

# CONTRIBUIÇÕES DE ATIVIDADES DE MODELAGEM PARA O DESENVOLVIMENTO DE HABILIDADES DE INVESTIGAÇÃO

## CONTRIBUTIONS FROM MODELLING-BASED ACTIVITIES TO INVESTIGATIVE SKILL DEVELOPMENTS

Poliana Flávia Maia<sup>1</sup>

Rosária Justi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>polianamaia@yahoo.com.br; <sup>2</sup>rjusti@ufmg.br

<sup>1,2</sup> Programa de pós-graduação em Educação, Faculdade de Educação, UFMG

### Resumo

As atuais perspectivas para o ensino de ciências enfatizam a importância do desenvolvimento de habilidades em detrimento à memorização de conceitos e fatos. Como modelos são ferramentas fundamentais para o desenvolvimento da ciência e, ao mesmo tempo, os principais produtos do processo científico, o uso de atividades de modelagem no ensino pode contribuir para o desenvolvimento de habilidades de investigação e de uma visão adequada sobre natureza dos modelos. Nesta perspectiva, esta pesquisa apresenta uma análise do desenvolvimento de habilidades de um grupo de alunos (15-16 anos) que participaram de três atividades de modelagem realizadas em aulas de química. A análise aponta as habilidades que foram desenvolvidas ao longo das três atividades. A discussão enfatiza especialmente as possíveis contribuições das mesmas para a elaboração de uma visão mais adequada sobre o processo de modelagem e sua importância na produção do conhecimento científico.

**Palavras-chave:** Habilidades – Modelagem – Investigação

### Abstract

Science teaching current approaches emphasise the importance to foster skill developments rather than concepts and facts rote memorisation. As models are, simultaneously, basic tools for science development and the main scientific process products, the use of modelling-based activities in science teaching can contribute to the development of both investigative skills and a comprehensive view on the nature of models. From such a perspective, this study presents an analysis of 15-16 years old students' investigative skill developments. They have participated in three modelling-based activities during chemistry classes. The analysis makes it evident the skills they have developed. The discussion mainly emphasises their possible contributions to students' generation of a more adequate view about the modelling process and its importance in the construction of scientific knowledge.

**Keywords:** Skills – Modelling – Inquiry

### INTRODUÇÃO

Diversos documentos da área de educação em ciências (AAAS, 1998; Millar & Osborne, 1998) têm destacado a necessidade do desenvolvimento de um ensino que ultrapasse os limites de um conhecimento meramente declarativo e contribua para um conhecimento aplicável e contextualizado.

O conhecimento em Ciências deve estar além da memorização de fatos, equações e procedimentos, estando associado, mais do que ao “saber o quê”, ao “saber como”. Para isso, o ensino de Ciências deve enfatizar o desenvolvimento de conhecimentos associados aos processos científicos, promovendo o desenvolvimento de habilidades que sejam transferíveis para diversas situações e contextos. Esse ensino deve contribuir para desenvolver a capacidade de integrar e aplicar conhecimentos em situações-problema, o que envolve a própria capacidade de busca de informações, uma compreensão mais ampla dos processos e, acima de tudo, o discernimento para saber como e quando aplicar tais conhecimentos.

Para que seja desenvolvido um ensino de acordo com essas perspectivas, o indivíduo deve ser sujeito ativo de seu processo de aprendizagem, participando de atividades que propiciem o desenvolvimento e a aplicação de diversas habilidades.

Nessa perspectiva, a aplicação de atividades investigativas no ensino de ciências tem sido apontada como uma metodologia que contribui de forma significativa para o desenvolvimento de diversos conhecimentos e habilidades dos estudantes (Barab, Hay, Barnett, & Keating, 2000). Tais atividades contribuem para o conhecimento sobre o desenho, condução e interpretação dos processos de investigação, sendo acompanhadas da comunicação desses processos e de seus resultados, o que contribui para a compreensão sobre o “fazer Ciência”, uma vez que elas apresentam como ela é realmente construída e usada.

Assim, as atividades que envolvem investigação promovem não só o desenvolvimento de conhecimentos específicos, mas também proporcionam o conhecimento sobre o processo de construção da Ciência, além do desenvolvimento de habilidades ao mobilizar princípios da Ciência e o uso de práticas científicas chaves requeridas para o desenvolvimento desse processo. Dentre tais habilidades, destacam-se: seleção e controle de variáveis, formulação de hipóteses, planejamento de procedimentos, interpretação de padrões de evidência, observação e comunicação dos resultados (Brook, Driver & Johnston, 1989; Wu & Hsieb, 2006).

Apesar da reconhecida contribuição de atividades de investigação para o desenvolvimento de habilidades, os estudos nessa área contemplam, em geral, o desenvolvimento de apenas uma ou poucas habilidades durante o desenvolvimento das atividades (Schwarz & White, 2005). Além disso, muitos desses estudos abordam o desenvolvimento de habilidades associadas a atividades experimentais, contemplando de forma restrita a integração de idéias e a elaboração de teorias e modelos.

O presente trabalho apresenta uma análise do desenvolvimento de diversas habilidades dos estudantes de forma mais ampla, analisadas ao longo da participação dos mesmos em atividades que envolvem investigação – atividades de modelagem. O uso de atividades de modelagem se justifica por estas serem importantes atividades investigativas que contribuem tanto para o desenvolvimento de conhecimentos específicos como para o desenvolvimento de princípios da Ciência.

O processo de modelagem e o desenvolvimento de habilidades

O conhecimento sobre a Ciência e sua construção e o desenvolvimento de habilidades do pensamento científico são desenvolvidos em atividades investigativas através de quatro demandas fundamentais, que são: “saber o que”, “saber como”, “saber por que”, e “saber quando e onde aplicar o conhecimento”. Estas demandas mobilizam tanto o conhecimento declarativo (*saber o quê* – em que os estudantes devem conhecer e raciocinar a partir de fatos científicos básicos, conceitos e princípios); conhecimento procedimental (*saber como* – em que os estudantes devem saber aplicar os princípios, fatos e conceitos no processo de “fazer Ciência”); conhecimento esquemático (*saber por que* – em que os estudantes devem saber explicar e prever fenômenos, entendendo como e porque alegações científicas são validadas, explicando e raciocinando com modelos) e conhecimento estratégico (*saber quando e onde aplicar* – em que os estudantes devem aplicar seus conhecimentos em novas situações e problemas) (NAEP, 1997).

Segundo Schwarz e White (2005), as etapas fundamentais envolvidas em um processo de investigação podem ser representadas esquematicamente como na figura 1. A relevância de se explicitar tais etapas se coloca por isto tornar possível uma análise e planejamento mais detalhados deste processo (principalmente em relação às atividades de investigação planejadas para o ensino).

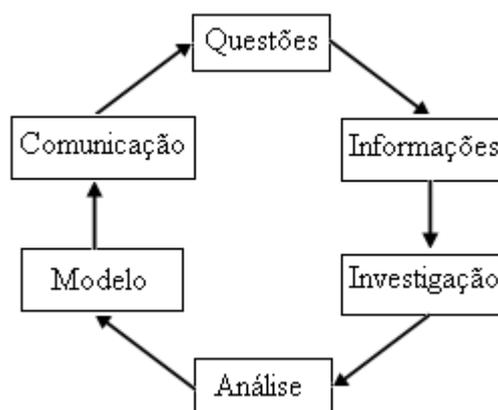


Figura 1: Ciclo de investigação. (Schwarz & White, 2005, p.173)

Conforme apresentado na figura 1, o processo de investigação é iniciado por questões, que são formuladas a partir da análise e compreensão da situação problema, delimitando o que se deseja investigar. A partir deste momento, é necessária a busca de informações e a condução de investigações específicas (testes, experimentos, entre outros) no sentido de testar hipóteses ou fornecer novos elementos sobre o sistema em estudo. As informações obtidas não são em si um produto do processo de investigação, devendo ser relacionadas e interpretadas em um processo de análise. As idéias desenvolvidas até então serão integradas na formulação de uma possível resposta à investigação, o que consiste, geralmente, em um modelo. A validação e o reconhecimento dos produtos do processo de investigação devem ser comunicados à comunidade científica, etapa fundamental no processo de construção da Ciência. Esta última etapa pode contribuir fornecendo novos elementos sobre o problema, podendo haver uma continuidade no ciclo, em que o processo será novamente desenvolvido, proporcionando o progresso da Ciência.

É importante observar que o produto do processo de investigação, conforme apresentado anteriormente, é um “modelo”. Isto é bastante coerente, uma vez que os modelos estão na base das pesquisas científicas e, ao mesmo tempo, são os principais produtos da Ciência (Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000).

Em Ciências, um *modelo* pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, evento, processo ou idéia que é produzida com propósitos específicos como, por exemplo, facilitar a visualização, fundamentar a elaboração e teste de novas idéias, possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado (Gilbert et al., 2000), sendo uma das principais ferramentas usadas pelos cientistas e um dos principais produtos da ciência (Barab et al., 2000; Justi & Gilbert, 2003).

Pesquisadores em educação (por exemplo Justi & Gilbert, 2002; Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002; Vosniadou, 2002) têm apontado a construção e reformulação de modelos – processo chamado de modelagem – como uma das práticas fundamentais do processo de pesquisa científica. Segundo esses pesquisadores, o uso de processos de modelagem em atividades de ensino apresenta o potencial de desenvolver o conhecimento dos estudantes em vários aspectos. Além do desenvolvimento do conhecimento acerca de conteúdos específicos, o processo de modelagem favorece a compreensão do conhecimento científico como uma construção humana, em que modelos variam em sua capacidade de aproximar, explicar e predizer os fenômenos do mundo real. Além disso, a inserção dos alunos em atividades que permitam a construção de conhecimentos de forma ativa – como ocorre em processos de modelagem – os ajuda a desenvolver um melhor raciocínio sobre as evidências científicas e uma integração mais adequada de seus conhecimentos prévios, possibilitando o desenvolvimento de habilidades que são requeridas neste processo (Wu & Hsieh, 2006).

Essa perspectiva de ensino centrada na compreensão do processo e, conseqüentemente, no desenvolvimento de habilidades a eles associadas, se justifica pela crença de que, apesar do conhecimento científico ser provisório, as habilidades e os processos científicos não são (Brook et al., 1989).

Assim, a condução de um ensino fundamentado no processo de modelagem se coloca como uma excelente oportunidade para o desenvolvimento das habilidades e compreensão do processo de investigação científica. Isto porque, ao elaborar um modelo há, inicialmente, um processo de escolha e integração de itens que são considerados relevantes por uma questão particular. Após o processo de construção de um modelo inicial, este é submetido a um ciclo de teste, revisão e reelaboração, até produzir descrições e explicações satisfatórias para o fenômeno. Desta maneira, o processo de modelagem evoca todas as habilidades relacionadas ao processo de investigação, sendo que o desenvolvimento dessas deverá se refletir na capacidade de o indivíduo perceber o domínio, a aplicação e as limitações de seu modelo.

Tais habilidades serão desenvolvidas ao longo do processo de modelagem e através da transferência dessas de um processo para o outro, momentos em que ocorrerá o aperfeiçoamento e, conseqüentemente, a sofisticação dessas habilidades.

Para acompanhar o processo vivenciado pelos estudantes nas atividades de modelagem, é necessária a compreensão sobre o processo de modelagem em si e as habilidades a ele associadas. Para isto, um diagrama que representa detalhadamente as etapas envolvidas no processo de modelagem (Figura 1), proposto por Justi e Gilbert (2002), além de o mesmo fornecer, posteriormente, subsídios para a análise apresentada neste trabalho. Este diagrama não tem o objetivo de representar os passos que ‘devem’

ser executados durante o processo de construção de um modelo, tendo sido elaborado como resultado da análise de como os modelos são construídos na ciência. Todas as etapas e processos descritos no diagrama são necessários e inerentes à construção de modelos, sendo geralmente executados conscientemente (por cientistas) ou não (por estudantes e pessoas leigas). A descrição do diagrama apresentada abaixo tenta evidenciar algumas das habilidades envolvidas em cada etapa do processo e, ao mesmo tempo, como tais etapas se integram no processo de construção do modelo.

A construção de um modelo se inicia pela consideração do fenômeno ou sistema que se deseja estudar, partindo-se da análise e compreensão da situação problema. A partir disso, serão limitados os aspectos que serão abordados e será determinado o ponto de partida para a construção do modelo.

O início do processo de construção do modelo requer *experiência com o 'alvo'* e uma *seleção para a origem do modelo*. A etapa de *ter experiência com o 'alvo'* envolve um cuidadoso estudo do sistema em análise, com a identificação de algumas de suas propriedades. Isto não se limita à observação de um sistema físico. Tal experiência também pode ser obtida a partir da leitura de um texto ou da visualização de uma simulação. Nesta etapa, a observação e descrição cuidadosa do evento em estudo podem fornecer mais informações sobre o mesmo, o que pode resultar em elementos cruciais para o desenvolvimento do modelo. Para isso, conhecer diferentes formas de obter informações sobre a situação-problema é uma habilidade preponderante nesta etapa.

A *seleção da origem do modelo* depende das informações prévias que se tem sobre o sistema. O modelo pode ser elaborado com base em concepções e idéias prévias, a partir da modificação de modelos anteriores e, principalmente, através da integração entre estes e as novas informações obtidas sobre o sistema. O importante é mobilizar e sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação-problema, que poderão favorecer a elaboração de um modelo para tentar solucionar tal questão. A formulação de hipóteses nesta etapa acompanha o *desenvolvimento do modelo mental*, que será então formulado como tentativa de solução à questão em estudo.

Uma vez que o modelo mental só é acessível ao indivíduo que o elaborou, ele deve buscar expressá-lo através de algum modo de representação, para torná-lo acessível e comunicável a outros. O processo de *expressão do modelo* requer uma adequação entre o modelo que a pessoa elaborou em sua mente e o modelo que será expresso, podendo ocorrer um ciclo de alterações em ambos até o ponto em que um modelo esteja satisfatoriamente de acordo com o outro. Nesta etapa, a decisão sobre a forma através da qual esse modelo será expresso mobiliza o uso da linguagem simbólica (o que requer conhecer, interpretar e utilizar diferentes formas de representação como tabelas, gráficos, expressões, símbolos, representações tridimensionais, simulações, entre outros) e a capacidade de comunicação de idéias (o que pode exigir o conhecimento de terminologias adequadas mas, sobretudo, requer organização das idéias para que elas sejam comunicadas de maneira clara e coerente).

Em seguida, o modelo expresso obtido deve passar à etapa de testes. Tais testes podem ser de duas naturezas: via experimentos mentais e através de planejamento e realização de testes empíricos. Esta etapa pode ser caracterizada pela ocorrência sucessiva ou alternada desses dois tipos de teste ou pela utilização de um único tipo.

A realização de *experimentos mentais* envolve processos de raciocínio que se baseiam em 'resultados' de um experimento conduzido em pensamento. Nesse momento, o modelo deve ser empregado em várias situações (imaginárias) para que seja possível avaliar a sua aplicabilidade, sua capacidade de explicação e/ou predição e sua

coerência com resultados esperados para os testes mentais. Os *testes empíricos* são atividades práticas, seguidas da coleta e análise de dados e da avaliação dos resultados produzidos em relação às previsões derivadas do modelo.

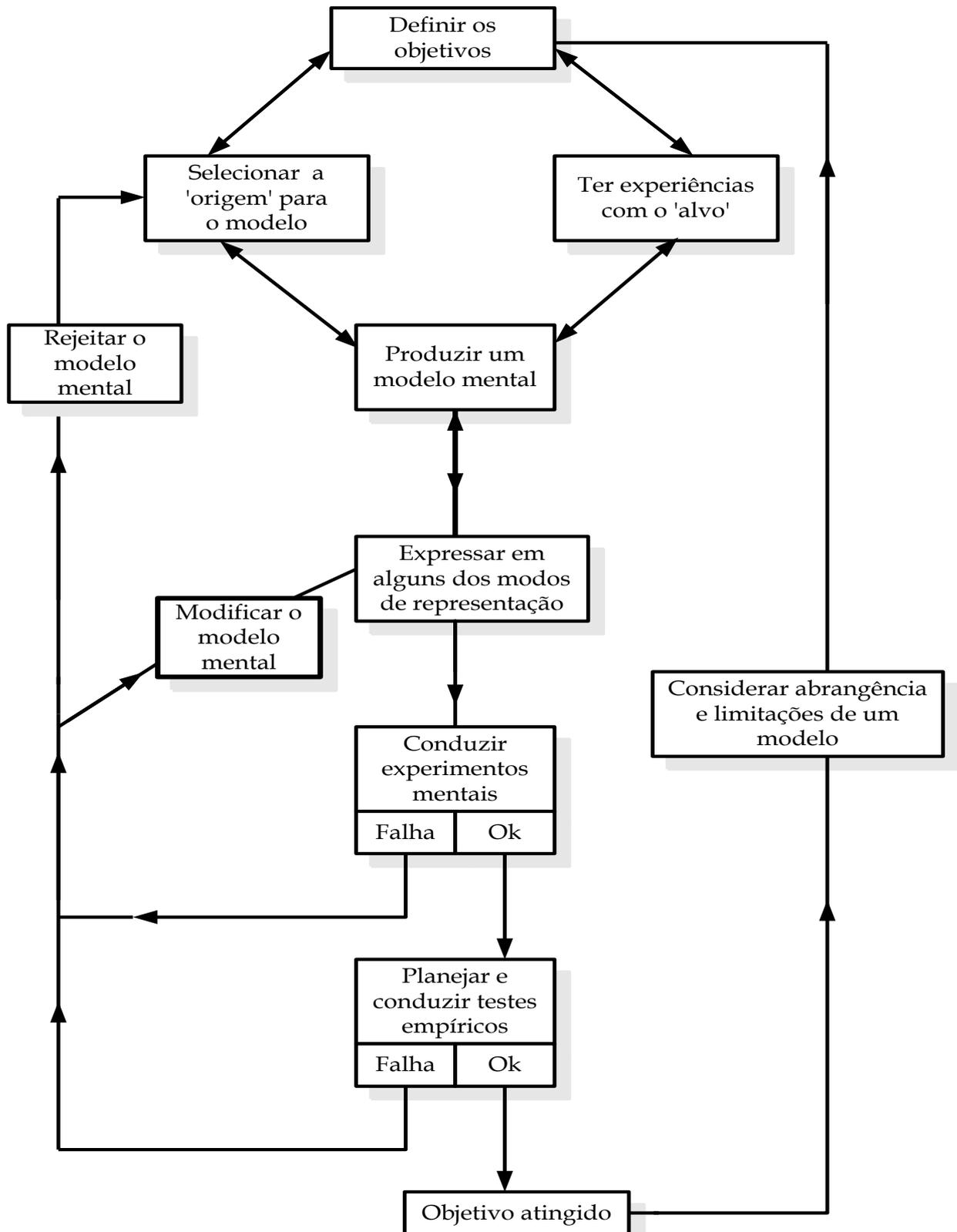


Figura 2: Diagrama “Modelo de modelagem” (Justi & Gilbert, 2002, p. 371)

Esta etapa de testes pode exigir do indivíduo a capacidade de identificar variáveis relevantes e selecionar os procedimentos necessários para a condução dos testes, podendo ser necessário o conhecimento e uso de instrumentos de medição e de cálculos. A identificação do tipo de teste necessário, seja mental ou empírico, quantitativo ou qualitativo, faz parte da capacidade de analisar e testar o modelo, dependendo do modelo com o qual se está trabalhando, dos recursos disponíveis e dos conhecimentos prévios do indivíduo que participa do processo. A produção de determinados resultados apenas terá sentido após a análise e interpretação dos mesmos, o que conduzirá à validação do modelo em si.

Após a obtenção de um modelo que pode ser considerado, até então, bem sucedido, ele deve ser apresentado para outras pessoas que reconhecerão (ou não) sua validade. Essa etapa é muito importante para que sejam levantadas as *limitações do modelo*, bem como a extensão de seu emprego. Esta etapa permite a formulação de novas hipóteses e a predição de resultados deste modelo em outras situações, além da proposição de novos experimentos e demonstrações, com novas interpretações e críticas ao modelo. Isto permitirá estabelecer a relação entre a parte e o todo ou, pelo menos, localizar o modelo produzido dentro de um contexto de conhecimento mais amplo. Esta etapa enfatiza os modelos como um fazer humano, sujeito a mudanças e com limitações inerentes.

## **OBJETIVO**

Reconhecida a relevância de se trabalhar no ensino com atividades baseadas em modelagem, uma questão que se desenvolve paralelamente é “*como avaliar o desenvolvimento de habilidades em processos de modelagem?*”. Além desta questão ser foco de apenas poucos estudos isolados (Schwarz & White, 2005), o que se justifica até pela pouca prática de modelagem em sala de aula, tais estudos, como comentado anteriormente, não têm apresentado propostas que permitam avaliar de maneira completa e coerente este tipo de aprendizagem.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo analisar o desenvolvimento de habilidades cognitivas de estudantes a partir da participação em atividades de ensino envolvendo modelagem, dentro de um contexto real de aulas de química.

## **METODOLOGIA**

### **Coleta de dados**

Os dados foram coletados em um contexto normal de ensino, em uma turma da segunda série do ensino médio, com 32 estudantes (15-17 anos), de uma escola pública federal de Belo Horizonte. Os estudantes trabalhavam habitualmente em grupos de 5 a 6 estudantes, com componentes fixos e ainda não haviam participado de atividades de modelagem. Devido à disponibilidade de apenas uma filmadora e, ao mesmo tempo, dada a necessidade de acompanhar todo o processo vivenciado pelos estudantes durante a construção dos modelos, este trabalho apresenta a análise do processo de somente um dos grupos da turma, que foi previamente observado e selecionado. O critério de seleção foi a frequência e participação desses estudantes nas aulas.

A coleta de dados foi realizada nas aulas de química. A seleção da turma se justificou pelo fato de a professora de tal disciplina apresentar boa experiência na condução de atividades de modelagem e habitualmente desenvolvê-las em suas aulas.

Além disso, a professora havia programado o desenvolvimento de várias atividades de modelagem ao longo do ano, que estariam de acordo com o programa de conteúdos desenvolvido pela escola. Tais atividades de modelagem foram desenvolvidas e avaliadas em pesquisas prévias, realizadas principalmente pelo Núcleo de Pesquisa em Ensino de Ciências<sup>1</sup>.

Foram coletados dados nas aulas de química em que foram desenvolvidas três atividades de modelagem, com os temas: “*Por que a cola cola?*”, “*Modelo para ligação iônica*” e “*Modelo para interações intermoleculares*”, planejadas a partir do diagrama “Modelo de Modelagem”. Nessas atividades de ensino, os estudantes trabalharam elaborando seus modelos no grupo, conforme solicitado nas atividades, respondendo a atividades escritas e apresentando oralmente seus modelos e idéias.

Com o propósito de permitir o acompanhamento das idéias e habilidades dos estudantes em todos os momentos do ensino, foram coletados dados por diversos meios: atividades escritas, registro em vídeo e notas de campo.

#### *Análise dos dados*

A análise dos dados foi realizada buscando-se identificar as habilidades empregadas e/ou requeridas dos estudantes em cada etapa das atividades de modelagem, bem como o desempenho dos estudantes no emprego de tais habilidades. Esta identificação foi realizada a partir do quadro apresentado abaixo (Quadro 1), que contém o relacionamento das habilidades às etapas do processo de modelagem, apresentadas no diagrama “Modelo de Modelagem”. Este relacionamento foi realizado a partir da descrição do diagrama, levando-se também em conta diversos outros estudos (como Wu & Hsieh, 2006; Brook, Driver & Johnston, 1989) que apontam habilidades requeridas por estudantes durante a realização de atividades investigativas.

<b>Etapa do processo de modelagem</b>	<b>Habilidades envolvidas</b>
Definição dos objetivos	- Analisar e compreender a situação-problema. - Formular questões.
Ter experiência com o alvo	- Conhecer diferentes formas de obter informações. - Selecionar conhecimentos prévios relevantes (na estrutura cognitiva). - Buscar informações já disponíveis na literatura. - Observar propriedades relevantes do sistema em estudo. - Identificar propriedades relevantes do sistema em estudo. - Descrever sistemas e processos.
Selecionar a origem para o modelo	- Relacionar fenômenos, fatos, processos e idéias através do estabelecimento de analogias. - Utilizar idéias e modelos prévios em novas situações de aprendizado.
Produzir um modelo mental	- Integrar idéias, dados e modelos na elaboração de novos conhecimentos tendo em vista os objetivos definidos

<sup>1</sup> Grupo de pesquisa em ensino de ciências, coordenado pela professora Rosária Justi, do Departamento de Química, da Universidade Federal de Minas Gerais.

	anteriormente.
Expressar em algum dos modos de representação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar e interpretar diferentes formas de representação.</li> <li>- Comunicar idéias com correção e clareza, fazendo uso de terminologias adequadas.</li> </ul>
Conduzir experimentos mentais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar questões hipotéticas.</li> <li>- Planejar experimentos adequados, identificando variáveis relevantes e selecionando os procedimentos.</li> <li>- Utilizar instrumentos de medição e de cálculo.</li> <li>- Coletar, analisar e interpretar os dados.</li> <li>- Analisar os resultados obtidos e as implicações dos mesmos.</li> </ul>
Planejar e conduzir testes empíricos	
Considerar abrangências e limitações do modelo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar a extensão em que o modelo proposto atinge seus objetivos.</li> <li>- Estabelecer relações entre o modelo proposto e um contexto mais amplo, envolvendo novas situações e/ou informações.</li> </ul>

Quadro 1: Habilidades envolvidas nas etapas de construção dos modelos.

#### *A realização da análise*

A análise apresentada neste trabalho envolveu de forma conjunta todos os dados do processo do um grupo ao longo de três atividades de modelagem: “*Por que a cola cola?*”, “*Modelo para a ligação iônica*” e “*Modelo para interações intermoleculares*”.

A análise das filmagens das aulas foi realizada de forma direta, usando-se o programa Videograph®, que permitiu identificar ao longo do registro em vídeo as habilidades explicitadas no processo de modelagem e, ao mesmo tempo, as etapas do processo de modelagem à qual elas estiveram associadas.

As atividades escritas foram transcritas e as principais idéias e/ou modelos apresentados pelos alunos foram analisados junto ao registro em vídeo, assim como as notas de campo, complementando-o e/ou corroborando a análise realizada.

A utilização das três fontes de dados (atividades escritas, notas de campo e registro em vídeo) para a identificação das habilidades visou um acompanhamento mais detalhado do processo vivenciado pelos estudantes, aumentando a disponibilidade de dados que contemplassem o objetivo deste trabalho, além de proporcionar maior confiabilidade dos dados por uma corroboração entre eles.

Toda a análise foi validada por julgamento das análises entre juízes. Nesse processo, as análises que proporcionaram o levantamento das habilidades foram realizadas de forma independente por duas pesquisadoras e, em seguida, discutidas até o estabelecimento de um consenso.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados aqui apresentados identificam as principais habilidades empregadas pelos estudantes durante as atividades de modelagem e as etapas do processo de modelagem, conforme o diagrama “Modelo de Modelagem” (Justi e Gilbert, 2002).

Em relação à primeira etapa do processo de modelagem – *definir o propósito do modelo* –, não foi possível identificar diferenças no desenvolvimento das três atividades, pois em todas elas o grupo iniciou sistematizando o problema, fragmentando-o em

questões mais simples e focando o objetivo do mesmo. Além disso, como as próprias atividades de modelagem definem claramente os objetivos dos modelos a serem construídos, cabe aos estudantes compreender o propósito explícito na atividade e sistematizá-lo. O grupo apresentou boa compreensão das questões propostas nas atividades e buscou, quando necessário, esclarecimentos sobre as atividades por meio de questionamentos pertinentes feitos à professora ou entre os próprios colegas.

Durante a maior parte do tempo da construção dos modelos, os estudantes buscaram mais informações, em seus modelos prévios, com a professora ou nos dados e experimentos empíricos das próprias atividades, o que configura a etapa *ter experiência com o alvo*, do processo de modelagem. A análise das três atividades de modelagem evidenciou que a construção dos modelos pelos estudantes sempre parte de seus modelos ou conhecimentos prévios. A atividade de modelagem que tinha como propósito explicar “*Por que a cola cola?*”, por não envolver testes empíricos previamente planejados na própria atividade, levou os estudantes a propor seus modelos com base em seus conhecimentos cotidianos sobre diversos tipos de cola. Tais conhecimentos foram fundamentais tanto para levantar dados para a formulação dos modelos, quanto para testar mentalmente os modelos construídos. As outras duas atividades de modelagem envolveram menor evocação de sistemas previamente conhecidos dos estudantes, aplicados em suas realidades, o que deve estar associado ao fato de estas atividades apresentarem testes empíricos previamente planejados e, ainda, por envolverem sistemas mais abstratos, aos quais os estudantes não têm acesso direto (por envolverem sistemas submicroscópicos). Em lugar de se remeterem a sistemas e/ou exemplos mais concretos, nessas duas atividades, os estudantes associaram as informações que possuíam do novo sistema em estudo a modelos ou teorias previamente estudados. Ao buscarem mais informações para a elaboração dos modelos, em especial com a professora, os estudantes fizeram, em geral, questionamentos coerentes. Contudo, a identificação e seleção das propriedades mais relevantes do sistema, em especial na atividade “*Modelo para a ligação iônica*” ficaram comprometidas, e os estudantes deixaram de levantar algumas dessas propriedades para a composição de seus modelos. Durante o processo, esta limitação foi sanada pela interação da professora com os estudantes, por meio de questionamentos ou informações adicionais ou, ainda, as próprias atividades conduziram os estudantes à elucidação de tais propriedades.

Na etapa seguinte – *selecionar a origem para o modelo* – foi possível observar diferenças significativas nas três atividades. O grupo tentou resolver a atividade “*Por que a cola cola?*” prontamente, usando seus modelos prévios, sem promover questionamentos a respeito da adequação e aplicabilidade dos mesmos. Isto levou à proposição de modelos que tiveram de passar por diversas reformulações. Por exemplo, o grupo aplicou o modelo de interação iônica para explicar a interação cola-papel-cola, sem considerar a neutralidade desses materiais antes da interação. Tal fator foi mencionado apenas após a elaboração da representação concreta para o modelo que, assim, teve de ser reformulado. Nas outras atividades, contudo, foi possível observar que os alunos passaram a promover mais questionamentos em relação à aplicação de seus conhecimentos prévios à nova situação. Isto mostra um desenvolvimento da habilidade de utilizar de forma adequada os modelos prévios e, ainda, procurar e sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação-problema.

Na etapa de *elaboração e expressão do modelo*, os alunos se tornaram mais familiarizados com formas de representação a cada atividade e, em especial, desenvolveram conhecimentos sobre o caráter limitado dos modelos. Enquanto na expressão do modelo para a atividade “*Por que a cola cola?*” houve mais discussão sobre os códigos de representação e a inviabilidade de representar todos os aspectos que

o grupo havia pensado para o modelo (como, por exemplo, a dificuldade de explicitar, no modelo, a grandeza da força da cola), na atividade “*Modelo para a ligação iônica*” os modelos do grupo foram expressos de forma mais natural, acompanhados de expressões do tipo “*mas isso aqui já dá para mostrar o que a gente quer*” ou “*na explicação a gente fala isso*”. Isto demonstra um desenvolvimento do conhecimento do aspecto limitado do modelo expresso – em especial do modelo concreto – em relação ao modelo mental. Na atividade “*Modelo para as interações intermoleculares*”, os alunos chegaram a suprimir aspectos representacionais de seus modelos, enfatizando mais o modelo mental do que o concreto. Estes dados indicam que eles se tornaram mais aptos a compreender e lidar com os aspectos representacionais, compreendendo suas limitações e, ainda, aprendendo a representar e comunicar suas idéias. Foi também verificado o uso de códigos de representação criados pelos próprios alunos, em especial no modelo para interações, o que foi acompanhado das devidas explicações no momento de explicitação do modelo.

Na etapa de *condução de testes*, nas três atividades, os alunos deram maior ênfase aos testes empíricos, principalmente nas duas últimas, pois os mesmos já faziam parte da proposta da atividade de modelagem. Contudo, mesmo na atividade da cola, eles conduziram testes para o modelo a partir de suas experiências anteriores sobre outras colas (como a de sapateiro e ou a de papel). O uso de experiências prévias também foi bastante marcante na atividade de interações intermoleculares, quando alunos recorreram à idéia de volatilidade de substâncias conhecidas. Tais experiências não foram tão freqüentemente usadas na atividade 2, o que pode estar associado ao caráter abstrato do modelo, que envolvia energia no nível de átomos.

Em relação à *consideração das abrangências e limitações dos modelos*, foi possível observar um sucessivo aumento da capacidade de interpretar, questionar e criticar os modelos dos colegas durante as apresentações e de considerar a validade dos modelos dentro de contextos restritos. Isto demonstra o desenvolvimento do conhecimento sobre modelos, sobre as limitações de sua aplicabilidade e, ainda, o desenvolvimento da capacidade de análise dos estudantes, ao inferir sobre a abrangência e limitações desses modelos.

## CONCLUSÕES

O trabalho com diversas atividades de modelagem tende a promover o progresso do desempenho dos alunos em relação às habilidades envolvidas em modelagem, em especial quando eles refletem sobre suas ações (estruturando e/ou sistematizando um plano de ações para integrar idéias e produzir um modelo; tentando adequar os conhecimentos e experiências prévias a novas situações) e/ou sobre a natureza dos modelos (reconhecendo que esses possuem limitações).

O envolvimento dos estudantes em atividades de modelagem contribui, ainda, para que esses elaborem seus próprios modelos sobre o processo de modelagem, promovendo uma sistematização do mesmo ao longo de suas ações, o que pode ser útil em situações inéditas.

Um aspecto que deve ser destacado sobre a análise de um processo de modelagem é a dificuldade de acompanhá-lo passo a passo, especialmente na situação regular de sala de aula. Etapas associadas à *seleção da origem do modelo* ou à *elaboração do modelo mental* são avaliadas apenas no momento em que o modelo é expresso pelo estudante, o que está associado à dificuldade de se acessar suas idéias, mesmo acompanhando todo o processo. Apesar desta limitação, o acompanhamento possível nessa situação favoreceu uma ampla compreensão sobre o desenvolvimento das

habilidades investigadas – o que, a nosso ver, pode contribuir para subsidiar a elaboração de outras atividades de modelagem e/ou interferências planejadas para a condução deste processo.

## REFERÊNCIAS

- AAAS, American Association for the Advancement of Science. **A Science for All Americans. A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology.** Washington: AAAS, 1998.
- BARAB, S. A., HAY, K. E., BARNETT, M., & KEATING, T. Virtual solar system project: building understanding through model building. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, p. 719-756, 2000.
- BROOK, A., DRIVER, R. & JOHNSTON, K. Learning process in science: a classroom perspective. In WELLINGTON J. (Org.). **Skills and processes in science education: A critical analysis.** London & New York: Routledge, p. 63-82, 1989.
- CLEMENT, J. Model based learning as a key research area for science education. **International Journal of Science Education**, v. 22, p. 1041-1053, 2000.
- GILBERT, J. K., BOULTER, C. J., & ELMER, R. Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. GILBERT & C. J. BOULTER (Org.). **Developing Models in Science Education.** Dordrecht: Kluwer, p. 3-18, 2000.
- JUSTI, R. & GILBERT, J. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. **International Journal of Science Education**, v. 24, p. 369-387, 2002.
- \_\_\_\_\_. Models and modelling in chemical education. In I. J. Gilbert, O. d. Jong, R. Justi, J. v. Driel & D. Treagust (Org.). **Chemical Education: Towards Research-based Practice.** Dordrecht: Kluwer, p. 47-68, 2003.
- MILLAR, R., & OSBORNE, J. **Beyond 2000: Science education for the future.** London: King's College London School of Education, 1998.
- MORRISON, M., & MORGAN, M. S. Models as mediating instruments. In M. MORRISON & M. S. MORGAN (Org.). **Models as Mediators.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 10-37, 1999.
- NATIONAL CENTER FOR EDUCATION STATISTICS. **The NAEP Guide: A Description of the Content and Methods of the 1997 and 1998 Assessments.** Washington: U.S. Government Printing Office, 1997.
- SCHWARZ, C. V., & WHITE, B. Y. Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. **Cognition and Instruction**, v. 23, n. 2, p. 165-205, 2005.
- TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G., & MAMIALA, T. L. Students' understanding of the role of scientific models in learning science. **International Journal of Science Education**, v. 24, p. 357-368, 2002.
- VOSNIADOU, S. Mental Models in Conceptual Development. In L. MANGANI, N. J. NERSESSIAN & P. THAGARD (Org.). **Model Based Reasoning in Scientific Discovery.** New York: Kluwer, p. 353-368, 2002.
- WU, H. K., & HSIEB, C. E. Developing Sixth Graders' Inquiry Skills to Construct Explanations in Inquiry-based Learning Environments. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 11, p. 1289-1313, 2006.

**AGRADECIMENTO:** CNPq e Fapemig.