

**ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA EM AMBIENTE DE MODELAGEM  
MATEMÁTICA****LITERACY SCIENTIFIC IN MODELING MATHEMATICS ENVIRONMENT****Ednilson Sergio Ramalho de Souza<sup>1</sup>**  
**Adilson Oliveira do Espírito Santo<sup>2</sup>** Página | 5**RESUMO**

Discussões sobre Alfabetização Científica têm sido comuns em publicações da área de ensino de Ciências e algumas da Educação Matemática. No entanto, a revisão de literatura mostra que poucos trabalhos abordam esse tema em associação com a Modelagem Matemática. Nosso objetivo é discutir sobre Alfabetização Científica em ambiente de Modelagem Matemática. Para isso buscamos respostas a duas perguntas principais: Quais habilidades são necessárias aos alfabetizados cientificamente? e Como elas emergem em práticas de Modelagem Matemática? Por meio de pesquisa bibliográfica verificamos que tais habilidades surgem em complexidade crescente conforme ocorre a transição entre as etapas de Modelagem e conforme ocorre a participação efetiva dos estudantes nessas etapas. O estudo gerou um quadro de referência que pode ser consultado por professores interessados em promover Alfabetização Científica em ambiente de Modelagem Matemática.

**Palavras chave:** alfabetização científica, modelagem matemática, ensino de ciências.

**ABSTRACT**

Discussions on Scientific Literacy have been common in Science teaching publications and some Mathematics Education. The literature review shows that few studies address this topic with Mathematical Modeling. Our goal is to discuss Scientific Literacy in Mathematical Modeling environment. For this we seek answers to two main questions: What skills are needed to scientifically literate? and How they emerge in Mathematical Modeling practices? Through literature review we found that such skills arise in increasingly complex as the transition between the stages of Modeling and as the participation of students in these steps. The study generated a frame of reference that can be consulted by teachers interested in promoting Scientific Literacy in Mathematical Modeling environment.

**Keywords:** scientific literacy, mathematical modeling, science education.

<sup>1</sup> ednilson.souza@ufopa.edu.br

<sup>2</sup> adilson@ufpa.br

## 1. INTRODUÇÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino de Ciências Naturais (BRASIL, 1997) destaca como um dos objetivos básicos do Ensino Fundamental que os alunos sejam capazes de “questionar a realidade formulando-se problemas e tratando de resolvê-los, utilizando para isso o pensamento lógico, a criatividade, a intuição, a capacidade de análise crítica, selecionando procedimentos e verificando sua adequação” (p. 07). Tal objetivo, dada sua importância para a formação cidadã, perpassa o Ensino Fundamental e constitui-se um dos objetivos principais do Ensino Médio, aparecendo nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) ao considerarem que o ensino de Ciências da Natureza,

(...) contribua para a formação de uma cultura científica efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação” (BRASIL, 2000, p. 22).

Diretrizes desse tipo colocam em dúvida a efetividade de um ensino de Ciências alicerçado na memorização e mecanização de procedimentos, tal como é comum em nossas escolas brasileiras, levando-nos a propor ambientes educacionais alternativos ao chamado ensino bancário (FREIRE, 2005), no qual o professor deposita informações na cabeça do estudante, este, em analogia a um cofre, não possui abertura para questionar e refletir durante o processo de aprendizagem.

Nessa atmosfera, percebe-se que a Alfabetização Científica deve ser um dos pilares da educação brasileira, conforme esclarecem as Orientações Curriculares para o Ensino Médio.

A tão falada metáfora da Alfabetização Científica e Tecnológica aponta claramente um dos grandes objetivos do ensino das ciências no nível médio: que os alunos compreendam a predominância de aspectos técnicos e científicos na tomada de decisões sociais significativas e os conflitos gerados pela negociação política (BRASIL, 2006, p. 47).

Sendo assim, práticas pedagógicas em Ciências da Natureza que convirjam para a Alfabetização Científica torna-se um imperativo em sala de aula. É necessário ir além da aprendizagem conceitual, pois de nada adianta o estudante decorar definições e conceitos se não souber aplicá-los para analisar e propor soluções a situações reais que emergem em diferentes momentos de sua vida de cidadão brasileiro.

Pensamos que o ambiente de Modelagem Matemática possa ser favorável ao desenvolvimento de Alfabetização Científica. Nesse horizonte, nasce nosso objetivo geral de

investigação: *Refletir sobre a emergência de indicadores cognitivos para Alfabetização Científica em ambiente gerado pelo processo de Modelagem Matemática, especialmente no ensino de Ciências.*

Dessa maneira, fizemos uma Pesquisa Bibliográfica (MALHEIROS, 2011) com a finalidade de identificar na literatura disponível principais pontos sobre Alfabetização Científica e seus indicadores cognitivos, bem como caracterizar o ambiente de Modelagem Matemática a partir do suporte teórico da Educação Matemática.

Na seção que segue, faremos um diálogo sobre Alfabetização Científica focando em algumas habilidades para seu desenvolvimento. Na segunda seção, nosso interesse será discutir sobre o ambiente gerado pelo processo de Modelagem Matemática com olhar nas aulas de Ciências. A terceira seção apresenta um entrelaçamento de ideias com o objetivo de indicar possíveis indicadores cognitivos para Alfabetização Científica em estágios de Modelagem Matemática. Após isso, a quarta seção finaliza propondo um quadro de referência para o desenvolvimento de Alfabetização Científica a ser útil como orientador em ambiente de Modelagem Matemática.

## 2. UM DIÁLOGO SOBRE ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

A Alfabetização Científica, termo traduzido do inglês *Scientific Literacy*, tem sido um objetivo para o ensino de Ciências da Natureza perseguido por diversos países desde o século XX. Ganhou força após o lançamento do satélite Sputnik pela antiga Rússia em outubro de 1957, chamando a atenção dos Estados Unidos para o fato de que deveriam investir na educação científica e tecnológica dos jovens americanos. Em 1958, o pesquisador Paul Hurd publicou um artigo intitulado *Science Literacy: Its meaning for American Schools*, no qual argumentava que “O problema imediato é acabar com o fosso entre a riqueza da realização científica e a pobreza da alfabetização científica na América” (HURD, 1958, p. 14) (Tradução nossa). Foi a primeira vez que o termo alfabetização científica foi citado em um texto sobre educação (CARVALHO, 2009).

Nos dias de hoje existem diversas definições para Alfabetização Científica, contudo, podemos dizer que elas são definições equivalentes. No geral: delineiam competências de estudantes (jovens ou adultos) para fazer uso do conhecimento científico em situações reais; referem-se à capacidade de utilização de provas e dados para avaliar a qualidade das informações e argumentos apresentados pelos cientistas e pelos meios de comunicação de

massa; descrevem a capacidade de um indivíduo para compreender as leis científicas, teorias, fenômenos e coisas do mundo (DRAGOS e MIH, 2015).

Sasseron (2010) argumenta que no Brasil encontramos autores que usam os termos Letramento Científico, Enculturação Científica, Literacia Científica para se referirem ao objetivo do ensino de Ciências Naturais que vise à formação cidadã dos estudantes para o domínio e uso dos conhecimentos científicos e tecnológicos nos mais diferentes momentos de suas vidas.

Um dos maiores defensores da Alfabetização Científica brasileira, Attico Chassot (2014), argumenta que a responsabilidade maior no ensinar Ciências é fazer com que nossos estudantes se transformem com o ensino que fazemos em homens e mulheres mais críticos, tornando-se agentes de mudanças no mundo em que vivemos. Para este autor, Alfabetização Científica é um “conjunto de conhecimentos que facilitariam aos homens e mulheres fazer uma leitura do mundo onde vivem” (p. 62). Mas quais conhecimentos seriam esses? Como promover a aquisição desses saberes nas aulas de Ciências?

Segundo o Programa Internacional de Avaliação de Estudantes, PISA (2013), compreender e participar no debate crítico sobre as questões que envolvem a Ciência e a Tecnologia exige o domínio de três competências gerais. A primeira é a capacidade de fornecer explicações a fenômenos naturais, artefatos técnicos e tecnologias e suas implicações para a sociedade. Tal capacidade subtende o conhecimento sobre ideias, estrutura e objetivos da Ciência. A segunda é ter compreensão sobre métodos e técnicas da pesquisa científica: identificar questões que podem ser respondidas pela investigação científica; identificar se os procedimentos foram utilizados adequadamente e propor formas para que tais questões possam ser abordadas. A terceira competência está relacionada à capacidade de interpretar e avaliar cientificamente dados e provas, bem como avaliar se as conclusões são justificáveis.

Ao dialogar sobre as condições para Alfabetização Científica pela pesquisa, tal como aponta a segunda competência do PISA (2013), Pedro Demo (2010) reflete que o aluno deve formar-se construindo conhecimento pela pesquisa. Para isso é necessária a mediação docente para levar até esse aluno os desafios da aprendizagem. Desafios que o faça ser capaz de pesquisar e colaborar com argumentos científicos. O autor reflete ainda que o aluno precisa saber produzir conhecimento próprio, precisa saber pensar. Nesse sentido, a Alfabetização Científica deve fazer parte do projeto pedagógico da escola. A meta de qualquer escola deveria ser “fazer o aluno autor que, produzindo conhecimento pela pesquisa, também se forme melhor”

(p. 118). Assim sendo, começamos a perceber uma diversidade de competências e habilidades necessárias ao desenvolvimento de Alfabetização Científica.

Mesmo considerando esses vários saberes indispensáveis aos alfabetizados cientificamente, é possível estabelecer algumas convergências entre eles. Sasseron (2008; 2010; 2015) agrupa tais confluências em três blocos, denominados pela autora de Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica. O primeiro eixo refere-se à compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais. O segundo preocupa-se com a compreensão da epistemologia das Ciências Naturais e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática. O terceiro e último eixo estruturante compreende o entendimento das relações existentes entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. Percebe-se que a classificação da autora harmoniza-se com as três competências apresentadas pelo PISA (2013). No entanto, a autora vai além de competências gerais e passa a especificar algumas habilidades específicas em Alfabetização Científica.

A partir dos Eixos Estruturantes da Alfabetização Científica, a autora propõe Indicadores de Alfabetização Científica capazes de refletir evidências de como a mesma está se desenvolvendo nas atividades propostas aos estudantes. Em número de dez, são eles: a Seriação, Organização e Classificação de informações; o levantamento e teste de Hipóteses; a Justificativa, Previsão e a Explicação; o Raciocínio Lógico e Proporcional. No caso das aulas de Ciências, a Justificativa, Previsão e Explicação podem ser reunidos em um único indicador: o Modelo Explicativo (SASSERON, 2010).

Entendemos que esses indicadores estão diretamente relacionados ao raciocínio dos estudantes em tarefas de resolução de problemas. São, portanto, habilidades mentais necessárias à ação efetiva diante de um fato ou acontecimento do mundo real sobre o qual devemos dispensar alguma dose de competência cognitiva. Desse modo, chamaremos os mesmos de *Indicadores Cognitivos para Alfabetização Científica* ou simplesmente indicadores cognitivos. Com isso, nosso intuito é destacar que estão relacionados a modelos mentais postos em formação/reformulação durante o desenvolvimento de Alfabetização Científica.

Existem uma infinidade de modelos que podem ser explicativos, modelo mental é apenas um exemplo, mas estamos interessados nos modelos matemáticos. Um modelo matemático pode ser compreendido como um modelo explicativo na medida em que possa ser usado para justificar e fazer previsões sobre o mundo físico. Hestenes (2013) complementa sobre a importância dos mesmos no desenvolvimento da Alfabetização Científica,

Esses modelos caracterizam as estruturas básicas que são quantitativos onipresentes não só na física, mas também em todo o resto da ciência. Suas aplicações para ciência e vida moderna são ricas e ilimitadas. Por conseguinte, usar estes modelos em uma variedade de situações é um componente essencial para a Alfabetização Matemática e Científica (p. 15) (Tradução nossa).

Desse modo, chegamos a um ponto das reflexões que nos permite levantar a hipótese principal de que a construção de modelos matemáticos pelos próprios estudantes em aulas de Ciências é um processo que pode desencadear a cognição para Alfabetização Científica. Discutiremos sobre essa hipótese analisando os estágios do ambiente de Modelagem Matemática. Página | 10

### 3. O AMBIENTE DE MODELAGEM MATEMÁTICA

Henry Pollak (2012) apresenta descrição interessante sobre o ambiente educacional de Modelagem Matemática. Ele diz o seguinte: uma situação real geralmente tem muitas facetas que não nos permite levar em consideração sua totalidade, temos que decidir quais aspectos são mais importantes e mantê-los. Neste momento, produzimos uma versão idealizada da situação do mundo real que pode então ser traduzida em termos matemáticos. O que temos agora? Um modelo matemático! Então aplicamos nosso instinto e conhecimento matemático para obter *insights* interessantes: exemplos, aproximações, teoremas, algoritmos. Traduzimos tudo isso de volta para a situação do mundo real esperando ter uma teoria para a pergunta inicial. Mas temos que verificar: os resultados são práticos? As respostas são razoáveis? As consequências são aceitáveis? Em caso afirmativo, ótimo! Se não, damos outra olhada nas escolhas que fizemos no início e tentaremos novamente.

A ideia de ambiente educacional de Modelagem Matemática em Ciências funciona de maneira semelhante como descrito por Pollak (2012). Contudo, Barbosa (2001) também apresenta uma concepção de Modelagem que nos interessa: “Ao meu ver, Modelagem é um ambiente de aprendizagem no qual os alunos são convidados a indagar e/ou investigar, por meio da matemática, situações com referência na realidade” (p. 31). Assim, nesse ambiente “aberto” o campo conceitual mobilizado vai depender do vetor direção dado pelo professor, dependendo do interesse curricular. Se for Matemática, então o vetor direção apontará para os objetos matemáticos, se for Física, então o vetor direção apontará para objetos do mundo físico, conforme o caso. Essa característica flexível do ambiente de Modelagem pode ter desafios e potencialidades para o “chão da sala de aula”.

No que diz respeito aos desafios, é possível encontrar na literatura referências quanto: à insegurança do professor e também dos alunos; inadequação do currículo proposto pela escola com o currículo efetivamente visto na atividade de Modelagem (BURAK e KLÜBER, 2007); o tempo extraclasse para desenvolver algumas tarefas (BIEMBENGUT e HEIN, 2009). Além disso, ressaltamos a resistência de alguns alunos acostumados ao método bancário, a infraestrutura escolar inadequada para realizar pesquisa (falta de livros, computador, internet etc.). Acreditamos que tais desafios não invalidam o trabalho pedagógico com Modelagem e, com boa vontade, muitos deles podem ser superados.

A natureza “aberta” do ambiente de Modelagem constitui-se, ao nosso ver, em uma de suas maiores potencialidades. Moutinho (2007) relaciona algumas consequências positivas no ensino de Física: motivação dos alunos e do próprio professor; facilitação e significação da aprendizagem; aplicação nas mais variadas áreas do conhecimento; desenvolvimento do raciocínio, lógico-dedutivo; desenvolvimento do aluno como cidadão crítico, político e reflexivo; integração com assuntos do dia-a-dia e com fenômenos da natureza; facilita as interações entre professor-aluno e aluno-aluno; possibilita a criação de um modelo matemático que represente a situação estudada, contrário ao mecanicismo cartesiano que valida um modelo já existente.

Embora o ambiente de Modelagem tenha esse caráter flexível e aberto, isso não significa falta de sistematicidade. Ou seja, não quer dizer que não podemos estabelecer algumas “maneiras” de fazer Modelagem em sala de aula. Nesse sentido, Barbosa (2001) ao fazer um levantamento na literatura nacional e internacional identificou três formas diferentes de organizar atividades de Modelagem:

Caso 1. Imaginemos que um professor apresente aos alunos uma situação-problema acerca da construção de um estacionamento numa avenida (da cidade), onde se pede a melhor forma de dispor os carros. A descrição da situação, os dados (reais) e o(s) problema(s) são trazidos pelo professor, cabendo aos alunos o processo de resolução. (...) Caso 2. O professor traz para a sala um problema não-matemático (...). Os alunos devem coletar as informações qualitativas e quantitativas necessárias para resolver o problema: ao professor cabe formular e apresentar o problema (...). Caso 3. Outra forma de integrar Modelagem ao currículo é o desenvolvimento de projetos desenvolvidos a partir de temas, que podem ser escolhidos pelo professor ou pelos alunos. Aqui o levantamento de informações, a formulação de problemas e a resolução destes cabem aos alunos (p. 38-39).

Infere-se que os chamados “Casos de Barbosa” enfatizam a relação professor & aluno no ambiente de Modelagem. Ressalta-se que nos três casos o professor atua como coparticipante na investigação dos alunos, dialogando com eles acerca de suas tarefas. No entanto, no Caso 1,

o professor possui um papel mais ativo na organização das ações, uma vez que ele fica responsável pela formulação da situação-problema. Por outro lado, no Caso 3, a atuação do professor é menor, pois os alunos assumem a maior parte das tarefas. O Quadro 1 organiza a participação do professor e do aluno em cada caso.

	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>	<b>Caso 3</b>
Elaboração da situação-problema	Professor	Professor	professor/aluno
Simplificação	Professor	professor/aluno	professor/aluno
Dados qualitativos e quantitativos	Professor	professor/aluno	professor/aluno
Resolução	professor/aluno	professor/aluno	professor/aluno

**Quadro 1** - Participação professor & alunos nos “Casos de Barbosa”

**Fonte:** Barbosa (2001, p. 40)

Observa-se que o Quadro 1 é comandado por quatro etapas (elaboração da situação problema, simplificação, dados qualitativos/quantitativos e resolução) e três Casos. A transição do Caso 1 para o Caso 3 ocorre com aumento nas ações de Modelagem desenvolvidas pelos estudantes; conseqüentemente, aumento de recursos cognitivos necessários para o desenvolvimento das tarefas. No Caso 1, os estudantes participam apenas da resolução do problema e no Caso 3 eles participam de todas as etapas didáticas. Coloca-se em relevo o fato de que os professores e os alunos podem implementar atividades de Modelagem de diferentes maneiras, não se tratando de configurações rígidas, mas de campos de possibilidades.

Aprofundando a ideia de campos de possibilidades no ambiente de Modelagem, Chaves (2012) combina algumas propostas pedagógicas, entre elas as de Burak (2004), e apresenta um quadro que relaciona as principais etapas às possibilidades de ação professor & aluno referente aos “Casos” em Barbosa (2001).

Etapas do processo	Possibilidade		
	1	2	3
Escolha do tema	Professor	Professor	prof./aluno
Elaboração da situação-problema	Professor	Professor	prof./aluno
Coleta de dados	Professor	prof./aluno	prof./aluno
Simplificação dos dados	Professor	prof./aluno	prof./aluno
Tradução/Resolução do problema	prof./aluno	prof./aluno	prof./aluno
Análise crítica da solução/validação	prof./aluno	prof./aluno	prof./aluno

**Quadro 2** - Possibilidades para modelagem matemática na sala de aula

Fonte: Chaves (2012, p. 41)

A proposta de Chaves (2012) representada no Quadro 2 chama a atenção pela quantidade de etapas relacionadas às possibilidades de ação professor & aluno. Se percorrermos as seis etapas de cima para baixo veremos que correspondem a momentos básicos desenvolvidos em um ambiente de Modelagem Matemática. As ações desenvolvidas pelos estudantes também aumentam da esquerda para a direita, isto é, na transição do Caso 1 para o Caso 3 ocorre aumento de recursos cognitivos mobilizados pelos estudantes, podendo possibilitar maior mobilização de indicadores cognitivos.

A escolha do caminho a ser percorrido pelo professor no Quadro 2 vai depender do objetivo que se pretende alcançar, “em outras palavras, o contexto e a finalidade, ou seja, o *onde* e o *para quê* a Modelagem será utilizada são, em certa medida, determinantes para o *como* ou para a forma que vai ser planejada e desenvolvida” (CHAVES, 2012, p. 41) (Grifos da autora).

Mas como indicadores cognitivos para Alfabetização Científica podem emergir em um ambiente educacional de Modelagem?

#### 4. ENTRELAÇANDO DISCUSSÕES

Para responder à pergunta precedente vamos analisar procedimentos típicos que fazem parte das etapas de Modelagem e entrelaçar discussões com alguns indicadores para Alfabetização Científica conforme Sasseron (2008; 2010).

#### 4.1. Escolha do tema

Esse é o momento inicial do processo de Modelagem em que geralmente os estudantes ainda não têm ideias ou suposições sobre o que modelar. A escolha de um tema de Modelagem parte do interesse da classe como um todo ou de grupos de estudantes. A fonte de interesse do tema pode ser uma curiosidade dos alunos, notícia de jornal ou uma situação intrigante para os mesmos. O professor tem papel importante no encaminhamento do tema, pois ele pode fornecer subsídios relevantes para a tomada de decisão dos estudantes (BURAK e KLÜBER, 2011). Em complemento, Bassanezi (2015) informa que a escolha de temas pelos próprios estudantes é importante para que os mesmos possam sentir-se corresponsáveis pelo processo de Modelagem, tornando suas participações mais efetivas. No entanto, a escolha final dependerá também da orientação do professor, que analisará a exequibilidade de cada tema com relação à obtenção de dados, visitas, fontes para pesquisas etc.

Página | 14

Inferese que a escolha de temas subtende a mobilização de diferentes tipos de informações pelos estudantes, seja em livros, internet, televisão, rádio, redes sociais etc. Sendo assim, argumentamos que essa escolha possa fazer emergir indicadores cognitivos relacionados ao trabalho com dados empíricos ou com as bases por meio das quais os estudantes compreendem um assunto ou situação. Sasseron (2010) caracteriza indicadores dessa natureza em três tipos:

*A seriação de informações* é um de nossos indicadores da alfabetização científica. Ela deve surgir quando se almeja o estabelecimento de bases para a ação investigativa. Não prevê, necessariamente, uma ordem que deva ser estabelecida para as informações: pode ser um rol, uma lista de dados trabalhados ou com os quais se vá trabalhar.

*A organização de informações* ocorre nos momentos em que se discute sobre o modo como um trabalho foi realizado. Esse indicador pode ser vislumbrado quando se explicita a busca por um arranjo de informações novas ou já elencadas anteriormente. Pode surgir tanto no início da proposição de um tema quanto na retomada de uma questão.

*A classificação de informações* aparece quando se busca estabelecer características para os dados obtidos, o que pode fazer com que essas informações sejam apresentadas conforme uma hierarquia, embora o aparecimento dessa hierarquia não seja condição *sine qua non* para a classificação de informações. Constitui-se em um indicador voltado para a ordenação dos elementos com os quais se está trabalhando, procurando uma relação entre eles (SASSERON, 2010, p. 19-20) (Grifos da autora).

Ou seja, no nosso entender, o processo de escolha de temas em ambiente de Modelagem Matemática pode ser favorável ao desenvolvimento de indicadores cognitivos para seriação, organização e classificação de informações.

#### 4.2. *Elaboração da situação-problema*

Página | 15

Mesmo durante, ou após a escolha de temas, os estudantes devem levantar questionamentos que os levem à elaboração de modelos matemáticos: são as situações-problema. D'Amore (2007, p. 287) argumenta que uma situação-problema deve constituir uma “situação de aprendizagem concebida de maneira tal que os alunos não possam resolver a questão por simples repetição ou aplicação de conhecimentos ou competências adquiridas, mas tal que seja necessária a formação de novas hipóteses”. Em aditivo, Dante (2011) esclarece que situações-problema são problemas que retratam situações reais do cotidiano do estudante e que exigem o uso da Matemática para serem resolvidos. Por meio de conceitos, técnicas e procedimentos procura-se uma organização matemática para dada situação da realidade, organizando os dados em tabelas, traçando gráficos, fazendo operações etc. Normalmente, são problemas que exigem pesquisa e levantamento de dados.

Essa capacidade de articular dados e formular problemas provindos da situação pesquisada, argumentam Burak e Klüber (2011), constitui-se de valor formativo e atitudinal de grande significado educativo, pois desenvolve no estudante a capacidade cidadã de traduzir e transformar situações do mundo real em situações matemáticas. Bassanezi (2015) corrobora com esse ponto de vista. “Faz-se um levantamento de possíveis situações de estudo as quais devem ser, preferencialmente, abrangentes para que possam propiciar questionamentos em várias direções” (p. 16).

Nessa etapa do processo de Modelagem ocorre a necessidade de fazer questionamentos a fim de que “surja” ou se identifique uma situação-problema interessante para ser modelada. Para que isso aconteça, necessariamente os estudantes entram no campo do levantamento e teste de hipóteses, caracterizados por Sasseron (2010) como:

*O levantamento de hipóteses* aponta instantes em que são alçadas suposições acerca de certo tema. Esse levantamento de hipóteses pode surgir tanto na forma de uma afirmação quanto na de uma pergunta (atitude muito usada entre os cientistas quando se defrontam com um problema).

*O teste de hipóteses* constitui-se nas etapas em que se colocam à prova as suposições anteriormente levantadas. Pode ocorrer tanto diante da manipulação direta de objetos quanto no nível das ideias, quando o teste é feito por meio de atividades cognitivas com base em conhecimentos anteriores (SASSERON, 2010, p. 20) (Grifos da autora).

Desse modo, argumentamos que durante a elaboração de situações-problema pode ocorrer predominantemente a emergência dos indicadores cognitivos para levantamento e testagem de hipóteses.

#### **4.3. Coleta/simplificação de dados**

Essa fase ocorre naturalmente após a definição do problema de Modelagem. Bassanezi (2015) reflete que a produção de dados consiste em buscar informações relacionadas com o assunto escolhido como tema de Modelagem. Diz o autor que essa coleta, qualitativa ou quantitativa, pode ser realizada de diferentes maneiras: por meio de pesquisas ou entrevistas executadas com os métodos de amostragem aleatória. Neste caso, a elaboração de um questionário eficiente e a utilização de alguns conceitos básicos de Estatística são fundamentais; por meio de pesquisa bibliográfica, utilizando dados já obtidos e catalogados em livros e revistas especializadas; por meio de experiências planejadas pelos próprios estudantes. Quanto à simplificação de dados, o mesmo autor argumenta que os fenômenos são, em geral, excessivamente complexos se considerados em todos os seus detalhes, por isso é necessário restringir e isolar o campo de estudo apropriadamente de tal modo que o problema seja tratável e, ao mesmo tempo, mantenha sua relevância (BASSANEZI, 2004).

Burak e Klüber (2011) refletem que após a definição de uma situação-problema é necessário buscar e coletar dados. Os autores exemplificam essa etapa a partir de uma questão: qual o consumo anual de papel na escola? Tal questão enseja a produção de dados sobre os trabalhos desenvolvidos pela escola relacionados ao consumo de papel: o tipo de atividades realizadas; estimativa da quantidade de papel utilizada (por sala, por ano, por aluno); os tipos de papel; o consumo da administração etc. Tal questão implica fazer um levantamento junto aos professores, alunos, direção, secretaria, busca de informações na internet, visita a fábricas de papel, dentre outros.

Pensamos que pela própria natureza dos procedimentos desenvolvidos nesse estágio de Modelagem ocorra a emergência dos indicadores cognitivos anteriormente citados, ou seja, a seriação, classificação e organização de informações, bem como o levantamento e teste de hipóteses (SASSERON, 2010).

#### **4.4. Tradução/resolução do problema**

A produção de dados leva a uma necessidade natural de organizá-los de alguma maneira, seja por meio de um quadro, tabela, gráfico ou equação matemática. Biembengut e Hein (2009) chamam essa etapa do processo de modelagem de matematização e refletem que é nessa fase

que ocorre a tradução da situação-problema para a linguagem matemática. Os autores refletem ainda que intuição, criatividade e experiência acumulada são elementos indispensáveis nessa etapa. Essa é uma fase que predomina a formulação e testagem de hipóteses, sendo necessário: caracterizar as informações (relevantes e não relevantes); identificar fatos envolvidos; decidir quais os fatores a serem perseguidos, levantando e testando hipóteses; selecionar variáveis relevantes e constantes envolvidas; selecionar símbolos apropriados para essas variáveis; e descrever essas relações em termos matemáticos.

O objetivo principal deste momento do processo de modelar é chegar a um conjunto de expressões aritméticas ou fórmulas, ou equações algébricas, ou gráfico, ou representações, ou programa computacional, que levem à solução ou permitam a dedução de uma solução (BIEMBENGUT e HEINS, 2009, p. 14).

O modelo matemático é obtido quando se substitui a linguagem natural das hipóteses por uma linguagem matemática coerente. A resolução de um modelo está sempre atrelada ao grau de complexidade empregado em sua formulação, sendo que muitas vezes é necessário recorrer a métodos computacionais para resolvê-lo (BASSANEZI, 2004).

Pode acontecer que o conteúdo necessário para a resolução de um problema seja totalmente novo para os estudantes. Nesse momento, o professor, na condição de mediador, deve favorecer a construção desse conhecimento, seja por meio de atividades investigativas, seja orientando a busca do conteúdo no livro-texto, seja criando outras alternativas (BURAK E KLÜBER, 2011).

Essa etapa do ambiente de Modelagem enfatiza, ao nosso ver, procedimentos ligados mais diretamente à procura do entendimento da situação analisada, ao trabalho com as variáveis envolvidas no fenômeno e a busca por relações capazes de descrever as situações para aquele contexto e outros semelhantes. Isso significa pôr em evidências nos alunos, além das habilidades anteriores, as de justificativa, previsão e explicação:

A *justificativa* aparece quando, em uma afirmação qualquer, lança-se mão de uma garantia para o que é proposto. Isso faz com que a afirmação ganhe aval, tornando-se mais segura.

O indicador da *previsão* é explicitado ao afirmar uma ação e/ou fenômeno ocorrendo em associação (e como decorrência) a certos acontecimentos

A *explicação* surge quando se busca relacionar informações e hipóteses já levantadas. Normalmente, à explicação segue-se uma justificativa para o problema, mas é possível encontrar explicações que não possuem essas garantias. Mostram-se, pois, explicações ainda em fase de construção que certamente receberão maior autenticidade ao longo das discussões (SASSERON, 2010, p. 20) (Grifos da autora).

Sendo assim, na fase do ambiente de Modelagem caracterizado pela tradução e resolução do problema pode emergir principalmente indicadores cognitivos para explicação, justificativa e previsão, além das outras já comentadas.

#### **4.5. Análise crítica da solução/validação do modelo**

Burak e Klüber (2011) consideram que essa etapa da Modelagem é um momento destinado a analisar e discutir as soluções encontradas. Ocasão em que se fazem as considerações sobre as hipóteses levantadas e testadas. Possibilita o aprofundamento de conhecimentos matemáticos ou não matemáticos, tais como os ambientais, sociais, culturais envolvidos no tema. Etapa em que se discute os cuidados com a linguagem e com as restrições feitas anteriormente. Nessa etapa também se fazem justificativas. É um momento para mostrar e comentar soluções empíricas e as mais formais. Enfim, “é um momento de interação entre os grupos, de troca de ideias e de reflexões (p. 13).

Nesse momento da Modelagem, contribui Bassanezi (2015), ocorre o processo de aceitação ou rejeição do modelo matemático, geralmente pelo confronto dos dados reais com os valores simulados. “Um bom modelo deve servir para explicar os resultados e tem capacidade de previsão de novos resultados ou relações insuspeitas” (p. 22). Primeiro formula-se um modelo simples que é fundamental para se entender com detalhes o problema e diagnosticar quais características do fenômeno devem ser consideradas mais a sério. No entanto, esse modelo simplista deve ser reformulado pela modificação de variáveis ou nas leis de formação previamente estabelecidas. Contudo, num ambiente escolar, um modelo simples, mesmo que seus dados não correspondam perfeitamente com os da realidade, pode ser bastante eficiente para a aprendizagem.

Em nossa visão, durante a análise crítica e validação da solução ocorre a emergência de um indicador cognitivo fundamental em Ciências Naturais: a elaboração mental de um modelo explicativo. Quanto a essa habilidade, Sasseron (2010) faz o seguinte comentário:

Estes três indicadores – justificativa, explicação e previsão – estão fortemente imbricados entre si, e a completude da análise de um problema se dá quando é possível construir afirmações que mostram relações entre eles, pois, desse modo, têm-se elaborada uma ideia capaz de estabelecer um padrão de comportamento que pode ser estendido a outras situações. Além disso, essa ideia, se bem estruturada, deve permitir que se percebam as relações existentes entre os fenômenos do mundo natural e as ações humanas sobre ele. Caso isso ocorra, estaremos diante de outra habilidade importante para o desenvolvimento da Alfabetização Científica, principalmente para a Física: a construção de modelo explicativo capaz de tornar clara a compreensão que se

tem de um problema qualquer assim, as relações podem ser construídas entre esse conhecimento e outras esferas da ação humana (p. 21).

Desse modo, acreditamos que no momento da avaliação da capacidade preditiva e explicativa do modelo matemático elaborado pelos estudantes ocorra a emergência de indicadores cognitivos para modelo explicativo.

Ressaltamos que, dos dez indicadores cognitivos para Alfabetização Científica propostos por Sasseron (2008; 2010), apenas dois não foram contemplados em nossa análise. Isso porque os indicadores para raciocínio lógico e proporcional dificilmente podem ser detectados pela análise procedimental, necessitando de exame mais minucioso nas falas dos estudantes, o que foge do escopo de nossas discussões, as quais levaram em consideração ações procedimentais realizadas em ambiente de Modelagem.

## 5. REPAROS FINAIS

Acreditamos ter alcançado, pelo menos parcialmente, nosso objetivo geral na proposição desse artigo, o qual consistiu em analisar a emergência de indicadores cognitivos para Alfabetização Científica no ambiente gerado pela Modelagem Matemática, especialmente no ensino de Ciências.

No entanto, ainda restam algumas perspectivas de pesquisas futuras a serem colocadas em pauta. Uma delas se refere ao fato em evidência no Quadro 3 - que relaciona as etapas do ambiente de Modelagem, segundo Chaves (2012), às principais competências para Alfabetização Científica por nós sugeridas na seção acima - com relação a maior emergência de Alfabetização Científica conforme os estudantes realizam as etapas do ambiente de Modelagem, bem como conforme ocorre a transição entre os Casos de Barbosa.

Legenda: P=Professor; A=Aluno

Etapas do ambiente de Modelagem Matemática (CHAVES, 2012)	Indicadores Cognitivos para Alfabetização Científica (SASSERON, 2010)	Casos de Barbosa (2001)		
		1	2	3
Escolha do tema	Seriação, organização e classificação de informações.	P	P	A
Elaboração da situação-problema	Anteriores + Levantamento e verificação de hipóteses.	P	P	A
Coleta/simplificação de dados	Idem.	P	A	A

Tradução/resolução do problema	Anteriores + Justificativa, previsão, explicação.	A	A	A
Análise crítica da solução/validação do modelo matemático	Anteriores + Modelo explicativo.	A	A	A

**Quadro 3** - Relação entre as etapas da modelagem matemática, as competências para alfabetização científica e os Casos de Barbosa Página | 20

**Fonte:** Sousa e Santo (2017, p.1)

Ressaltamos que a organização do Quadro 3 não é definitiva, outras etapas de Modelagem podem ser incluídas/excluídas no mesmo, bem como outros indicadores cognitivos para Alfabetização Científica. No entanto, pensamos que a ideia que norteou a elaboração do mesmo pode ser de grande utilidade para o desenvolvimento de práticas de Modelagem por professores que queiram enfatizar o desenvolvimento cognitivo de Alfabetização Científica em seus alunos.

A seta vertical mostra que a possibilidade de ocorrer a emergência de indicadores cognitivos tende a ser crescente conforme se desenvolvem as etapas de Modelagem Matemática. A escolha do tema seria o momento de menor emergência, enfatizando predominantemente os indicadores para seriação, organização e classificação de informações. A etapa de análise crítica da solução/validação do modelo matemático seria o momento de maior emergência, enfatizando, além dos demais indicadores, a habilidade de modelo explicativo. Destaca-se a importância de se incentivar que os alunos de Ciências desenvolvam gradualmente todas as etapas do ambiente de Modelagem. Na prática de sala de aula, isso pode ser feito com base nos Casos de Barbosa.

A seta horizontal no Quadro 3 mostra que a emergência de indicadores cognitivos tende a ser crescente conforme ocorre a transição do Caso 1 para o Caso 3 de Barbosa. O ambiente de “menor” emergência seria o primeiro (PPPA), enfatizando principalmente as habilidades de justificativa, previsão, explicação e modelo explicativo. Nota-se que mesmo sendo o caso em que os estudantes realizam apenas duas etapas da Modelagem (tradução/resolução do problema e análise crítica/validação do modelo matemático), consideramos que nesse caso já ocorre a emergência de habilidades essenciais ao desenvolvimento de Alfabetização Científica. Sendo assim, a orientação de um ambiente de Modelagem conforme o Caso 1 de Barbosa, ao contrário do que pode parecer, já possibilita que os estudantes desenvolvam tarefas necessárias à cognição em Alfabetização Científica. Porém, o Caso 3 pode ser considerado o ambiente de

maior potencialidade (AAAAA), possibilitando o desenvolvimento da maioria das habilidades apontadas por Sasseron (2010).

Resta dizer que o Quadro 3 foi produto de inferências teóricas a partir de procedimentos típicos desempenhados pelos estudantes nas fases do ambiente de Modelagem Matemática tomando por base o que dizem os principais autores brasileiros da área. Faz-se necessária, portanto, a validação do mesmo em práticas efetivas de sala de aula para que possamos aperfeiçoá-lo como um quadro de referência efetivo. Assim, algumas questões surgem como pauta de investigações futuras: Quais indicadores cognitivos para alfabetização científica emergem *a partir das falas dos estudantes* em cada etapa de Modelagem? Como potencializar a emergência desses indicadores? Qual a frequência deles conforme os estudantes transitam entre as etapas de Modelagem, bem como entre os Casos de Barbosa.

Esperamos apenas ter iniciado um debate sobre um tema que ainda é pouco discutido em práticas de Modelagem Matemática: o desenvolvimento de cognição para Alfabetização Científica. Na esperança de que outros pesquisadores em ensino de Ciências e Matemática se interessem pelo assunto, inclusive aprofundando as discussões aqui alinhavadas, daremos prosseguimento em nossas pesquisas a fim de contribuir com futuras discussões que levem à melhoria da Educação Científica brasileira, especialmente por meio da Modelagem Matemática.

**REFERÊNCIAS**

- BARBOSA, J. C. **Modelagem matemática: concepções e experiências de futuros professores**. 2001. 253 f. Tese (Doutorado em Educação Matemática) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001.
- BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2004.
- \_\_\_\_\_. **Modelagem matemática: teoria e prática**. São Paulo: Contexto, 2015.
- BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem matemática no ensino**. 5 ed. São Paulo: Contexto, 2009.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências Naturais. Brasília: MEC, 1997.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio**. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2006.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2000.
- BURAK, D. Modelagem matemática e a sala de aula. In: ENCONTRO PARANAENSE DE MODELAGEM NA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 1., 2004, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2004.
- BURAK, D. ; KLUBER, T. E. Modelagem matemática na educação básica: uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 9., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2007.
- \_\_\_\_\_. Encaminhamentos didático-pedagógicos no contexto de uma atividade de modelagem matemática para a educação básica. In: ALMEIDA, M. W.; ARAÚJO, J. L.; BISOGNIN, E. **Práticas de modelagem matemática: relatos de experiências e propostas pedagógicas**. Londrina: Eduel, 2011. p. 1-27. cap. 2.
- CARVALHO, G. S. Literacia científica: conceitos e dimensões. In: AZEVEDO, F.; SARDINHA, M. G. **Modelos e práticas em literacia**. Lisboa: Lidel, 2009, p.179-194.
- CHASSOT, A. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. 6 ed. Ijuí: Unijuí, 2014.
- CHAVES, M. I. A. **Percepções de professores sobre repercussões de suas experiências com modelagem matemática**. 2012. 132 f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Matemática) – Instituto de Educação Matemática e Científica - IEMCI, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- D'AMORE, B. **Elementos de didática da matemática**. São Paulo: Livraria da Física, 2007.
- DANTE, L. R. **Formulação e resolução de problemas de matemática: teoria e prática**. São Paulo: Ática, 2011.
- DEMO, P. **Educação e alfabetização científica**. São Paulo: Papirus, 2010.

DRAGOS, V.; MIH, V. Scientific literacy in school. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 209, p. 167 – 172, 2015.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 46 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

HESTENES, D. Remodeling science education. **European Journal of Science and Mathematics Education**. vol. 1, n. 1, p. 13-22, 2013.

HURD, P. D. Science literacy: Its meaning for american schools. **Educational Leadership**. October, p. 13-16, 1958.

MALHEIROS, B. T. **Metodologia da pesquisa em educação**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MOUTINHO, P. E. C. **CTS e a modelagem matemática na formação de professores de física**. 2007. 115 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Núcleo Pedagógico de Apoio ao Desenvolvimento Científico –NPADC, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

PISA. **Draft science framework**. 2013. Disponível em <  
<http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf>>. Acesso em 07 mar 2015.

POLLAK, H. O. What is mathematical modeling? In: GOULD, H.; MURRAY, D. R.; SANFRATELLO, A. (Ed.). **Mathematical Modeling Handbook**. Bedford: Comap, 2012, p. viii-xi.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino de física. In: CARVALHO, A. M. P. et al. **Ensino de física**. São Paulo: Cengage Learning, 2010. p. 1-27.

\_\_\_\_\_. **Alfabetização Científica no Ensino Fundamental: Estrutura e Indicadores deste processo em sala de aula**. 2008. 265 f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

\_\_\_\_\_. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v.17, p. 49-67, 2015. Número especial.