



## Modelos na educação em ciência no século XX: contributos para a sua utilização no ensino das Geociências

### Models in science education until the end of the 20th century: contributions to their use in teaching Geosciences

### Modelos en la enseñanza de las ciencias hasta finales del siglo XX: aportes a su uso en la enseñanza de las Geociencias

Jorge Bonito<sup>1</sup>

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo discutir a importância dos modelos na educação científica, com ênfase no ensino das Geociências. A partir da literatura, selecionada por conveniência até final do século XX, explora-se a relevância dos modelos como ferramentas para a compreensão de conceitos complexos e sua aplicação. Destaca-se a necessidade de compreender as concepções alternativas dos alunos antes de introduzir um modelo, bem como a importância de delimitar claramente os limites entre o modelo, a fonte do modelo e a realidade representada pelo modelo. Além disso, são discutidos diferentes tipos de modelos, sua utilização adequada no contexto educacional e a importância de uma abordagem crítica em relação aos modelos. Enfatiza-se a relevância dos modelos como instrumentos para o desenvolvimento do conhecimento, das capacidades e das atitudes dos alunos, ressaltando a necessidade de utilizá-los de forma justificada e criteriosa.

**Palavras-chave:** Educação em ciência. Representação. Modelo didático. Limites do modelo. Abordagem crítica.

**Abstract:** The aim of this paper is to discuss the importance of models in science education, with an emphasis on teaching Geosciences. Based on the literature, selected for convenience up to the end of the 20th century, the relevance of models as tools for understanding complex concepts and their application is explored. The need to understand students' alternative conceptions before introducing a model is highlighted, as well as the importance of clearly demarcating the boundaries between the model, the source of the model and the reality represented by the model. In addition, different types of models are discussed, their appropriate use in the educational context and the importance of a critical approach to models. The relevance of models as instruments for developing students' knowledge, skills and attitudes is emphasized, highlighting the need to use them in a justified and judicious manner.

**Keywords:** Science education. Representation. Didactic model. Limits of the model. Critical approach.

**Resumen:** El objetivo de este artículo es debatir la importancia de los modelos en la enseñanza de las ciencias, haciendo hincapié en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. A partir de la bibliografía, seleccionada por conveniencia hasta finales del siglo XX, se explora la relevancia de los modelos como herramientas para la comprensión de conceptos complejos y su aplicación. Se hace hincapié en la necesidad de comprender las concepciones alternativas de los alumnos antes de introducir un modelo, así como en la importancia de delimitar claramente las fronteras entre el modelo, la fuente del modelo y la realidad representada por el modelo. Además, se discuten diferentes tipos de modelos, su uso apropiado en el contexto educativo y la importancia de un enfoque crítico de los modelos. Se hace hincapié en la relevancia de los modelos como herramientas para desarrollar los conocimientos, las habilidades y las actitudes de los estudiantes, y se subraya la necesidad de utilizarlos de forma justificada y juiciosa.

**Palabras-clave:** Enseñanza de las ciencias. Representación. Modelo didáctico. Límites del modelo. Enfoque crítico.

Submetido 16/11/2023

Aceito 07/02/2024

Publicado 08/02/2024

<sup>1</sup> Doutor em Ciências da Educação – Formação de Professores, pela Universidade de Coimbra, Portugal. Centro de Investigação em Educação e Psicologia da Universidade de Évora, Portugal. Centro de Investigação em Didática e Tecnologia na Formação de Formadores da Universidade de Aveiro, Portugal. <https://orcid.org/0000-0002-5600-0363>. Email: [jbonito@uevora.pt](mailto:jbonito@uevora.pt).

## Introdução

Os modelos são representações simplificadas da realidade que auxiliam na visualização e compreensão de conceitos científicos complexos. A utilização de modelos no ensino das ciências proporciona aos estudantes uma compreensão mais profunda e abrangente dos fenômenos naturais que os cercam. Seja no campo da física, química, biologia ou outras disciplinas científicas, os modelos desempenham um papel crucial no processo educacional.

Este trabalho tem como objetivo discutir a importância atribuída aos modelos no ensino da ciência, com aplicações nas Geociências, com base na literatura selecionada até final do século XX.

### Da linguagem figurativa

Quando uma verdade importante ou preceito moral tinha que ser transmitido a alguém, era frequente - numa pedagogia catequética - a narração alegórica, isto é, a parábola. Esta linguagem correntemente usada, transmitia um ensinamento facilmente compreensível, ou então o ouvinte sem se aperceber, aplicava a si próprio uma sentença. Além de mais eficaz, tinha um efeito mais evidente na assimilação do que se pretendia ensinar.

Também nós não contamos do mesmo modo um acidente de automóvel a um amigo ou à seguradora do nosso veículo: o “gênero literário” é diferente. Num caso introduzimos o nosso relato num modelo, num “molde”, no outro temos mais liberdade. Neste último caso, sobretudo o “estilo” poderá ser diferente. Existiam por isso, nos ensinamentos em épocas antigas, um certo número de moldes ou modelos que se utilizavam quando pretendia obter-se um efeito bem preciso. É o caso da narrativização das ideias. Esta expressão estranha quer apenas significar que em lugar de expor uma ideia de maneira abstrata, conta-se uma história.

Do mesmo modo, a tropologia adquiriu um importante papel em ensino e educação em ciências, desde a idade pré-escolar à universidade, embora Cachapuz e Oliveira (1990) revelem que dos professores universitários com a disciplina de didática das ciências, 68% não fazia qualquer abordagem a esta problemática nos cursos de licenciatura em ensino. No ensino das ciências tem interesse falarmos da analogia, da metáfora e do modelo, embora sobre este último dediquemos mais a nossa atenção.

Entendemos por analogia uma relação de semelhança entre objetos diferentes, seja por motivos de dependência causal ou de semelhança. O que de uma realidade é dito em sentido

próprio, da outra é dito em sentido análogo, se esta está numa relação que sob algum aspecto ou em algum grau participa da essência da primeira, sem no entanto ser idêntica a ela. Trata-se de proposições do tipo A está para B como C está para D. A relação estabelecida entre A e B é semelhante à estabelecida entre C e D. Exemplo:

<b>A</b>		<b>B</b>
A litosfera e astenosfera consideram-se ligadas entre si	como	um pedaço de madeira numa tina com o líquido viscoso que fica depois da cristalização do açúcar,
	em que	
<b>C</b>		<b>D</b>
uma não se move sem a outra	tal como	é arrastada a madeira ao mover-se no melaço

Segundo Webb (1985, citado em Pereira, 1987) as analogias podem apresentar vários perigos:

- falta de “dignidade”,
- implicar relações que não existem,
- criar concepções erróneas,
- não destronar pré-conceitos,
- não poderem ser construídas para além do limite da nossa imaginação pictórica.

A metáfora é um uso linguístico em que a significação natural de uma palavra transporta-se para outra por virtude da relação de semelhança que se subentende. No fundo são esquemas de interpretação, uma certa forma de analogia, na qual um referente - o tópico - é descrito ou substituído por outro - o veículo -, que tem em comum com o primeiro uma mesma característica (Trindade, 1993). Santos e Gonçalves (1988) opinam que o melhor que “carateriza o pensamento científico é a tensão entre a linguagem técnica e linguagem metafórica” (p. 131). A partir do exemplo anteriormente apresentado, podemos dizer que a litosfera se move dada a elevada viscosidade da astenosfera, ou ainda, que a madeira pode afundar-se.

## Conceito de modelo

O Universo é por conceptualização o conjunto de tudo quanto existe. Um conjunto que forma um todo. Mesmo para o mais incrédulo, estudar este todo, e portanto esta realidade, de maneira mais ou menos pormenorizada, é algo impossível de concretizar-se. Precisamos desta maneira, de instrumentos físicos para analisar, com especificidade particular, a nossa realidade. A estes objetos de dimensões reduzidas (*e.g.*, maquetas) que reproduzem, embora simplificadamente e com uma “redução operatória” (Martinand, 1987), as propriedades de um ou vários objetos de grandes dimensões, chamam-se modelo técnico. Este instrumento de indagação permite realizar medições, cálculos, ensaios e visualização de situações que não seriam fáceis de efectuar no(s) objeto(s) real(is).

Escrevemos modelo técnico, em vez de simplesmente modelo, de forma propositada, já que esta noção, geralmente a primeira, reenvia-nos para campos de referência empíricos constituídos de fenómenos, de dados e de resultados experimentais. É por isso que Bachelard (1979, citado em Meheut; Larcher; Chomat; Barboux, 1987) escreve que “o modelo não é mais do que a sua própria função; ...modelo para; modelo de, ele reenvia-nos a outra coisa além dele” (p. 106). De facto em didáctica das ciências carecemos de um outro instrumento, não físico, mas mental, aquele a que chamamos de modelo platónico. Este tipo de modelo “inclui todas as representações ou reproduções que são utilizadas na aquisição e/ou compreensão e evolução do conhecimento” (Andrade, 1991, p. 31).

Um modelo não significa assim, ou não é necessariamente, um objeto, desenho ou imagem física. Trata-se antes de uma imagem mental, um auxiliar para tratar a lógica de um conceito em situações marcadamente definidas (modelo platónico) que pode concretizar-se na realização de um modelo técnico. Pela sua própria etimologia de significação, o modelo não representa globalmente a realidade. Representa estruturalmente uma idealidade parcelar, segundo uma determinada ideia orientadora ou esquema director, com o fito de uma melhor e mais profunda compreensão da realidade, constituindo um importante guia para a ação investigativa. Para Lliboutry (1987) é uma “representação simplificada de um processo, de um sistema” (p. 100).

As atividades de modelação podem situar-se a diferentes níveis. Podem ser simplesmente sintáticas (ou seja, fazer funcionar o modelo segundo as suas próprias regras). Estas atividades podem surgir como secundárias e periféricas em relação à própria modelação.

As atividades fundamentais do ponto de vista da modelação colocam em relação dois níveis de descrição, duas linguagens, e podem ser qualificadas de semânticas.

A aprendizagem é um processo muito complexo, no qual intervêm muitas variáveis, não apenas o método, mas igualmente os conteúdos a aprender, a motivação daquele que aprende, as suas concepções alternativas. O modelo didático é, em investigação educativa, o que se apresenta como elemento integrador de todas estas variáveis (García de la Torre; Pedrinaci; Sequeiros, 1993; Pereira, 1987). Quando suficientemente fundamentado, o modelo permite ao professor, em interação com o seu tratamento na aula, orientar o conjunto do seu saber fazer pedagógico mediante a explicitação dos diferentes elementos curriculares, tais como objetivos, conteúdos, metodologias, recursos e avaliação.

Os modelos, ao representarem parcelarmente a realidade, são construídos na crença de facilitarem o entendimento da natureza dos objetos que representam, fornecendo elementos para uma investigação e visualização do fenómeno e projeção imaginativa relativa às suas propriedades. Permeiam esta compreensão na medida em que os próprios alunos desenvolvem modelos de fenómenos a partir dos modelos mentais legitimados cientificamente, ou seja, permite a substituição de dados empíricos por uma estrutura figurativa clara e matematicamente exata, em que as próprias elaborações teóricas possam tornar-se concretas através de uma representação geométrica. De uma maneira geral, a passagem do mundo real para a construção de modelos reais é feita através de verbalizações e simplificações de quem observa e teoriza esse mesmo mundo, com a particularidade do construtor mental constituir também parte integrante do mundo real.

O uso de modelos contribui para superar os frequentes problemas de comunicação (usando linguagens metafórica e analógica), além de promover capacidades de raciocínio, essencialmente quando os alunos estão implicados na sua conceção e construção. Para Leite et al. (1994) e Praia (1995) interessa incentivar: *a*) a modelação, *b*) a reflexão sobre as hipóteses e os pressupostos relativos à estrutura do modelo, e *c*) a avaliação da validade das previsões e os resultados obtidos a partir do modelo.

### **Tipologia de modelos**

Os modelos devem estar orientados de uma forma epistemológica e psicopedagógica, isto é, enquadrados na perspetiva construtivista do conhecimento (Driver, 1988), adequados ao

nível de desenvolvimento cognitivo dos alunos e debruçados sobre os conteúdos programáticos a estudar de acordo com as finalidades do ensino das ciências (Gilbert; Osborne, 1980; Osborne; Gilbert, 1980). Para Pereira (1987) “para ir além da resposta à informação que se encontra numa única ocasião e para predizer o futuro com base na experiência, cada indivíduo deve armazenar informação de uma forma estruturada que corresponda ao seu meio” (p. 75).

Partindo da concepção simplificadora de modelo, Guimand (1980) e Praia (1995) apresentam dois tipos de modelos:

1. Modelo concreto – aquele que é construído a partir de dados experimentais considerando propriedades geométricas ou funcionais do objeto.
2. Modelo teórico – a partir do modelo concreto elaborar-se uma teoria geral que engloba outros fenômenos além do estudado na experiência concreta. Esta teoria entra, contudo, na esfera da hipótese.

Geralmente é a partir de modelos teóricos que surgem modelos concretos. Os primeiros, enriquecidos por várias experiências desenvolvidas (modelos concretos) ultrapassam-nas sendo motor-próprio para sua reformulação. Os modelos concretos apresentam porém uma utilidade evidente, quer seja na investigação que seja no ensino. São, no fundo, o tal instrumento de trabalho.

No caso das Geociências, Andrade (1991, p. 32) considera que os modelos permitem:

1. A compreensão da importância dos fatores que a determinam e do grau de estabilidade da estrutura;
2. Verificar se propriedades como a dureza, clivagem, brilho, entre outras, podem ser explicadas pelo modelo;
3. Explicar, a partir do modelo estático de determinada estrutura, processos dinâmicos, [como por exemplo], a alteração [e a alterabilidade das rochas].

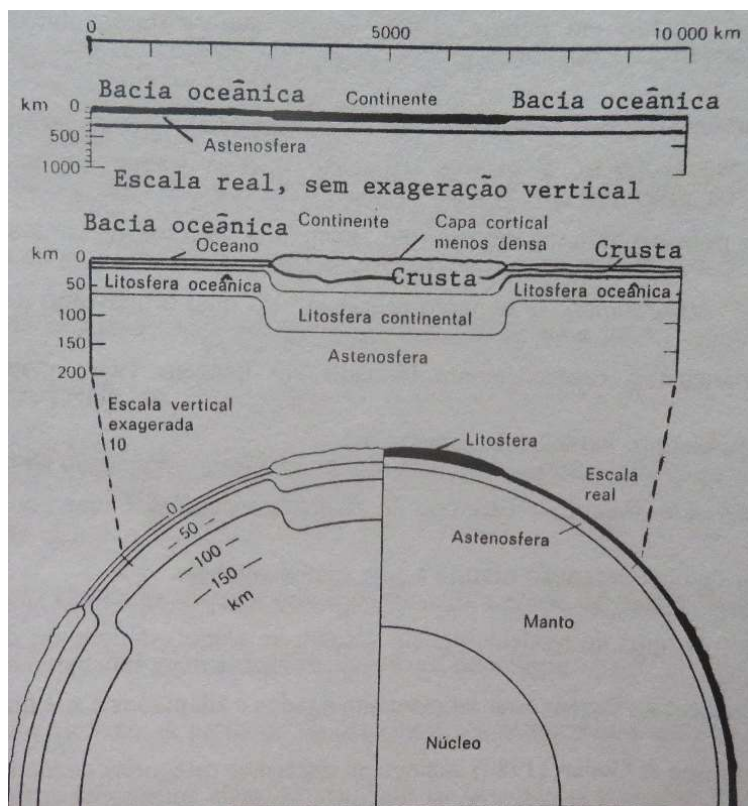
Bruner (citado em Pereira, 1987) sugere que se desenvolvam três tipos de modelos:

1. Modelo-ação – é através da ação que se traduz em primeira mão as experiências pessoais para um modelo (*e.g.*, manipular objetos, mexer em botões).
2. Modelo-icônico – o segundo processo pelo qual o indivíduo pode traduzir as suas experiências é essencialmente baseado em imagens (*e.g.*, mapas, maquetas, esquemas ou plantas, modelos de compostos).
3. Modelo-simbólico – este tipo de modelo conceptual, é uma construção mental que pode ir de uma descrição simples a uma análise rigorosa.

Os três tipos de modelos podem assumir-se como estáticos ou dinâmicos, mas todos em educação devem estar intimamente ligados e adaptados à sua finalidade. Osborne e Gilbert (1980) distinguem diferentes categorias de modelos:

1. Modelos mentais – este tipo de modelos considera as suas correspondências em representações verbais e por meio de bosquejos diagramáticos.
2. Modelos à escala – são objetos, sistemas ou processos que imitam a realidade em dimensões reduzidas mas em proporções seguramente respeitadas (*e.g.*, modelo de uma bacia hidrográfica). Consoante os objetivos dos aspectos a estudar assim os modelos devem ser orientados, eliminando variáveis “desnecessárias” ou “pertubadoras” e evidenciando outras imprescindíveis e adequadas. Haverá que atender sempre às respetivas convenções de interpretação (Figura 1). Todas as representações bidimensionais e tridimensionais à escala podem ser incluídas nos modelos icônicos de Bruner.

Figura 1 - Modelo à escala da estrutura interna da Terra.

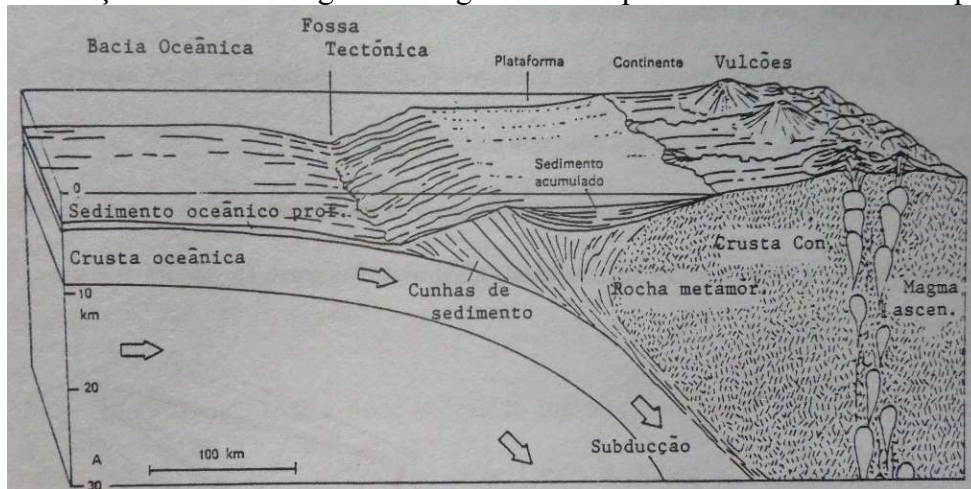


Fonte: adaptado de Strahler (1992, p. 9).

3. Modelos analógicos – nesta tipologia de modelos incluem-se as representações materiais de objetos, sistemas ou processos, construídos com o objetivo de representar o mais exatamente a estrutura ou conjunto de relações que ocorrem na realidade. Existe uma tentativa de partilhar superiormente (*i.e.*, mas além da escala) com a realidade, a mesma estrutura ou teia de relações (Figura 2). É possível considerar uma analogia positiva, atendendo às características do modelo utilizadas, uma analogia negativa (caraterísticas do modelo desprezadas) e uma analogia neutra, que permite previsibilidade.



Figura 2 - Representação de um bloco-diagrama de alguns acidentes típicos numa zona de subducção ativa. Há um grande exagero vertical para revelar os detalhes superficiais e corticais.



Fonte: adaptado de Strahler (1992, p. 15).

4. Modelos matemáticos – estes modelos podem aparecer sumariados na forma de uma equação matemática. Em Geociências estes modelos assumem mais significado quando pretendem descrever, reduzir e estudar o mundo sensível. Exemplo: a natureza da matéria está estreitamente relacionada com o fenómeno da gravitação. No que respeita aos processos geológicos que ocorrem na superfície sólida da Terra ou próximo dela, interessa estudar a atração gravitacional da Terra exercida sobre massas muito diminutas, como por exemplo, moléculas de gás ou líquido, rochas ou matéria orgânica. Esta gravitação pode ser escrita sob uma fórmula matemática formulada por Sir Isaac Newton:

$$\vec{F}_g = \frac{g \cdot m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

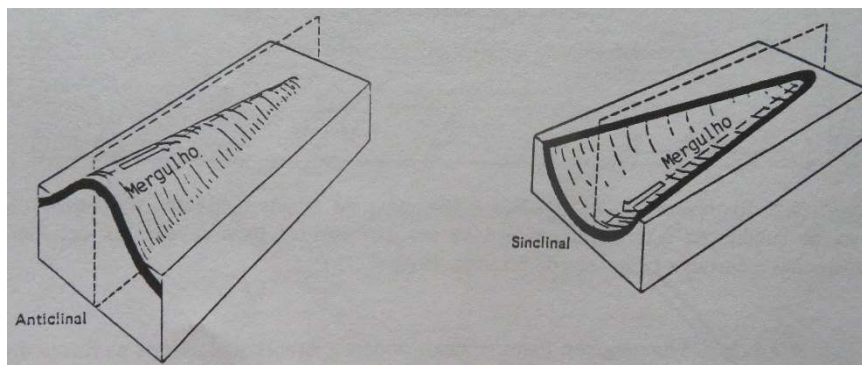
em que  $g$  é a constante universal de gravitação,  $m_1$  e  $m_2$  são as duas massas,  $d$  é a distância que separa as massas, e  $\vec{F}_g$  é a força gravitacional entre elas.

Lliboutry (1987) seria os modelos em:

1. Determinista – Modelos cuja evolução pode ser vaticinada num aspecto, ao menos teoricamente. Opõem-se aos modelos estocásticos.

2. Geométrico – representação simplificada de formas naturais, reais, por figuras geométricas. O modelo pode incluir grandezas aleatórias (Figura 3).

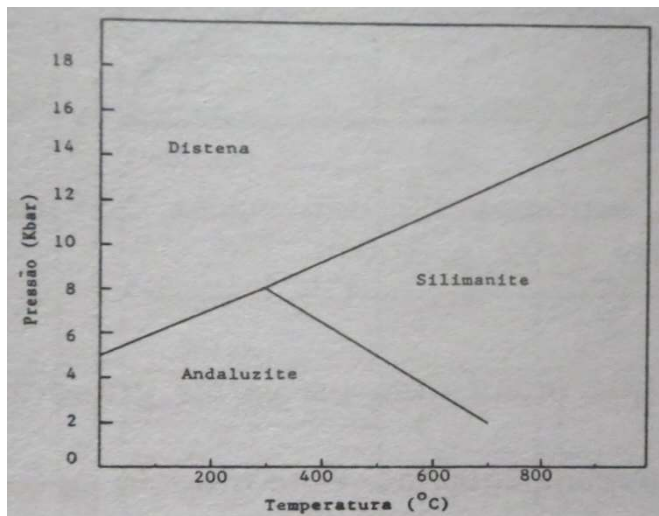
Figura 3 - Dobras com mergulho.



Fonte: elaboração própria.

3. Matemático – consistem num conjunto de relações matemáticas, que podem ser estudadas sem fazer apelo a leis ou a regularidades, tendo já sido transcritas na linguagem matemática.
4. Mecânico – modelo físico representando um fenómeno natural por meio de um problema mecânico.
5. Físico – representação simplificada de um processo ou de um sistema real permitindo aplicar as leis das ciências de base. Introduzindo a expressão matemática destas leis, transforma-se o modelo físico em modelo matemático.
6. Previsível. Modelo matemático, determinista ou estocástico, construído no princípio da previsibilidade da evolução de um sistema (Figura 4).

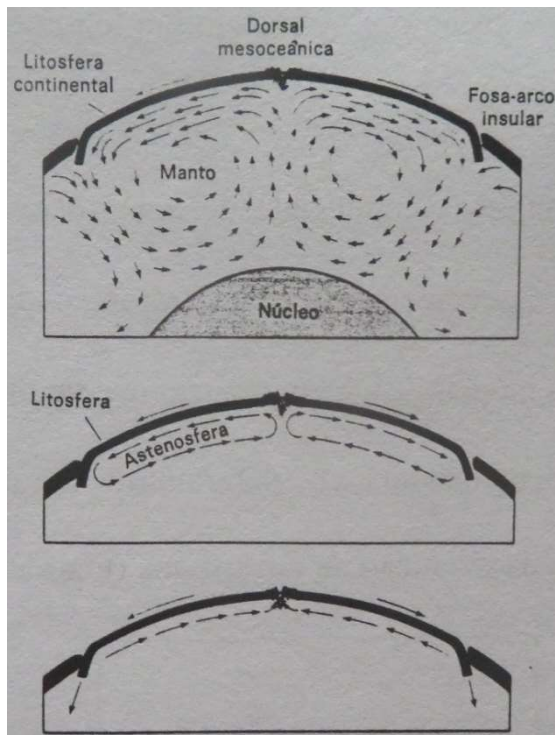
Figura 4 - Diagrama de fases do  $Al_2Si_5$ , determinado experimentalmente.



Fonte: baseado no diagrama de Bell (1963, p. 1055).

7. Redutor – modelo físico reduzindo um fenômeno ao nível de complexidade menor, em particular nas ciências de base (Figura 5), seja num princípio explicativo (*e.g.*, modelo das placas litosféricas), seja num princípio previsível (*e.g.*, modelo da circulação atmosférica).

Figura 5 - Três modelos de sistemas de convecção do manto vistos em corte esquemático.

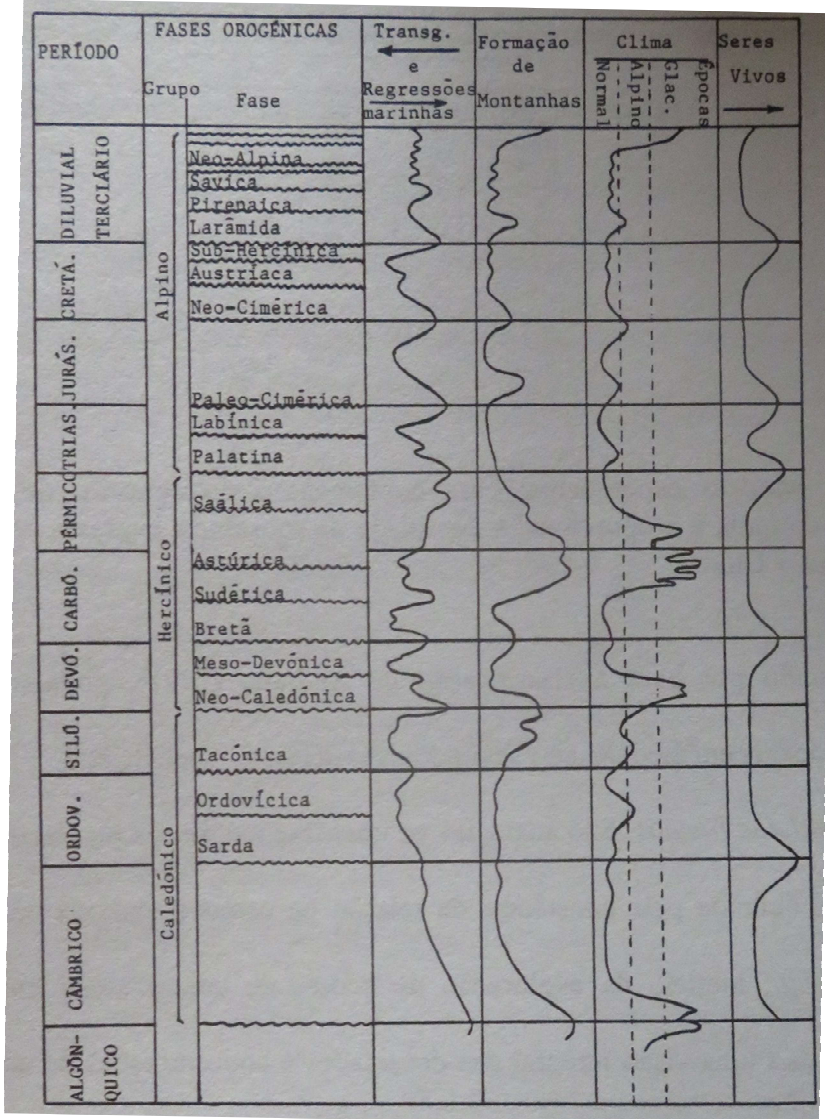


Fonte: adaptado de Strahler (1992, p. 300).

8. Estocástico – modelo que inclui uma ou várias grandezas, função do tempo, que são consideradas como variáveis aleatórias. Este modelo se for construído de forma exacta fornecerá apenas probabilidades e não certezas absolutas (Figura 6).

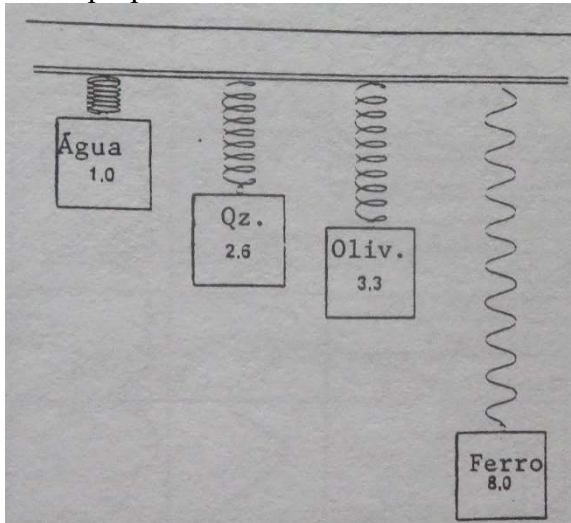
9. Reduzido – dispositivo experimental reproduzindo o fenómeno a estudar numa escala (espacial ou temporal) distinta da real, por vezes utilizando substâncias diferentes ou modificando as principais forças (*e.g.*, gravidade). Para que os resultados sejam válidos, os parâmetros sem dimensões próprias no problema devem ser os mesmos no modelo reduzido e na realidade, bem como os processos físicos (Figura 7).

Figura 6 - Esquema relacional dos ciclos orogénicos (com as principais fases de dobramento, representadas com linha mais grossa quanto maior foi a sua importância), com as transgressões e regressões marinhas, a formação de maciços montanhosos e as respectivas variações climáticas. À direita assinalam-se as épocas de “crise” no desenvolvimento do reino animal, que mantêm uma certa relação com os fenómenos anteriores.



Fonte: baseado em Melendez e Fuster (1991, p. 406). Ordov. - Ordovício; Silú. - Silúrico; Devó. - Devónico; Carbó. - Carbónico; Trias. - Triásico; Jurás. - Jurássico; Cretá. - Cretácio; Transg. - Transgressões; Glac. - Glaciações.

Figura 7 - Modelo experimental para compreensão do conceito de densidade. O estiramento da mola é proporcional à densidade da substância expressa em  $\text{g/cm}^3$ . Qz. - quartzo; Oliv. – olivina.



Fonte: Elaboração própria.

Seguindo por base a classificação de Andrade (1991), podemos agrupar os principais modelos em Geociências segundo os critérios de semelhança:

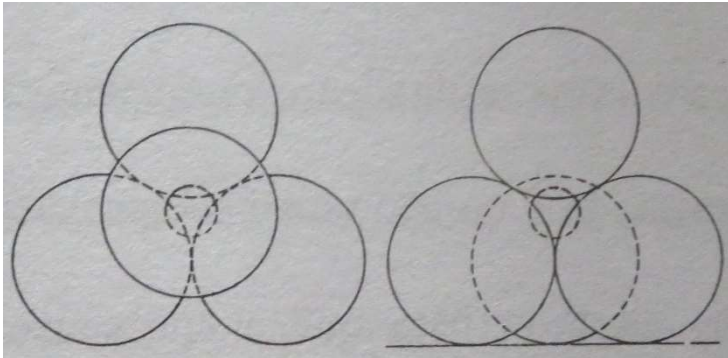
1. Modelos físicos – são analogias geométricas mecânicas ou elétricas em que a semelhança é definida pela constância da relação de certas grandezas ou propriedades homólogas (e.g., modelo da exploração de licores de urânio numa mina). Modelos matemáticos dão uma visão integral das densidades e concentrações de urânio em cada área-padrão. Em qualquer ponto do modelo, é possível simular uma exploração com uma certa intensidade e durabilidade representativas da realidade já que este foi construído a partir de dados recolhidos na prospecção.

2. Modelos de estrutura – trata-se, a nível molecular, de uma construção geométrica que representa espacialmente o arranjo atômico dos átomos ou grupos de átomos que constituem a molécula. Com base em conhecimentos da Química é possível estabelecer com rigor os ligações interatômicas e os ângulos que elas fazem entre si. Estes modelos podem ser de dois tipos:

2.1. Modelos de estrutura compactos – os átomos são representados por esferas cujos raios são proporcionais às forças de ligação (Figura 8).

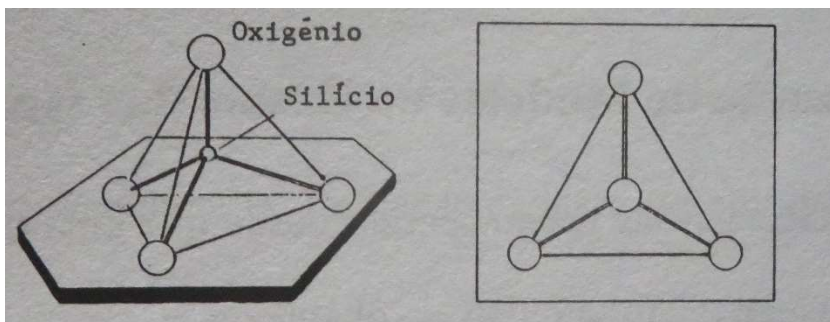
2.2. Modelos de estrutura esqueléticos – são modelos onde figuram somente as ligações interatômicas, representadas por meio de segmentos metálicos, permitindo uma noção do arranjo interno da molécula (Figura 9).

Figura 8 - Modelo de estrutura compacto de tetraedros de silício-oxigênio.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 9 - Modelo de estrutura esquelético de tetraedros de silício-oxigênio.



Fonte: Elaboração própria.

Estes modelos, são mesmo assim, utilizados com alguma frequência, mas com uma exploração menos adequada. A sua utilidade não advém somente de memorizar uma determinada estrutura atômica (e por consequência cristalográfica), mas essencialmente da possibilidade de permitirem uma explicação visual de um dado comportamento de um objeto face à variação de determinados parâmetros.

3. Modelos de simulação por computador – o estudo do funcionamento de um sistema ou de um processo dinâmico pode ser auxiliado pelo computador. A partir de um esquema hipotético de funcionamento (fundado nos dados introduzidos) traduzido num

modelo matemático, o computador calculará os valores teóricos das grandezas mensuráveis confrontando-os com os resultados experimentais. Desta forma, é possível sabermos se o modelo representado é ou não uma boa aproximação ao processo real, e em que sentido teremos de ajustá-lo para que a aproximação se incremente (*e.g.*, determinação teórica dos teores de urânio confrontada com os resultados efectivos da sua extração). Alguns estudos têm revelado que o advento do uso de computadores em simulações no ensino das ciências tem desenvolvido um novo horizonte na educação tecnológica, além de favorecer uma maior e melhor compreensão dos processos naturais.

### **A utilização de modelos no ensino das Geociências**

Os modelos em Geociências fazem sentido desde que uma determinada grandeza física seja suscetível de ser medida e dependa da distribuição de determinadas propriedades numa certa extensão do espaço. Os modelos deverão obedecer a duas exigências: materializar as características atualmente conhecidas da Terra, e as distintas hipóteses de distribuição de outras características (*e.g.*, densidade, dureza, composição mineralógica), por forma a possibilitar a dedução calculada dos valores das grandezas físicas que são suscetíveis de medição.

Embora possamos não conseguir produzir modelos matemáticos para determinado processo geológico, tal facto não nos impede de representar esse mesmo processo através de um modelo de outro tipo (platónico, evidentemente). Para evitarmos imprecisões, discussões estéreis e traduções irreais da realidade através da nossa construção mental, devemos sempre explicitar muito claramente os nossos modelos de maneira mais clara possível. Só assim poderemos ter uma mínima garantia que existe algum grau de verosimilhança entre o nosso modelo real e o mundo real.

Esta questão é particularmente evidente, por exemplo, na teoria da deriva continental proposta inicialmente por Wegener. De facto os físicos contemporâneos a Wegener provaram que os mecanismos por si propostos eram impossíveis de acontecerem. Embora este modelo tivesse o seu ressurgimento no início da década de 1960 com as informações do campo magnético terrestre, ele não fora todavia, aceite anteriormente, precisamente pelos dados que o refutavam e pelo conjunto de algumas hipóteses que eram assumidas à partida como demonstradas. Como refere Andrade (1991), confunde-se um modelo concreto, construído para



testar as consequências de uma hipótese, com um outro destinado a representar convencionalmente a realidade sem questionar a possibilidade de construção de outros modelos.

Os modelos em Geociências devem ser utilizados tendo em vista o desenvolvimento de conhecimentos, de capacidades e de atitudes dos alunos, onde há uma verdadeira necessidade e finalidade, e não multiplicarem-se indiscriminadamente como modelo de ensino. A sua utilização, especificamente os modelos à escala e de analogias simples, é amplamente justificada, enquanto os modelos mais abstratos deverão ser utilizados com precaução.

Convém, por razão essencialmente epistemológica, fazer sentir nos alunos o carácter arbitrário e temporal dos modelos (pensados e construídos à luz dos conhecimentos actuais) e o seu efectivo afastamento da realidade, embora tentem uma aproximação, que é tanto maior (grau de confiança) quanto mais elevado for o grau de correspondência entre os resultados obtidos, utilizando o modelo, e as observações realizadas na situação real.

A orientação no sentido de desenvolvimento de tentativas de modelos, apreciação de hipóteses e considerações ideais sobre as quais se edificam os modelos e avaliação crítica daquilo que se pode prever a partir dos modelos é muito importante, uma vez que “para compreender como se formam os modelos espontâneos nos alunos é necessário criar situações nas quais eles próprios deverão elaborar um modelo [e.g., situações resolutórias de problemas]” (Blanchet, 1987, p. 64). Estas preocupações levarão os alunos no sentido de produzirem e avaliarem os seus próprios modelos.

Vários modelos podem explicar o mesmo fenómeno (e.g., modelo de Wegener da deriva continental e modelo da tectónica de placas) e um mesmo modelo poderá explicar fenómenos à primeira impressão distintos. Será importante dar oportunidade de se desenvolverem discussões com os alunos acerca das diferentes hipóteses e pressupostos em que os modelos se baseiam, avaliar criticamente as previsões consideradas e comparar os distintos modelos eventualmente construídos para as diversas situações experimentais.

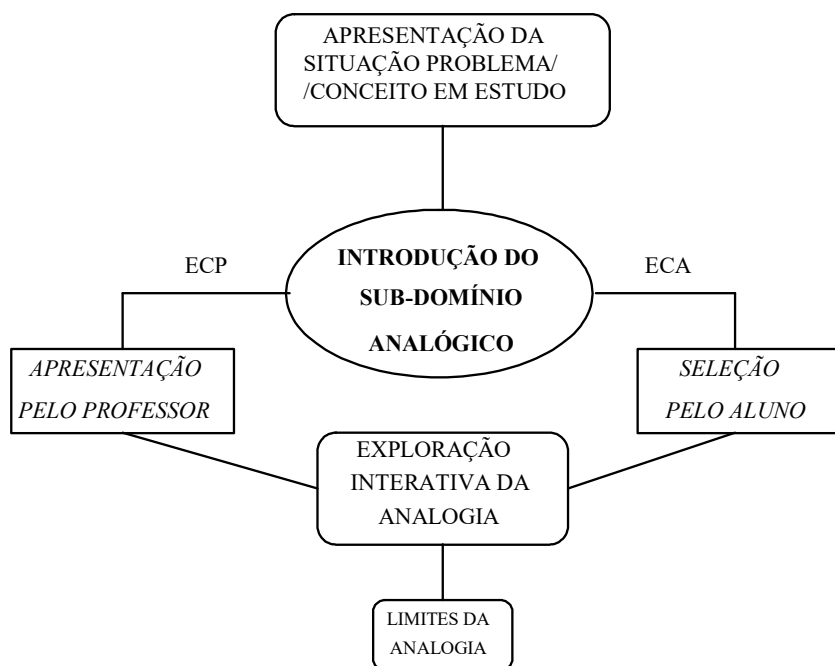
Cachapuz (1989) apresenta as quatro fases sequenciais que ajudam a racionalizar um possível modelo:

1. Apresentação da situação problema/conceito pertencendo ao domínio em estudo,
2. Introdução do(s) conceito(s) pertencendo ao domínio familiar (sub-domínio analógico),

3. Exploração interativa da correspondência estabelecida,
4. Estabelecimento dos limites da analogia.

É possível considerar então, duas estratégias limites para a gestão do modelo, consoante o aluno seleciona ou não o sub-domínio analógico (Figura 10). A adoção de uma estratégia centrada no professor (ECP) ou de uma estratégia centrada no aluno (ECA), tem a ver com a perspetiva pedagógica do professor e objetivos de ensino. No caso da apresentação de conceitos pertencentes a um domínio conceptual novo para o aluno, é de privilegiar uma ECP, enquanto as ECA se aplicam-se mais quando se pressupõe que os alunos dominam já minimamente os assuntos a estudar.

Figura 10 - Possível modelo de ensino assistido por analogias.



Fonte: adaptado de Cachapuz (1989, p. 124). ECA - Estratégia centrada no aluno; ECP - Estratégia centrada no professor.

Blanchet (1987) indica cinco etapas da formação de um modelo:

1. A ação: o estatuto da repetição,
2. A representação sequencial,
3. A representação simultânea,

4. Procura da identificação das transformações reais,
5. Coordenação e comunicação.

Antes de introduzir algum modelo, é de todo interesse apurar as concepções alternativas dos alunos (modelos alternativos) afim de podermos iniciar a nossa construção precisamente sobre esses alicerces. A selecção de modelos deve ser cuidadosa e adequada (*e.g.*, evitar o uso de modelos que são desnecessariamente abstratos). Convém demarcar claramente os limites entre o modelo, a fonte do modelo e a realidade representada pelo modelo.

Um modelo conduz conceptualmente a conhecimentos que não são específicos ou únicos de uma dada disciplina (*e.g.*, modelo de limites convergentes e discussão das velocidades de subducção). Os próprios alunos possuem a priori conhecimentos e experiências de como esses mesmos modelos podem ser entendidos em outros contextos. Revela-se por isso importante uma coordenação horizontal das várias disciplinas científicas que concorrem para o mesmo assunto, afim de apurar os modelos a introduzir, altura indicada e a forma como introduzi-los.

Um conhecimento vertical das distintas disciplinas permitirá ainda partir de conceitos que foram eventualmente abordados segundo uma determinada perspectiva em anos anteriores. A construção física de modelos deve ser preferencialmente tridimensional, já que nós vemos a realidade a três dimensões (além do tempo), embora seja muitas vezes mais fácil fazê-los bidimensionais (*e.g.*, um antiforma). Haverá que procurar maneiras de produzi-los atendendo a este aspecto (*e.g.*, construir um antiforma num cubo, construir um modelo cristalográfico) e em complemento (ou alternativa) utilizar projecções de diapositivos que caracterizam esses mesmos modelos.

Atualmente a utilização de software é uma das riquezas quase de inesgotável exploração. Os programas informáticos permitem observar os modelos de vários ângulos, explorá-los, controlá-los, manipulá-los e simular experiências de forma a refutar ou comprovar os modelos hipotéticos desenvolvidos pelos alunos.

A utilização das outras formas de linguagem figurativa revela-se de grande importância no ensino das ciências, mais ainda quando conjugada com a exploração de modelos, uma vez que é por meio deste tipo de linguagem que o conhecimento científico significa e evolue. Alguns epistemólogos como Thomas Kuhn, chegaram mesmo a considerar essencial para o

progresso científico a existência de linguagem metafórica. Comênio refere a propósito da utilização de modelos a alegria que os alunos sentiriam na aprendizagem, além da natural facilidade (Comênio, 1985). Parece-nos que a partir de Petrie, a linguagem metafórica assume um papel essencial na evolução cognitiva do aluno (Dreistadt, 1988).

No entender de Santos e Gonçalves (1988) a “originalidade da analogia está em que ela em vez de estabelecer uma banal relação de semelhança, estabelece uma imaginativa semelhança de relação e tem, por isso, uma grande eficácia no desenvolvimento e na extensão do pensamento” (p. 129). Mesmo assim, embora a linguagem metafórica seja um valioso auxiliar educativo no ensino das Geociências, há necessidade de estar consciente das suas potencialidades e limitações educativas relativamente à própria aprendizagem:

1. A própria redução da realidade;
2. A inibição da construção de novos conceitos;
3. O limitar a extensão de um conceito;
4. O reforçar as ideias primeiras ou pré-conceitos, isto é, construir ideias erradas;
5. A compreensão diferenciada do mesmo tema devido a aspectos culturais ou de desenvolvimento cognitivo (Bernicot, 1981; Fourment; Emmenecker; Pantz, 1987);
6. O animismo, substancialismo ou antropomorfismo reforçando obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1986).

Cachapuz (1989), refere citando Glynn, que a linguagem figurativa pode ainda abrir estímulos para a resolução de problemas existentes, identificando novos problemas e elaborando hipóteses explicativas. Apesar de Santos e Gonçalves (1988) concluírem que a inclusão da linguagem metáfora na formação de professores constitui uma importante estratégia para produzir efeitos na aprendizagem e no desenvolvimento psicológico dos alunos, contribuindo para a construção dos objetivos educacionais, a realidade não traduz essa adoção (Cachapuz, 1989), nem se assiste a abundantes modelos de ensino assistidos por analogias, ou livros escolares intensamente preocupados com esta temática (Gilbert, 1989; Howard, 1989).

Oliveira (1991) atribui vantagens à linguagem metafórica ao nível do concretizar, do assimilar ativamente, e do estruturar:

1. Ativa o raciocínio analógico [e favorece a mudança conceptual].
2. Organiza a percepção.

3. Desenvolve a aquisição do pensamento metafórico.
4. Desenvolve capacidades cognitivas elevadas como a criatividade.
5. Faz a ligação (ponte cognitiva) entre o conhecido e o desconhecido.
6. Funciona como organizador prévio.
7. Transforma o conhecimento factual em concetual.
8. Torna significativa e motivante a informação.
9. Facilita a aquisição de novos conceitos.
10. Faz a ligação entre conceitos.
11. Torna compreensível os conceitos, nomeadamente os abstratos.
12. Alarga em extensão um conceito pelo aumento de flexibilidade e versatilidade do pensamento.
13. Aumenta a memória.
14. Estimula a solução de problemas e a identificação de novos problemas.
15. Fomenta a elaboração de hipóteses.
16. Torna a comunicação mais variada, interessante e agradável.
17. Fomenta um estilo menos rígido e mais expressivo do discurso. (p. 188)

Kerr e Maki (1979, citados em Pereira, 1987) esquematizaram a utilização de modelos e as relações do modelo da sala de aula com o mundo real (Figura 11). Osborne e Gilbert (1980) referem que muitos alunos vêem os modelos como realidades físicas ou meras hipóteses de trabalho que pouco contribuem para a compreensão de um assunto. Frequentemente é entendido mais como um auxiliar. Pereira (1987, p. 81-82) sintetiza as dificuldades dos alunos associadas ao uso de modelos no ensino das ciências:

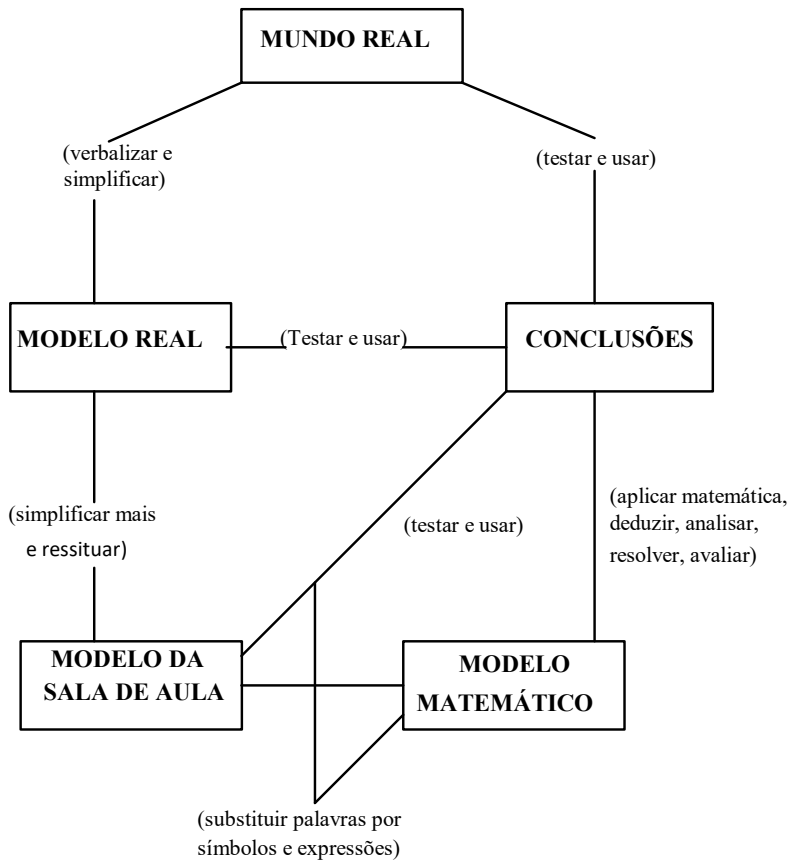
1. Têm muitas vezes falta de perceção das fronteiras intelectuais entre o modelo, a fonte do modelo e a realidade cujo comportamento o modelo tenta explicar [*e.g.*, ondas sísmicas];
2. Apresentam uma tendência em recorrer ao uso do modelo mais rudimentar [modelo atómico];
3. Têm dificuldade em aplicar um dado modelo em contextos diferentes;
4. Em relação aos modelos icónicos:
  - a) Tendem a pensar que são modelos da realidade à escala aumentada ou reduzida,

- b) Têm dificuldade em visualizar estruturas tridimensionais a partir de representações bidimensionais;
5. Na área dos modelos analógicos:
- a) Tendem a incorporar as suas próprias analogias,
  - b) Consideram (possivelmente em consequência do modo como são ensinados) os modelos como sendo a realidade,
  - c) Têm dificuldade em reconciliar um dado modelo apresentado através de meios educacionais diferentes [*e.g.*, passagem de um modelo bidimensional para um tridimensional];
6. Na área dos modelos matemáticos [há dificuldade em]:
- a) abstrair,
  - b) interpretar,
  - c) manipular.

Obviamente será necessário verificar até que ponto os modelos são ou não válidos para determinada aprendizagem. Levine (citado em Pereira, 1987) indica três regras obnóxias para apurar a validade de modelos. Um modelo não deve:

1. Introduzir observações ou factos que ainda não sejam conhecidos dos alunos,
2. Provocar conflitos com qualquer modelo mais sofisticado a introduzir posteriormente,
3. Chocar com aquilo que o aluno já sabe a um determinado nível.

Figura 11 - Utilização de modelos e as relações do modelo da sala de aula com o mundo real



Fonte: adaptado de Kerr e Maki (1979, citados em Pereira, 1987, p. 80).

A mesma autora citando Hered indica três pontos a ter presentes, quando se planeia utilizar um modelo, que basicamente sintetizamos:

1. As *skills* requeridas para um modelo devem obrigar a pouquíssimas explicações e hipóteses por parte do professor e as medições devem ser claras;
2. Os alunos deverão conseguir chegar às próprias conclusões. Deverá haver debate de ideias relativas a fontes de erro, limitações implícitas e explícitas; e
3. A honestidade é essencial no processo de construção do conhecimento (essencialmente a nível ético). Factos simplificados ou extrapolados podem conduzir a interpretações falsas.

No mínimo, alunos e professor deverão descobrir limitações de uma dada analogia, com o sentido de tornar clara a relação entre a teoria e a analogia, diminuindo-lhe as possibilidades de favorecer a criação de concepções errôneas. Não esquecer que verdades científicas são-nas

enquanto todos os esforços de falsificabilidade se tornarem infrutíferos. A capacidade de tecer considerações críticas objetivas e fundamentadas deve ser estimulada e desenvolvida já que constitui um dos objetivos da aprendizagem das ciências.

## Conclusões

Os modelos facilitam a visualização e a conceptualização de fenómenos abstratos. Muitos conceitos científicos, como a estrutura atômica, o ciclo da água ou a mecânica dos fluidos, não são diretamente observáveis a olho nu. Ao apresentar modelos que representam esses fenómenos de maneira mais tangível e acessível, os educadores podem ajudar os alunos a internalizar esses conceitos de forma mais eficaz. Além disso, os modelos permitem a simplificação de sistemas complexos. A natureza muitas vezes opera com uma diversidade de variáveis e interações que podem ser desafiadoras de abordar diretamente em sala de aula. Utilizando modelos, os educadores podem isolar e destacar aspectos específicos de um fenómeno, tornando mais fácil para os alunos compreenderem as relações entre diferentes variáveis.

Outro ponto relevante é que os modelos encorajam a investigação e a experimentação. Ao manipular modelos, os alunos têm a oportunidade de testar hipóteses, explorar cenários e compreender as consequências de diferentes variáveis. Isso promove a abordagem prática e a aplicação dos conhecimentos teóricos, desenvolvendo habilidades científicas essenciais, como o método científico e o raciocínio crítico. Além disso, o uso de modelos favorece a aprendizagem ativa e participativa. Quando os alunos são envolvidos na construção ou manipulação de modelos, eles se tornam agentes ativos no processo educacional. Essa abordagem contrasta com métodos mais passivos, incentivando o engajamento e a retenção do conhecimento.

Em síntese, a utilização de modelos no ensino das ciências desempenha um papel crucial na promoção da compreensão, na simplificação de conceitos complexos, na facilitação da experimentação e na promoção de uma aprendizagem ativa. Ao incorporar efetivamente esses recursos no processo educacional, os educadores podem enriquecer a experiência de aprendizado dos alunos, preparando-os para uma compreensão mais profunda e crítica do mundo científico que os cerca.



## Referências

- ANDRADE, Godoberta Perdigão. **Ensino da geologia. Temas didáticos**. Lisboa, Universidade Aberta, 1991.
- BACHELARD, Gaston. **La formation de l'esprit scientifique**. 3. ed.. Paris: Presses Universitaires de France, 1986.
- BELL, P. M. Aluminium silicate system: experimental determination of the triple point. **Science**, v. 139, n. 3559, p. 1055-56, 1963. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17812984/>.
- BERNICOT, Josie. L'étude expérimentale des métaphores. **L'Année Psychologique**, v. 81, n. 2, p. 465-84, 1981. Disponível em <https://doi.org/10.3406/psy.1981.28388>.
- BLANCHET, A. La construction de modeles spontanés chez l'enfant et le rôle de la simulation. In: GIORDAN, André; MARTINAND, Jean-Louis (Coords.) **Actes des IXèmes Journées internationales sur l'éducation scientifique**. Chamonix, A. Giordan e J. L. Martinand Editeurs, 1987, p. 63-70.
- CACHAPUZ, António Francisco (1989). Linguagem metafórica e o ensino das ciências. **Revista Portuguesa de Educação**, v. 2, n. 3, p. 117-29, 1989.
- CACHAPUZ, António Francisco; OLIVEIRA, Teresa. Metaphorical language, science teaching and the initial training of portuguese science teachers: What's missing? **Comunicação apresentada na conferência Teacher Education in Europe: the Challenges a Head**. Glasgow, 1990.
- COMÊNIO, Jan Amos. **Didáctica magna**. 3. ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1985.
- DREISTADT, Roy. An analysis of the use of analogies and methaphors in science. **The Journal of Psychology**, v. 68, n. 1, p. 97-116, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00223980.1968.10544134>.
- DRIVER, R. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 109-20, 1988. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51075>.
- FOURMENT, Marie-Claude; EMMENECKER, Nelly; PANTZ, Valérie. Étude de la production de métaphores chez des enfants de 3 a 7 ans. **L'Année Psychologique**, v. 87, n. 4, p. 535-51, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.3406/psy.1987.29233>.
- GARCÍA DE LA TORRE, Enrique; PEDRINACI, Emilio; SEQUEIROS, Leandro. Fundamentos para aprendizaje de la geología de campo en educación secundaria: Una propuesta para la formación del profesorado. **Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v. 1, n. 1, p. 11-18, 1993. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/88078>.
- GILBERT, Seteven W. An evaluation of the use of analogy, simile and metaphor in science texts. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 26, n. 4, p. 315-27, 1989. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tea.3660260405>.
- GILBERT, J.; OSBORNE, R. The use of models in science and science teaching. **The European Journal of Science Education**, v. 2, n. 1, p. 3-13, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0140528800020103>.
- GIORDAN, A. Modeles et simulation: une mode ou des utils pour la CEC (communication, education, culture) scientifique? In: GIORDAN, André; MARTINAND, Jean-Louis (Coords.) **Actes des IXèmes Journées internationales sur l'éducation scientifique**. Chamonix, A. Giordan e J. L. Martinand Editeurs, 1987, p. 17-31.



GUIMAND, S. Le modèle en biologie. In **Encyclopaedia Universalis France** (Ed.), Encyclopaedia Universalis. Vol. 2. Paris, DC, Autor, 1980.

HOWARD, R. Teaching science with metaphors. **School Science Review**, v. 70, n. 252, p. 1123-125, 1989.

LEITE, Aurora; FUTURO, Alexandre; SILVA, R.; MARQUES, Luís; PRAIA, João; TRINDADE, Vítor. Tectónica global e trabalho prático: Contribuição para um sentido inovador do ensino. **Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v. 2, n. 2, p. 354-60, 1994. Disponível em: <https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/88165>.

LLIBOUTRY, L. Petit glossaire méthodologique. In: GIORDAN, André; MARTINAND, Jean-Louis (Coords.) **Actes des IXèmes Journées internationales sur l'éducation scientifique**. Chamonix, A. Giordan e J. L. Martinand Editeurs, 1987, p. 97-102.

MARTINAND, Jean-Louis. Modèles et simulation: en guise d'introduction. In: GIORDAN, André; MARTINAND, Jean-Louis (Coords.) **Actes des IXèmes Journées internationales sur l'éducation scientifique**. Chamonix, A. Giordan e J. L. Martinand Editeurs, 1987, p. 33-44.

MEHEUT, M.; LARCHER, C.; CHOMAT, A.; BARBOUX, M. Modèles particuliers et apprentissage de la modelisation au collège. In: GIORDAN, André; MARTINAND, Jean-Louis (Coords.) **Actes des IXèmes Journées internationales sur l'éducation scientifique**. Chamonix, A. Giordan e J. L. Martinand Editeurs, 1987, p. 105-10.

MELENDEZ, Bermudo; FUSTER, José María. M. **Geología**. 5. ed. Madrid, Editorial Paraninfo, 1991.

OLIVEIRA, Maria Teresa. Linguagem e aprendizagem. In: OLIVEIRA, Maria Teresa. (Coord.) **Didática da Biologia**. Lisboa: Universidade Aberta, 1991, p. 157-90.

OSBORNE, R.; GILBERT, J. The use of models in science teaching. **The School Review**, v. 62, n. 218, p. 57-67, 1980. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/0140528800020103>.

PEREIRA, M. P. Modelos em ciência: Usos e limitações. In **Atas do I Encontro sobre Educação em Ciências**. Braga, Universidade do Minho, 1987, p. 75-87.

PRAIA, João. **Formação de professores no ensino da Geologia: Contributos para uma didáctica fundamentada na epistemologia das ciências. O caso da deriva continental**. Vol. I Tese (Doutorado em Educação). Universidade de Aveiro, Aveiro, 1995.

SANTOS, S. B.; GONÇALVES, O. Construção de metáforas e formação psicológica de professores. **Revista Portuguesa de Educação**, v. 1, n. 1, 63-77, 1988.

STRAHLER, Arthur N. **Geología física**. Barcelona, Ediciones Omega, 1992.

TRINDADE, Maria Nazaret. O processamento da linguagem metafórica. In PATRÍCIO, Manuel Ferreira (Coord.) **Atas do IV Seminário A componente de psicologia na formação de professores e outros agentes educativos**. Évora, Departamento de Pedagogia e Educação da Universidade de Évora, 1993, p. 203-16.