uma representação contextualmente adequada para o ensino de Astronomia.

IV.3 3° contexto de representação: Formação de sistemas planetários

A figura 3 ilustra o terceiro estágio da configuração do modelo, com os mesmos códigos dos elementos constituintes indicados no mapeamento da tabela 4.

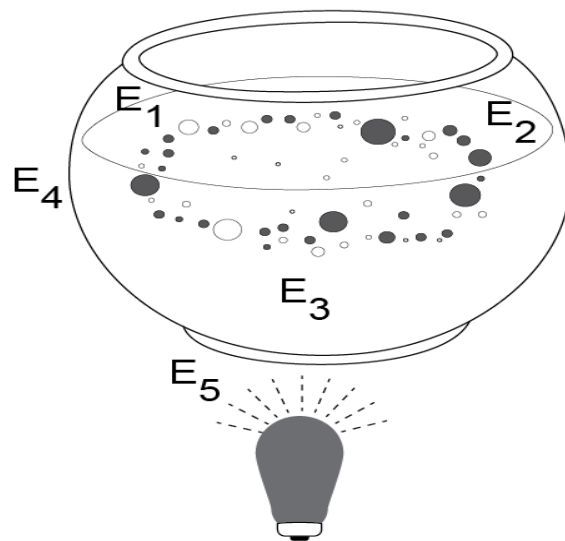


FIGURA 3. Terceiro estágio de configuração do MAES-3DMF

TABELA 4. Mapeamento Estrutural do MAES-3DMF aplicado ao terceiro contexto de representação.

Modelo	Correspondências	Entidade de Interesse Científico Modelada
Esferas de óleo	E_1 ↔	Planetas e outros corpos celestes
Sistema formado por álcool e água	E_2 ↔	Espaço imensurável
Interface entre o álcool e a água	E_3 ↔	Área de acreção
Recipiente	E_4 ↔	Universo
Luz emitida pela lâmpada ultravioleta	E_5 ↔	Luz do Sol
No MAES-3DMF não há um elemento correspondente ao Sol dentro do recipiente (*)	L: [E_5] ↔ X	No Sistema Solar, o Sol se encontra em um dos focos das órbitas elípticas
Variedade dos volumes das esferas de óleo	$A_1 (E_1)$ ↔	Variedade da dimensão dos corpos celestes
Brilho das esferas de óleo	$A_2 (E_1)$ ↔	Luz refletida pelos planetas e outros corpos celestes
A interface entre o álcool e a água é plana	$A_3 (E_3)$ ↔	A área de acreção é plana
As esferas de óleo se aglutinam na interface entre o álcool e a água formando esferas maiores	$r_1 (E_1, E_3)$ ↔	Formação de planetas (corpos celestes, na área de acreção, colidem e geram planetas)
As esferas de óleo se movimentam na interface plana entre o álcool e a água, descrevendo formas coplanares	$r_2 (E_1, A_3)$ ↔	Os planetas se movimentam na área de acreção plana, descrevendo órbitas coplanares
O movimento das esferas de óleo na interface álcool-água descreve formas circulares	D: [$r_2 (E_1, E_3)$] ↔ X	O movimento dos planetas na área de acreção descreve órbitas elípticas
Os movimentos das esferas de óleo são interrompidos em decorrência da desestabilização do sistema álcool-água	Correspondência não codificada ↔	Os sistemas planetários são extintos em decorrência de explosões de suas estrelas centrais
Observações: (*) - A lâmpada de "luz negra" utilizada na montagem do MAES-3DMF se encontra posicionada fora do recipiente que contém o sistema líquido trifásico.		

Fonte: Elaborado pelos autores

O mapeamento estrutural do MAES-3DMF, frente a entidade de interesse científico do terceiro contexto de representação, nos permitiu perceber que esse modelo é capaz de representar cinco (5) elementos, três (3) atributos relevantes, duas (2) relações de primeira ordem. O nosso mapeamento também indicou uma limitação do modelo relacionada à representação do Sol em um dos focos do sistema solar, e uma diferença alinhável entre o modelo e a entidade modelada, associada à segunda relação de primeira ordem mapeada (r_2) - o formato elíptico das órbitas dos planetas.

Ao assumir a configuração do terceiro estágio, a lâmpada de luz negra empregada na montagem do MAES-3DMF, apesar de não estar posicionada no centro dos movimentos realizados pelas esferas de óleo, pode ser vista como

um elemento representante da estrela central do sistema solar, iluminando os corpos celestes que se formam ao seu redor. Apesar de não se encontrar no centro do disco de óleo, a lâmpada cumpre razoavelmente essa função.

Consideramos que após esse terceiro estágio de configuração do MAES-3DMF, seria possível ainda extrapolar as representações mapeadas na tabela 4 estabelecendo uma correspondência entre a extinção de sistemas planetários e a desestabilização do sistema álcool-água. Os movimentos das esferas de óleo em colisão ocorrem ininterruptamente enquanto o sistema água-álcool se mantiver estável. Essa dinâmica é similar ao que ocorre no Universo, já que, apesar da estabilidade aparente, os sistemas solares estão em constante transformação até sua extinção final causada pela morte da estrela central. No entanto, decidimos não codificar essa última correspondência relacional na tabela 4 por considerarmos que ela não apresenta a mesma consistência estrutural que as outras relações mapeadas, provavelmente devido a ausência de uma correspondência integral entre seus argumentos.

A respeito das características do MAES-3DMF nesse terceiro contexto de representação, embora tenhamos mapeado a mesma quantidade de atributos que mapeamos no segundo contexto, nós identificamos um número maior de relações. A análise desse mapeamento também nos permite afirmar que essas relações são mais significativas para o contexto da representação do que os três atributos mapeados. Portanto, nesse terceiro contexto, o MAES-3DMF apresenta foco relacional, mantendo a mesma consistência estrutural verificada nos contextos anteriores. Ainda assim, esse modelo não atende ao princípio da sistematicidade, uma vez que em todos os contextos de representação analisados, as relações representadas se configuraram como predicados isolados, não governados por relações de ordem superior. Todavia, o MAES-3DMF se apresenta contextualmente adequado para as finalidades que se destina.

V. CONCLUSÕES

A análise promovida sobre o MAES-3DMF em três diferentes contextos de representação nos permitiu tecer uma série de considerações a respeito de sua adequação contextual para o ensino de Astronomia. Concluímos que esse modelo, nesses três contextos, apresenta uma característica determinante no desempenho de seu papel enquanto representação parcial de aspectos do espaço sideral (um modelo curricular do ensino de Astronomia): a consistência estrutural.

A nossa análise por meio do mapeamento estrutural do MAES-3DMF também nos permitiu perceber que o seu foco pode estar ora sobre relações ora sobre atributos dos elementos que constituem as entidades de interesse modeladas. Isso ocorreu na transição entre os três contextos de representação: o modelo apresentou foco relacional no primeiro contexto, foco em atributos no segundo e novamente foco relacional no terceiro. Isso significa que o MAES-3DMF pode ser compreendido como uma representação parcial de mera aparência em um contexto e como modelo relacional nos outros contextos.

Contudo, o MAES-3DMF carece de sistematicidade, pois as relações representadas, nos três contextos de representação, sempre apareceram como predicados isolados, independentes entre si, sem qualquer relação de ordem superior capaz de conectá-las. Consideramos que, embora essa carência de sistematicidade não comprometa o seu papel como representação parcial das entidades astronômicas a serem ensinadas, aprimoramentos desse modelo poderiam conferir algum “grau” de sistematicidade que certamente o enriqueceria, ampliando tanto a sua abrangência quanto as potencialidades pedagógicas enquanto recurso de mediação didática (modelo de ensino).

Por fim, há que se destacar o potencial da metodologia de análise que desenvolvemos para levantar as correspondências estruturais entre o modelo, em suas diferentes configurações, e as entidades de interesse científico modeladas. O mapeamento estrutural aplicado à análise de modelos se mostrou bastante adequado, consistente e sistemático, na medida em que possibilitou identificar tanto a abrangência do modelo (os aspectos estruturais representados) quanto as suas limitações, por meio de um alinhamento praticamente exaustivo de seus elementos, atributos relevantes e relações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Estudos em Modelos, Metáforas e Analogias na Tecnologia, na Educação e na Ciência (GEMATEC) pela colaboração.

REFERÊNCIAS

- Black, M. (1962). *Models and metaphors*. New York: Cornell University Press.
- Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education*. Kluwer: Dordrecht.
- Bruner, J. (1966). *Towards a theory of instruction*. Harvard University Press: Cambridge.
- Chamizo, J. A. (2013). A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching. *Science & Education*, 22, 7, 1613–1632.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 6, 649-672.
- Almeida, D. J. E. (2012). *Multiverso: reconstrução de modelo análogo ao espaço sideral para divulgação da ciência*. 143 f. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação tecnológica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais CEFET-MG, Belo Horizonte.
- Ferreira, P. F. M., & Justi, R. (2007). Teachers' Role in Planning and Conducting Modelling Activities in Science Teaching. *Revista de Educacion de las Ciencias*, 8, 66-70.
- Ferry, A. S. (2016). *Análise Estrutural e Multimodal de Analogias em uma Sala de Aula de Química*. 170 f. Tese (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Ferry, A. S., & Paula, H. F. (2015). Mapeamento estrutural de analogias e outras comparações em uma sala de aula de Química. In *X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC*. Águas de Lindóia, SP.
- Galagovsky, L.Y., & Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales: El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), 231-242.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gentner, D., & Markman, A. B. (1997). Structure-mapping in analogy and similarity. *American Psychologist*, 52, 45-56.
- Giere, R. (1991). *Understanding scientific reasoning*. Fort Worth: Holt, Rinehart & Winston.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science: A cognitive approach*. Chicago and London: University of Chicago Press.
- Gilbert, J., & Boulter, C. (1997). Learning science through models and modeling. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *The international handbook of science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Harre, R. (2004). *Modeling: Gateway to the unknown*. Amsterdam: Elsevier.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011–1026.

- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000b). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, 352–381.
- Justi, R. (2000). Teaching with historical models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Justi, R. (2007). Modelagem – Uma abordagem para um ensino de ciências mais autêntico. *Tecné, Episteme y Didaxis*, special issue, 23-38.
- Justi, R. (2009). Learning how to model in science classroom: key teacher’s role in supporting the development of students’ modelling skills. *Educación Química*, 20(1), 32-40.
- Justi, R. (2010). Modelos e modelagem no ensino de química: Um olhar sobre aspectos essenciais pouco discutidos. In Dos Santos, W. L. P., & Maldaner, O.A. (Orgs.). *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Unijuí.
- Justi, R. (2011). Contribucions de la investigació didàctica a l’ensenyament de la química basat en la modelització. *Educación Química*, 7, 11-22.
- Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte I. *Educación Química*, 20, 282-293.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2009). Favorecendo o aprendizado do modelo eletrostático: Análise de um processo de ensino de ligação iônica fundamentado em modelagem - Parte 2. *Educación Química*, 20, 373-382.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a Case Study. *Research in Science Education*, 41, 479-503.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013). The Relationships between Modelling and Argumentation from the Perspective of the Model of Modelling Diagram. *International Journal of Science Education*, 35, 2007-2034.
- Mendonça, P. C. C., Justi, R., & Oliveira, M. M. (2006). Analogias sobre ligações químicas. Elaboradas por alunos do ensino médio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 6, 1, 35-54.
- Mozzer, N. B., & Justi, R. (2015). “Nem tudo que reluz é ouro”: Uma discussão sobre analogias e outras similaridades e recursos utilizados no ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 15, 1, 123-47.
- Oliveira, A. J. F. (2010). *Construção e aplicação de modelos analógicos no ensino de ciências: o planetário líquido*. 2010. 203 f. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Educação tecnológica) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Belo Horizonte.
- Raviolo, A. (2009). Modelos, analogías y metáforas en la enseñanza de la química. *Educación Química*, 55-60.
- Raviolo, A., & Garritz, A. (2008). Analogias no ensino de equilíbrio químico. *Química Nova na Escola*, 27.
- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2010). Estudo da utilização de modelagem como estratégia para fundamentar uma proposta de ensino relacionada à energia envolvida nas transformações químicas. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(2), 1-26
- Souza, V. C. A., & Justi, R. (2011). Interloquções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na

perspectiva de uma estratégia de modelagem para a energia envolvida nas transformações químicas. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), 31-46.

Souza, V. C. A., & Justi, R. (2012). Diálogos Possíveis entre o Ensino Fundamentado em Modelagem e a História da Ciência. *REEC - Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 385-405.