

PROCESSOS E CONHECIMENTOS ENVOLVIDOS NA REALIZAÇÃO DE ATIVIDADES PRÁTICAS: REVISÃO DA LITERATURA E IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA
(Processes and forms of knowledge involved in practical activities: a review of the literature and implications for research)

Alessandro D.T. Gomes

Programa de Pós-Graduação em Educação da UFMG

A. Tarciso Borges

Programa de Pós-Graduação em Educação da UFMG

Colégio Técnico da UFMG –Setor de Física

Av. Antonio Carlos, 6627 Campus da Pampulha

31270-907 Belo Horizonte, MG

Rosária Justi

Programa de Pós-Graduação em Educação da UFMG

Departamento de Química da UFMG

Resumo

Neste trabalho apresentamos uma revisão da literatura sobre os processos e conhecimentos envolvidos na realização de uma atividade de investigação. Examinamos a literatura e organizamos a revisão segundo a perspectiva do modelo SDDS que propõe que uma investigação pode ser considerada como um processo de resolução de problemas, subdividido em três sub-processos: formulação de hipóteses, experimentação e análise de evidências. Discutimos a relação e a natureza dos conhecimentos conceituais e procedimentais que estão envolvidos na execução de atividades práticas e consideramos as implicações metodológicas para a pesquisa na área.

Palavras-Chave: Atividades Práticas; Ensino de Ciências; Resolução de Problemas.

Abstract

In this work, we review the literature on the processes and forms of knowledge mobilized by students when doing an investigative activity. We examined the literature and organized the review in accordance to the SDDS model. It proposes that conducting an investigation can be seen as a process of problem solving involving three sub-processes: hypotheses formulation, experimentation, and analysis of evidence. We also discuss the nature of, and the relationships between, conceptual and procedural knowledge mobilized in the execution of practical activities. Finally, we consider methodological implications for research in this area.

Keywords: Practical Work; Science Education; Problem Solving.

Introdução

O papel e a aprendizagem decorrente da realização de atividades práticas são assuntos recorrentes nas publicações e outros fóruns especializados. Nos últimos tempos, o ensino e a aprendizagem de ciências através de atividades práticas investigativas vêm ganhando espaço e importância, em função da retomada de projetos nacionais de revitalização da educação em ciências (NRC, 1996; Brasil, 1999; Flick e Lederman, 2006). Atividades investigativas, segundo Borges (2002), são atividades prático-experimentais propostas aos estudantes e que envolvem a resolução de problemas mal definidos e pouco estruturados. Problemas desse tipo não são resolvidos através da aplicação de procedimentos pré-definidos. Suas respostas não são conhecidas pelos estudantes, e às vezes, até pelos seus professores. Nelas os estudantes são desafiados a encontrar formas de coletar dados e informações que os levem a propor soluções razoáveis.

Ao propor que estudantes devam realizar atividades investigativas não estamos propondo considerá-los como jovens cientistas. Temos que deixar claras as diferenças entre estudantes e cientistas em termos de seus conhecimentos específicos, de envolvimento afetivo, e quanto aos seus propósitos enquanto realizam atividades práticas. Também devemos estar cientes sobre as limitações da idéia de atividade autêntica dos estudantes. Tal como muitos cientistas, os estudantes também trabalham na fronteira de seu conhecimento, mas lidando com questões já conhecidas, ou que podem ser encontradas a partir de uma rápida pesquisa bibliográfica. As atividades práticas que eles realizam na escola são atividades que modelam alguns aspectos do trabalho científico, mas não todos. Um modelo útil e produtivo é aquele que permite aos estudantes formular previsões e propor explicações para os fenômenos que observam.

Para Kuhn e colaboradores (2000), investigações são atividades educacionais em que os estudantes, individualmente ou em grupo, investigam um conjunto de fenômenos, reais ou virtuais, e, a partir da realização de observações e experimentos, propõem conclusões e inferências. Segundo Hodson (1992), as atividades práticas baseadas em investigações são apropriadas para trabalhar assuntos relacionados à natureza da atividade científica e contemplam, ao mesmo tempo, as três dimensões do ensino de Ciências. São atividades

“nas quais os estudantes utilizam os processos e métodos da Ciência para investigar fenômenos e resolver problemas como meios de aumentar e desenvolver seus conhecimentos, e fornecem um elemento integrador poderoso para o currículo. Ao mesmo tempo, os estudantes adquirem uma compreensão mais profunda da atividade científica, e as investigações tornam-se um método tanto para aprender Ciência como aprender sobre a Ciência.” (Hodson, 1992, p. 549).

Porém, como apontam várias pesquisas (por exemplo, Germann, Aram e Burke, 1996; Klahr, 2000; Kanari e Millar, 2004), quando engajados em investigações, indivíduos, principalmente estudantes, enfrentam certas dificuldades características. Portanto, se pretendemos basear o ensino de Física e de Ciências em atividades investigativas como forma de promover a aprendizagem de e sobre ciências, devemos empregar grande esforço para compreender o raciocínio dos estudantes enquanto realizam essas atividades, para que sejam estabelecidas metas curriculares e formas viáveis visando promover o desenvolvimento do seu pensamento científico. Portanto, análises mais aprofundadas dos problemas enfrentados pelos estudantes durante o planejamento e execução de investigações, assim como a avaliação de metodologias específicas para auxiliá-los na compreensão dos procedimentos realizados, devem ser uma prioridade para a pesquisa na área.

Este trabalho tem como objetivo fazer uma revisão das pesquisas que abordam os conhecimentos, as habilidades e os processos cognitivos mobilizados durante a realização de atividades práticas. Através dessa revisão de literatura, apresentaremos um referencial que possibilitará ao educador/pesquisador identificar ou localizar os trabalhos relacionados às habilidades cognitivas relativas à investigação científica, com relação aos tipos de conhecimentos e aos processos de investigação envolvidos. Discutiremos, ainda, as implicações metodológicas para a pesquisa educacional sobre a temática.

O modelo SDDS

A atividade de investigação é uma atividade complexa que requer a coordenação de uma série de habilidades e processos. O objetivo principal dessa atividade é a aquisição de conhecimento através da formulação e teste de hipóteses por meio da experimentação e observação.

Segundo Gott e Duggan (1995), os processos e habilidades relacionados à atividade investigativa podem ser vistos como resultantes da interação de dois tipos distintos de conhecimento: o *conceitual* e o *procedimental*. O conhecimento conceitual consiste no entendimento das idéias da Ciência, que são baseadas em fatos, leis e princípios e é referido, muitas vezes, como *conhecimento declarativo*. O conhecimento procedimental refere-se aos conhecimentos necessários para fazer Ciência, ou seja, os procedimentos e estratégias necessárias para obtenção de informações que levem à solução de um problema (McCormick, 1997).

Boa parte das críticas dirigidas às pesquisas na área de cognição nas décadas de 70 e 80 deveu-se ao tratamento em separado desses dois tipos de conhecimento e das diversas habilidades relativas à pesquisa científica. Os currículos vigentes nos países europeus e da América do Norte enfatizavam o ensino dos processos da Ciência (Trumper, 2003). Estes processos da Ciência eram imaginados como um conjunto de habilidades e competências que equivaliam aos processos e etapas do método científico. A crença dominante era que tais processos podiam ser tratados como competências e habilidades isoladas e independentes, e que poderiam ser estudados, além de ensinados e aprendidos, isoladamente. Essa perspectiva sobre o ensino de ciências foi fortemente criticada por vários pesquisadores, por exemplo, Hodson (1996), Millar e Driver (1987) e Millar (1991). Num trabalho mais recente, Séré (2002) argumenta que a distinção clássica entre os objetivos conceituais, procedimentais e epistemológicos atribuídos às atividades de laboratório não tem utilidade. Todos esses componentes aparecem de forma imbricada e dependente uns dos outros, o que caracteriza os diferenciais e as dificuldades na realização e na avaliação de atividades práticas.

Reconhecendo a importância da integração dos conhecimentos conceituais e procedimentais, Klahr e Dunbar (1988) propuseram um modelo integrado dos processos cognitivos envolvidos na resolução de problemas práticos. Baseando-se em trabalhos anteriores e analisado o raciocínio e as ações dos participantes da pesquisa durante a resolução dos problemas propostos, adotaram a idéia de que o processo de investigação científica desenvolve-se como o processo de resolução de problemas.

Outros pesquisadores (VanLehn, 1989; Fávero e Souza, 2000; Klahr e Simon, 2001) também vêem a pesquisa científica como a resolução de problemas. Segundo essa visão, um problema pode ser descrito em termos de um estado inicial, um estado final desejado, e um conjunto de operações e operadores que permitem transformar o estado inicial no estado final desejado, através de uma série de passos discretos e estados intermediários. O processo de resolução do problema consiste em realizar operações que levem o sujeito do estado inicial em direção ao estado final, o que não significa que o processo é linear e não-problemático. De fato, em vários momentos da atividade de resolver o problema, o sujeito pode se deparar com situações e resultados inesperados (Borges e colaboradores, 2002; Echevarria, 2003), ou ser conduzido a 'becos sem saída' que o obrigam a abandonar aquele caminho por outro alternativo, tendo, às vezes, que voltar a etapas muito anteriores do processo de solução e recomeçar. A aplicação e utilização dessas operações e operadores estão condicionadas a determinadas limitações que são constituídas pelas características do problema, pela experiência e pelo conhecimento prévio do indivíduo sobre a temática que o problema trata. O conjunto das operações, operadores e limitações que compõem o problema, constituem o campo do problema e o seu processo de resolução pode ser caracterizado como uma procura ou busca por caminhos ou ligações entre os estados inicial e final.

Para Mayer e Wittrock (1996), se considerarmos a definição acima, o processo de resolução de problemas possui quatro características fundamentais: (i) é um processo desenvolvido pelo sistema cognitivo do indivíduo e que pode ser inferido a partir de mudanças observadas no seu comportamento e nas decisões que toma; (ii) é um processo que envolve a representação e manipulação de conhecimentos por parte do indivíduo; (iii) é direcionada para objetivos e metas

estabelecidas ou reconhecidas pelo indivíduo; e (iv) é pessoal, uma vez que o conhecimento e as habilidades individuais de cada indivíduo ajudam a determinar o grau de dificuldade ou facilidade para a obtenção da solução do problema. Isso significa que mesmo em um trabalho em grupo, as dificuldades e as possibilidades de se prosseguir rumo a uma solução são sentidas e percebidas individualmente, apesar de poderem ser compartilhadas no momento com os outros membros do grupo.

Essa caracterização formal do processo de resolução de problemas, devido à sua generalidade, pode ser aplicada a uma gama enorme de situações, desde atividades do cotidiano até investigações científicas. Para a resolução de um problema prático, Klahr e Dunbar (1988) identificam dois campos distintos, porém relacionados: o campo das hipóteses e o campo da experimentação. Segundo os autores, o primeiro passo para qualquer processo de investigação, seja ela científica ou a resolução de um problema, é a busca por uma hipótese. Normalmente, as hipóteses sobre determinados problemas são proposições de possíveis relações causais entre as variáveis. Assim, a hipótese formulada guia o processo de experimentação enquanto ela não for substituída por outra. A hipótese inicial é baseada, geralmente, no conhecimento prévio do indivíduo sobre os temas envolvidos no problema e no seu entendimento acerca de qual é o problema. Ela pode ser originada a partir de simplificações deliberadas do problema, como a adoção de casos extremos ou limites, de aproximações e idealizações, quando os problemas enfrentados são complexos, quando o conhecimento dos sujeitos sobre a situação é insuficiente, ou quando há falta de informações fundamentais. A hipótese pode ainda ser formulada a partir de resultados de experimentos exploratórios.

Uma vez geradas, as hipóteses são avaliadas segundo sua plausibilidade. Para esse julgamento, o conhecimento e a familiaridade com o domínio conceitual interferem de forma decisiva. Além das hipóteses tidas como mais plausíveis serem testadas antes das menos plausíveis (Klayman e Ha, 1987; 1989), diferentes estratégias experimentais podem ser utilizadas para testá-las.

As hipóteses são avaliadas, modificadas e mesmo formuladas por meio da experimentação. Se o objetivo for gerar informações para a formulação de novas hipóteses, os experimentos devem ser configurados para gerar informações seguras, interessantes e reveladoras. Se o objetivo da busca experimental for o teste de hipóteses, os experimentos realizados devem discriminar hipóteses plausíveis dentre as rivais.

Klahr e Dunbar argumentam que o modelo desenvolvido por eles, chamado de SDDS – Scientific Discovery as Dual Search¹ – pode ser aplicado em qualquer situação na qual ocorra a formulação de hipóteses e a coleta de dados, caracterizando a pesquisa científica como um conjunto de processos complexos e cíclicos, baseados na formulação de hipóteses, na experimentação e na avaliação de evidências. Cada um desses três processos, segundo o modelo SDDS e suas extensões (van Joolingen e de Jong, 1997) pode ser decomposto em sub-processos, que são caracterizados de acordo com a atividade e a necessidade do refinamento teórico.

Conhecimento específico x conhecimento geral

Os processos cognitivos envolvidos no processo de investigação na Ciência podem ser classificados segundo duas dimensões: a primeira representando o grau de

¹ O termo ‘descoberta científica’ é usado por teóricos da cognição que transitam entre a psicologia e a ciência cognitiva como equivalente à resolução de um problema empírico. Ou seja, tem o mesmo sentido que experimentação. Esses autores utilizam o modelo SDSS para explicar a atividade investigativa como uma atividade de resolução de problemas, e nisso estão alinhados com Popper, para quem a ciência sempre parte de problemas (ver Klahr e Simon, 2001).

especificidade/generalidade do conhecimento requerido para a tarefa, e a segunda representando os tipos de processos, envolvidos durante a investigação, de acordo com o modelo SDDS (Klahr, 2000).

A dicotomia entre conhecimento específico e conhecimento geral remonta à separação entre conhecimentos conceitual e procedimental. Ela está associada à perspectiva de que os conhecimentos conceituais são específicos e que os conhecimentos procedimentais são gerais, independentes do domínio teórico. Porém, segundo Klahr (2000), é possível haver conhecimentos conceituais que são gerais e específicos, bem como conhecimentos procedimentais ou estratégias que são gerais e específicos. Por isso, utilizamos aqui a definição de Alexander e Judy (1988) para conhecimento específico de um domínio conceitual como o conhecimento declarativo, procedimental e condicional que um sujeito possui relativo a um campo conceitual particular. O conhecimento declarativo refere-se às informações factuais (saber que), enquanto o procedimental é a articulação de conhecimentos conceituais em unidades funcionais que podem ou não incorporar estratégias específicas. Ou seja, o conhecimento procedimental corresponde ao conhecimento em ação, o saber como agir ou fazer alguma coisa sob certas circunstâncias. O saber condicional ou estratégico engloba o entendimento de como coordenar as informações disponíveis, assim como a avaliação de quando e onde aplicar determinados procedimentos. Finalmente, consideramos como gerais os conhecimentos conceituais e procedimentais que são independentes do campo conceitual e podem ser aplicados a uma vasta quantidade de problemas e atividades.

Para organizar a revisão, adotamos o esquema apresentado no quadro 1 (Klahr, 2000), que caracteriza a interação entre essas duas dimensões. As duas linhas do quadro distinguem os conhecimentos específicos e gerais, e as três colunas correspondem aos principais componentes que caracterizam um processo de resolução de problemas, segundo o modelo SDDS. As seis células que compõem o quadro 1 representam, de forma isolada, a influência mútua entre o tipo de conhecimento envolvido (específico x geral) e um determinado processo da atividade científica. Os temas dessas células representaram, até o final da década de 80, os focos de pesquisa na área da psicologia educacional e ciência cognitiva. É justamente sobre as pesquisas que envolveram o estudo isolado de cada uma dessas células que focalizaremos nossa atenção a seguir.

Quadro 1 – Caracterização da atividade científica segundo duas dimensões

	Formulação de hipóteses	Processo de experimentação / Teste de hipóteses	Análise das evidências
Conhecimento específico	A	B	C
Conhecimento geral	D	E	F

Estudos que focam aspectos unicelulares referentes ao processo de investigação

Dada a dificuldade e complexidade do estudo do pensamento humano, os primeiros estudos na área da cognição com implicações para a educação concentraram suas atenções em aspectos específicos e selecionados do processo de investigação, justamente aqueles que compõem, individualmente, as células do quadro 1. Com isso, a dicotomia entre conhecimento específico versus conhecimento geral foi acentuada, gerando duas literaturas quase que distintas (Novak, 1977; Lawson, 1982).

Talvez, o marco inicial dessa distinção tenha sido o influente trabalho de Inhelder e Piaget (1976). Nele, os autores preocupam-se em descrever e analisar as principais características das estruturas gerais do pensamento do indivíduo durante os diferentes estágios de seu desenvolvimento cognitivo.

Inhelder e Piaget afirmam que antes da adolescência e do desenvolvimento das operações formais, as crianças não possuem um controle efetivo que guie seus procedimentos durante a experimentação, o que justificaria, principalmente, as falhas procedimentais das crianças na realização de tarefas práticas, inclusive a realização de experimentos com controle consistente de variáveis.

Para os autores, o estágio do pensamento lógico-formal é o estágio final do desenvolvimento cognitivo do indivíduo e é caracterizado pelo pensamento hipotético-dedutivo. Esse estágio é alcançado quando a coordenação entre uma série de operações e estratégias cognitivas de diversos tipos é alcançada, independentemente do contexto, impondo uma nova atitude experimental, principalmente, com a generalização da capacidade de isolar e dissociar fatores. Essa capacidade é fundamental para o reconhecimento da importância e execução de um controle de variáveis efetivo.

É principalmente ao atingir o estágio do pensamento lógico-formal que o adolescente se torna capaz de refletir sobre suas ações e operacionalizar as diversas transformações e operações obtidas e aprendidas nos estágios anteriores como a seriação, a classificação e a relação. Isso permite que o indivíduo reúna um certo número de esquemas operatórios que utilizará continuamente em seu pensamento experimental, constituindo uma lógica formal aplicável a qualquer conteúdo (Coutinho e Moreira, 2001), realçando o caráter geral do fenômeno dos esquemas operatórios formais.

Atualmente, a separação entre os conhecimentos gerais e específicos é mais branda, com o reconhecimento amplo de que as habilidades relativas ao processo de investigação científica não são nem totalmente generalizáveis, nem totalmente dependentes do domínio teórico (Kuhn, 1989).

Apesar do reconhecimento da interação e interdependência entre os conhecimentos gerais e específicos, a questão sobre o que define ou o que distingue o grau de especificidade/generalidade do conhecimento requerido para determinada tarefa ainda está em aberto e atrai pesquisadores e educadores (Schunn e Anderson, 1999; Toplak e Stanovich, 2002; Smith, 2002). Resultados de pesquisas apontam que a natureza, o contexto e o conhecimento conceitual dos sujeitos acerca do domínio teórico em que se localiza a atividade que realizam são fundamentais nessa distinção. Ou seja, os aprendizes que estão ainda nos estágios iniciais do estudo de um novo domínio conceitual tendem a tratar seus conhecimentos naquela área como específicos de cada problema, enquanto os sujeitos já experientes naquele campo conceitual encontram maior facilidade em aplicar conhecimentos adquiridos em outros contextos.

Nessa seção, apresentaremos em linhas gerais as características dos trabalhos elaborados ainda dentro do paradigma da separação entre os conhecimentos gerais e específicos. Portanto, faremos a apresentação dividindo os trabalhos entre as células do quadro 1. Por questão de espaço, para cada célula, citaremos os principais trabalhos e os principais resultados por eles produzidos.

Célula A: O efeito de conhecimentos específicos sobre a formulação de hipóteses

Boa parte da pesquisa em ensino de Ciências nas décadas de 80 e 90 concentrou-se em investigar, descrever e analisar os conceitos e idéias que os indivíduos mobilizam em resposta aos mais diversos fenômenos em áreas da Ciência. Um dos principais focos dessas pesquisas são as idéias ou conceitos intuitivos que os indivíduos, mesmo crianças, trazem para a sala de aula. Tais

idéias, geralmente distantes dos conceitos científicos, são construídas, desde a infância, através da interação do indivíduo com seu meio físico, cultural e social. A produção desse período é bem conhecida e foi sumarizada em amplas revisões (Wandersse, Mintzes e Novak, 1994; Driver, Squires, Rushworth e Robinson, 1994). Também as pesquisas na área de mudança conceitual (Carey, 2000; Kang, Scharmann e Noh, 2004) e de modelos mentais (Gilbert e Boulter, 2000; Matthews, 2007) contribuíram para chamar atenção para a importância das concepções e modelos prévios para os estudantes e suas influências sobre a aprendizagem de tópicos de ciências.

Wellman e Gelman (1992) afirmam que muito antes de entrarem na escola, crianças distinguem o mundo físico, o mundo natural e o mundo mental e começam a raciocinar de forma bastante diferente nesses três domínios. Segundo os autores, (a) as crianças reconhecem e fazem distinções ontológicas, (b) utilizam princípios causais específicos para raciocinarem em domínios específicos e (c) possuem uma rede coerente de relações causais que interliga vários conceitos dentro de um mesmo domínio. Portanto, a pesquisa sobre a caracterização das estruturas cognitivas e conceituais específicas de cada domínio do conhecimento torna-se fundamental, em vista do papel que elas desempenham na aprendizagem de novos conhecimentos.

As pesquisas e revisões pertencentes a essa célula mostram que mesmo simples idéias ou concepções intuitivas, muitas vezes pouco ligadas às estruturas de pensamento, até mecanismos de causalidade mais ou menos sofisticados, fundamentados e profundamente arraigados, permitem ao indivíduo fornecer explicações sobre os fenômenos específicos do mundo que o cerca.

Célula B: O efeito de conhecimentos específicos sobre o processo de experimentação/teste de hipóteses

A maioria dos trabalhos que se enquadram nessa célula pesquisa as habilidades dos indivíduos em isolar e controlar variáveis durante o processo de experimentação para o teste de hipóteses (Tschirgi, 1980; Song e Black, 1992; Germann, Aram e Burke, 1996; Lin e Lehman, 1999; Lawson e colaboradores, 2000; Klahr e Nigam, 2004; Gomes, Borges e Justi, 2005; Klahr e Li, 2005; Dean e Kuhn, 2007). Alguns desses trabalhos também investigam as habilidades dos estudantes em reconhecer, planejar ou selecionar testes experimentais consistentes, ou seja, situações nas quais apenas a variável cujo efeito deseja-se determinar sofre alterações, enquanto as demais variáveis são mantidas constantes.

Esses trabalhos tratam de situações e fenômenos familiares aos participantes. Porém, essa familiaridade com o domínio teórico ao qual a atividade concerne nem sempre ajuda os participantes, uma vez que eles acabam por recorrer a respostas idiossincráticas, baseando-se em suas concepções e idéias intuitivas sobre a situação ou fenômeno, sem reconhecer o objetivo real da atividade.

Os estudos sugerem que as habilidades relacionadas ao processo de experimentação, sobretudo o controle de variáveis, são bastante influenciadas pelo domínio teórico e por fatores relacionados à própria atividade, como, por exemplo, se o resultado esperado pode ser interpretado como positivo ou negativo. Quando isso ocorre, a estratégia experimental utilizada ou selecionada é diferente em cada caso. Os participantes tendem a selecionar ou utilizar testes experimentais conclusivos quando o resultado hipotético é negativo, mas, tendem a utilizar estratégias menos sofisticadas (variar todas as variáveis, manter uma variável constante e variar as demais, por exemplo) quando o resultado hipotético é positivo. Tais resultados reafirmam a influência do conhecimento específico, uma vez que estes moldam os objetivos do processo de experimentação e das configurações experimentais. Estratégias mais pragmáticas podem ser utilizadas para, por exemplo, repetir resultados positivos e evitar resultados negativos.

Célula C: O efeito de conhecimentos específicos sobre a avaliação de evidências

Os estudos da célula C (Kuhn e Brannock, 1977; Kuhn, Amsel e O'Loughlin, 1988; Koslowski e colaboradores, 1989; Amsel e Brock, 1996; Park e Pak, 1997; Leach, 1999) investigam o efeito de conhecimentos específicos sobre a avaliação de evidências e concentram-se no estudo da habilidade dos indivíduos em decidir quais hipóteses são corroboradas ou não por um conjunto determinado de evidências. Essas evidências são, normalmente, apresentadas sob a forma de desenhos ou tabelas de covariação. Nesses estudos, o principal foco de atenção dos pesquisadores é a capacidade dos indivíduos em coordenar, modificar e reconciliar seus conhecimentos específicos e hipóteses com as evidências que as tarefas e testes apresentam, e de analisar se as inferências realizadas pelos participantes baseiam-se nas evidências apresentadas ou em suas concepções prévias.

Os desenhos metodológicos desses estudos seguem, em geral, um mesmo padrão. Inicialmente, uma situação é contextualizada através de pequenos textos e explicações orais. O conhecimento prévio dos participantes é controlado através do contexto dos problemas, que pode ser mais concreto e cotidiano, mas pode, em alguns casos, tratar de situações mais distantes da experiência dos participantes. A situação normalmente descreve um problema a ser resolvido, que consiste em identificar qual variável era responsável por produzir determinado resultado. Através de perguntas, o conhecimento e as hipóteses iniciais dos participantes são identificados na forma de relações causais que eles julgam existir entre variáveis que descrevem o fenômeno e o resultado esperado. Em seguida, são apresentadas as evidências disponíveis e os participantes são solicitados a identificar a variável que causa determinado efeito e a apresentar uma justificativa.

Os resultados das pesquisas demonstram que os participantes, sobretudo crianças, apresentam uma grande dificuldade em coordenar e diferenciar teoria e evidência, apresentando, portanto, 'falhas' no seu pensamento científico. Essas pesquisas relatam que os participantes fornecem, muitas vezes, justificativas baseadas em suas concepções sobre o fenômeno, ao invés de se basearem apenas nas evidências de covariação apresentadas. Os estudos revelam que, em todas as faixas etárias estudadas, é possível identificar tendências dos participantes em ignorar, distorcer ou rejeitar evidências inconsistentes com suas concepções sobre o tópico, tendências de ajustar a teoria para se adaptar às evidências e vice-versa. Os estudos indicam ainda que os sujeitos participantes sentem maiores dificuldades em lidar com evidências que não confirmam suas expectativas iniciais. Quando solicitados a justificar suas respostas considerando apenas as evidências apresentadas, muitas crianças, e até mesmo adultos, continuam a apresentar justificativas baseadas em suas concepções. Um exemplo de ambos os comportamentos pode ser notado em atividades em que estudantes procuram determinar o efeito de fatores como a massa e o comprimento do fio de um pêndulo sobre o seu período (Kanari e Millar, 2004).

Koslowski (1996) critica essa linha de pesquisa e argumenta que o conhecimento conceitual pertinente ao contexto é um fator importante para estruturar e resolver problemas práticos, defendendo a tese da interdependência entre teoria e evidência como característica do pensamento científico. Para ela, uma parcela significativa dos indivíduos raciocina de forma científica ao levar em consideração seus conhecimentos prévios, de forma cuidadosa e racional, quando avalia evidências e resultados experimentais.

Segunda a autora, o indivíduo, ao longo de suas interações com o mundo físico, mesmo não possuindo conhecimentos conceituais específicos, desenvolve um 'senso de mecanismo', isto é, uma idéia ou noção de como e porquê as coisas funcionam. O 'senso de mecanismo' é uma espécie de conhecimento pouco organizado, responsável pelas predições, expectativas, explicações e relações de causalidade que jovens e adultos possuem sobre diversos fenômenos, fruto de seu

conhecimento prévio e de suas experiências pessoais anteriores. Sendo assim, perceber, de forma consistente, covariações como evidências de relações causais entre fatores e variáveis parece depender do desenvolvimento de mecanismos de causalidade plausíveis que devem ser consistentes com as evidências observadas.

Reforçando o argumento de Koslowski, Chinn e Brewer (2001) propõem um modelo que sugere que os indivíduos avaliam evidências construindo uma representação cognitiva que incorpora tanto suas teorias, quanto as evidências disponíveis. Segundo os autores, “*teorias e dados se tornam imbricados de uma maneira tão complexa que não é sempre possível dizer onde começa um e termina o outro*” (p. 331).

Célula D: O efeito de conhecimentos gerais sobre a formulação de hipóteses

Trabalhos que fazem parte da célula D estudam como os indivíduos obtêm e utilizam as informações disponíveis para formular hipóteses, sobretudo, sobre a relação de causalidade entre variáveis. Ao contrário dos trabalhos descritos na célula A, tais estudos (White, 1988; Monk, 1995; Tirosh e Stavy, 1996; Oliva, 1999; Schulz e Gopnik, 2004; Sobel e Kirkham, 2006) não se limitam a identificar as hipóteses ou a estudar como os indivíduos formulam hipóteses sobre situações ou problemas específicos. Ao contrário, suas preocupações se voltam para as habilidades e limitações gerais dos indivíduos em formular hipóteses em contextos mais amplos, isto é, para aspectos gerais de raciocínio dos indivíduos.

Segundo essas pesquisas, as primeiras relações causais entre fatores são estabelecidas logo aos três meses de idade, quando o recém nascido observa uma continuidade e uma regularidade nos movimentos dos objetos que o cercam. Entretanto, devido às atribuições causais envolverem a associação entre eventos e fatores, o processamento dessas relações durante a infância fica limitado às associações que a criança é capaz de perceber ou reconhecer.

Identificamos, diariamente, uma gama enorme de eventos e relações entre esses eventos. Mas, quais dessas relações nós reconhecemos como causais, e por quê? Para White (1988), utilizamos para nossa orientação certas dicas ou pistas para o estabelecimento das diversas relações entre eventos, sobretudo as relações de causalidade.

Dentre as dicas ou pistas analisadas por White que auxiliam o indivíduo a identificar relações causais, além da presença da covariação entre os eventos ou fatores, estão: (i) transmissão produtiva (um evento é considerado a causa, se ele é capaz de gerar um efeito apropriado); (ii) ação intencional (em contraste com ações acidentais ou reflexivas); (iii) proximidade temporal (quando causa e efeito ocorrem ao mesmo tempo); (iv) ordem temporal (a causa sempre precede o efeito); (v) proximidade espacial (quando causa e efeito estão em contato espacialmente); (vi) similaridade (quando causa e efeito são similares a eventos previamente identificados como causais). A utilização de evidências de covariação como uma dica ou pista sobre a causalidade entre eventos não está presente de forma regular no raciocínio de crianças (Gopnik e colaboradores, 2001) e até mesmo adultos apresentam falhas na sua aplicação (Kuhn, Amsel e O’Loughlin, 1988).

Uma vez que o indivíduo obtém uma compreensão geral do que seja uma relação de causalidade, isto é, a noção de que um evento pode causar ou ser responsável por outro evento, ele está em condições de estabelecer relações causais em contextos específicos, formular hipóteses sobre supostas relações causais entre determinados eventos e adquirir, através dessa habilidade, conhecimentos específicos sobre os mais diversos domínios.

Célula E: O efeito de conhecimentos gerais sobre o processo de experimentação/teste de hipóteses

Os estudos realizados por Kuhn e Angelev (1976), Bady (1979), Rowell (1984) e Sodian, Zaitchik e Carey (1991) são classificados nessa célula. Todos eles centram sua atenção principalmente na capacidade dos participantes em identificar e efetivamente controlar variáveis durante o teste de hipóteses bem determinadas, em contextos nos quais os participantes não possuem conhecimentos específicos. Portanto, não há hipóteses alternativas, nem evidências que possam ser interpretadas de acordo com o conhecimento prévio. Para resolver os problemas propostos, cada participante deve efetuar uma busca ampla no espaço dos experimentos, selecionando, entre as opções apresentadas, aquelas que mais contribuem para a solução do problema. Tais estudos visam compreender como os estudantes agem e entendem os aspectos lógicos e operacionais do processo de teste de hipóteses, de forma geral, sem privilegiar determinado contexto.

Esses estudos concluem que crianças e jovens, em maior grau, e até mesmo adultos possuem dificuldades em reconhecer e implementar testes conclusivos para testar determinadas hipóteses. Porém, em determinadas atividades, de menor complexidade, crianças com sete ou oito anos já compreendem o que significa testar uma hipótese através da experimentação. Elas conseguem também distinguir experimentos conclusivos de experimentos confusos ou indeterminados, possuindo, portanto, a base para a aquisição de conhecimentos conceituais e procedimentais mais complexos.

Célula F: O efeito de conhecimentos gerais sobre a avaliação de evidências

Assim como os estudos da célula C, os estudos classificados nessa célula (Shaklee e Paszek, 1985; Ruffman, Perner, Olson e Doherty, 1993; Masnick e Morris, 2002; Koerber e colaboradores, 2005) concentram-se em determinar a habilidade dos participantes em selecionar hipóteses que são suportadas pelas evidências e dados apresentados. Diferentemente dos estudos anteriores – nos quais o conhecimento prévio dos participantes impunha certos vieses e tendências para analisar as informações apresentadas – nessas pesquisas os participantes não possuem conhecimentos específicos sobre os assuntos abordados, nem hipóteses preferenciais. Portanto, eles têm que limitar suas análises e tirar as conclusões baseando-se apenas nas evidências apresentadas.

Pesquisas integradoras: estudos que focam aspectos multicelulares referentes ao processo de investigação

Os estudos descritos até aqui sobre o raciocínio de indivíduos enquanto realizam tarefas e atividades de investigação preocupam-se em analisar os processos cognitivos envolvidos, conforme propõe o modelo SDDS, de forma independente. As metodologias dessas pesquisas foram desenvolvidas para isolar apenas alguns aspectos do conhecimento específico ou do conhecimento geral, ou seja, limitaram-se apenas às células individuais do quadro 1. Essas pesquisas geraram um amplo corpus de conhecimento e informações valiosas sobre o desenvolvimento cognitivo humano, sobre o desempenho e o pensamento dos indivíduos durante as diferentes fases do processo de investigação científica.

Porém, apesar da grande contribuição, certas limitações podem ser identificadas. Kanari e Millar (2004), por exemplo, sugerem que os estudos sobre a avaliação de evidências, como os de Kuhn e colaboradores, avaliam apenas ‘raciocínio lógico’ e não o raciocínio científico. Esses trabalhos, segundo os autores, apresentam aos participantes somente os resultados e evidências

categoricas para que sejam avaliados, enquanto a Ciência envolve a análise e produção de conclusões a partir de dados experimentais, quase sempre quantitativos.

A maioria das pesquisas revistas até aqui foi desenvolvida nas áreas da psicologia e da ciência cognitiva, com exceção da célula A, por pesquisadores interessados na investigação do desenvolvimento das funções mentais superiores dos seres humanos em geral e nas diferenças de desempenho entre indivíduos novatos e especialistas na realização de tarefas específicas em certas áreas do conhecimento. Ainda são poucas as pesquisas na área de educação em ciências que têm como perspectiva a produção de orientações curriculares para facilitar e melhorar o ensino e a aprendizagem dos vários tópicos de ciências. No estudo do desenvolvimento do pensamento científico e da especialização iniciado ainda na década de 1960, os pesquisadores fizeram uma opção por estudar certos aspectos isoladamente e em contextos semanticamente limpos seguindo uma tradição iniciada por Simon, conforme comenta Klahr (2000). A estratégia permitiu avançar na compreensão de aspectos do processo de solução de problemas e tomada de decisão em situações de incerteza. Mas resta ainda compreender o processo de solução de problemas como um todo, e principalmente, como o conhecimento anterior dos indivíduos influencia as decisões que tomam e as ações que executam para resolver um problema prático.

Não é surpreendente então que essas pesquisas tenham pouco impacto na prática educacional e sejam consideradas pouco informativas para os professores (Toth, Klahr e Chen, 2000) e para a formação de novos professores. Grande parte dessas pesquisas foi realizada com amostras reduzidas, compostas por grupos de 20 a 40 participantes, ou foi conduzida em laboratórios de pesquisa, com contextos artificiais, simplificados e limitados, o que distancia as atividades realizadas no contexto escolar e no ambiente de sala de aula.

Além disso, esses trabalhos não identificaram um importante aspecto nesse processo de investigação: a interação entre os conhecimentos gerais e específicos. O estudo isolado dos processos de geração de hipóteses, de teste de hipóteses via experimentação e de análise de evidências deixa em aberto a questão de como é a interação e influência mútua entre esses três processos.

Torna-se então necessário desenhar pesquisas para responder a essa e a muitas outras perguntas, para compreender o pensamento do indivíduo em situações e atividades nas quais seus conhecimentos específicos e gerais guiam a forma como os procedimentos experimentais são definidos e como os resultados e evidências são analisados.

Sophian (1997) argumenta que, para caracterizar detalhadamente o raciocínio dos indivíduos durante as atividades, devemos considerar não só os resultados por eles produzidos, mas também o processo de obtenção e geração desses resultados. Para ela, é necessário distinguir entre a competência e o desempenho do indivíduo durante a execução da atividade. Quando se identificam falhas na sua performance, podemos sempre associá-las a duas possibilidades: pode faltar ao indivíduo uma parte importante da competência conceitual, ou pode faltar-lhe uma competência procedimental ou funcional para traduzir seus conhecimentos em ações e procedimentos efetivos e eficientes. Porém, essas duas possibilidades convergem para uma pergunta importante: em que medida o desempenho fraco do indivíduo na realização de certas tarefas é causado pelas características ou dificuldades inerentes à própria atividade proposta ou é consequência das limitações em seu conhecimento conceitual ou procedimental?

Alexander e Judy (1988), baseadas numa síntese das pesquisas relevantes na área, levantam algumas hipóteses sobre a interação do conhecimento específico e do conhecimento geral tido, por muitos, como um conhecimento estratégico e procedimental. Segundo as autoras:

- Um certo grau de conhecimento específico é necessário para a utilização efetiva e eficiente dos conhecimentos procedimentais. Ou seja, antes de aplicar qualquer conhecimento estratégico, o indivíduo deve possuir algum conhecimento relevante sobre o domínio.
- Um conhecimento específico incompleto ou inadequado sobre o domínio teórico pode inibir, interferir ou atrapalhar a aplicação de conhecimentos procedimentais, prejudicando o aprendizado.
- O conhecimento estratégico contribui para a utilização e aquisição de conhecimentos específicos.
- A utilização de estratégias não adequadas e incoerentes pode interferir no desempenho dos estudantes durante a realização de atividades prático-experimentais, prejudicando a aquisição de novos conhecimentos específicos.
- À medida que o conhecimento específico do domínio aumenta, o conhecimento procedimental se modifica, principalmente a capacidade de representação e organização mental da atividade, apontada por muitos (Chi, 1981; VanLehn, 1989; Millar, 1991) como responsável pela diferenciação do desempenho entre sujeitos novatos e experientes.
- A importância relativa exercida pelo conhecimento específico e pelo conhecimento estratégico durante a realização de uma tarefa qualquer pode ser consequência da natureza e da estrutura da atividade.
- Fatores emocionais e sócio-contextuais interferem na aquisição e utilização de conhecimentos específicos e conhecimentos procedimentais.

Trabalhos realizados a partir do início da década de 90 começaram a investigar como os diferentes aspectos e processos que integram o quadro 1 interagem. Desde então, diversos trabalhos, analisaram o desempenho dos indivíduos na realização de tarefas e solução de problemas práticos, em que seus conhecimentos específicos impõem certos vieses e tendências fazendo com que eles passem a considerar algumas hipóteses mais plausíveis do que outras. Nesses trabalhos integradores, os participantes – crianças, estudantes, adultos e universitários – realizam buscas no campo das hipóteses e/ou no campo da experimentação orientadas pelo seu conhecimento prévio, assim como avaliam as evidências apresentadas ou produzidas por testes experimentais.

A metodologia utilizada nesses trabalhos consiste em permitir que os indivíduos explorem livremente sistemas com diversas variáveis. Tais sistemas são, normalmente, implementados de duas maneiras. Uma maneira envolve a interação dos sujeitos com sistemas físicos reais, como pêndulo simples e plano inclinado (Schauble, Klopfer e Raghavan, 1991; Penner e Klahr, 1996; Schauble, 1996; Kanari e Millar, 2004; Masnick e Klahr, 2003; Klahr, Triona e Williams, 2007). Outra maneira é através da realização de atividades investigativas em ambientes virtuais, usando programas de simulação (Schauble, 1990; Klahr, 2000; Kuhn e colaboradores, 2000; Gomes, Borges e Justi, 2005; Kuhn, 2007). Nesses sistemas, algumas variáveis são causais e outras não. O objetivo geral das atividades é a determinação de quais variáveis afetam um determinado fator. Os participantes iniciam a atividade com suas concepções sobre possíveis relações causais, que são avaliadas no início da atividade. À medida que realizam a atividade e exploram o sistema, os participantes podem modificar ou corroborar suas crenças iniciais frente às evidências produzidas.

As mudanças nas concepções sobre a causalidade das variáveis envolvidas são identificadas através da aplicação de questionários e entrevistas, antes e após a fase de experimentação. Algumas medidas são comumente utilizadas para avaliar o desempenho dos estudantes durante a experimentação: o número de experimentos realizados, o número de experimento para cada variável, a percentagem do campo experimental explorada, a quantidade ou percentagem de testes conclusivos realizados.

Estes trabalhos indicam que os estudantes podem abordar as tarefas propostas de diferentes maneiras, dependendo de seu conhecimento prévio sobre o tópico tratado e de como compreendem

os propósitos das atividades. Indicam também que com orientação apropriada, os estudantes podem adotar abordagens específicas (Schauble, Klopfer e Raghavan, 1991). As pesquisas sugerem que os indivíduos que empregam estratégias mais desenvolvidas de investigação, isto é, uma exploração sistemática do campo experimental e a utilização de estratégias eficientes de controle de variáveis, geralmente são aqueles que apresentam entendimento claro dos objetivos propostos para a atividade, e conseguem estabelecer com mais facilidade as relações de causalidade. Além disso, as estratégias de experimentação podem evoluir ao longo da atividade, mas heurísticas como a tendência a confirmar crenças iniciais e a maior preocupação com as variáveis tidas como causais também podem ser utilizadas com frequência.

Como exemplo, podemos citar o trabalho de Gomes (2005) que desenvolveu uma metodologia de pesquisa buscando contemplar os principais aspectos da investigação científica. Na pesquisa, o autor buscou caracterizar o conhecimento e as estratégias que estudantes utilizaram ao realizar atividades investigativas através de simulações computacionais que abordavam dois domínios teóricos distintos: mecânica e termodinâmica. Gomes trabalhou com a hipótese de que o conhecimento mobilizado pelo indivíduo durante toda a atividade pode ser caracterizado em termos de quatro aspectos: (a) o objetivo que ele atribui à tarefa/atividade realizada; (b) os resultados parciais obtidos durante a atividade; (c) o conhecimento sobre o domínio teórico específico ao qual a atividade se refere; (d) a relação de causalidade entre as variáveis envolvidas.

O principal foco para a análise realizada foi o exame do reconhecimento e utilização de testes experimentais conclusivos para a obtenção de dados válidos para a solução de um problema prático e como os quatro aspectos identificados influenciam nessa habilidade. Participaram da pesquisa 186 alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola pública federal. Os participantes responderam a uma série de questionários iniciais que visavam identificar se eles reconheciam testes adequados e consistentes e, em seguida, seus conhecimentos sobre o domínio da atividade, suas hipóteses iniciais, o objetivo atribuído à atividade, e as conclusões obtidas com a atividade. A simulação computacional armazenou os históricos das investigações contendo todos os experimentos realizados e os parâmetros fornecidos pelos estudantes. Tal metodologia propiciou o relacionamento do desempenho dos estudantes na atividade com os quatro aspectos previamente identificados. Os resultados indicam que parte desses alunos, mesmo tendo aulas de laboratório semanalmente, ainda possuía muitas dificuldades de reconhecer e executar um controle de variáveis eficiente, de analisar os dados e tirar deles conclusões proveitosas, além de reconhecer e seguir os objetivos das atividades.

Considerações finais e implicações para a pesquisa

Dada a interdependência e a imbricação de habilidades e estratégias utilizadas durante o curso de uma investigação e os conhecimentos prévios dos indivíduos, acreditamos ser impossível dissociá-los ou examiná-los de forma independente. Para Millar e Driver,

“... o processo da experimentação depende do conhecimento prévio do estudante. A maneira como ele conduz o experimento, os fatores que são selecionados para a investigação e aqueles que são controlados não são características objetivas, mas decorrem da representação mental que o estudante tem da atividade em questão.”
(Millar e Driver, 1987, p. 50).

Tal dissociação foi extensamente utilizada na pesquisa sobre os processos e conhecimentos envolvidos na realização de atividades práticas, sobretudo por pesquisadores ligados à área da psicologia e ciência cognitiva nas décadas de 80 e 90. Nesses contextos, cada pesquisa procurou responder a perguntas específicas sobre aspectos particulares do desempenho e do funcionamento

cognitivo dos estudantes durante o processo de investigação como controle de variáveis, identificação de variáveis causais e não causais, avaliação de evidências, desenvolvimento das habilidades práticas relacionadas à coleta de dados, da elaboração de planos de investigação, entre outros. Essas pesquisas geraram informações fundamentais para a compreensão do pensamento e das atitudes dos indivíduos ao lidarem com atividades práticas. Porém, devido às limitações dos referenciais teóricos e dos instrumentos de coleta de dados e análise, essas pesquisas forneceram uma imagem limitada e parcial da compreensão e do desempenho dos estudantes nos diversos processos e etapas da investigação científica. Era com esse panorama em mente que Alexander e Judy (1988) fizeram uma série de recomendações para a pesquisa futura, ao cabo de uma ampla revisão da literatura então existente. Algumas dessas recomendações continuam válidas ainda hoje:

- as pesquisas devem ser conduzidas para abordar explicitamente a questão da interação entre os conhecimentos gerais e específicos;
- as pesquisas devem ser detalhadamente descritas quanto aos procedimentos operacionais, quanto aos sujeitos participantes, quanto ao domínio teórico e natureza da atividade realizada e quanto às estratégias envolvidas;
- as metodologias devem fornecer uma rica quantidade de dados de natureza qualitativa e quantitativa sobre a interação dos conhecimentos gerais e específicos.

Portanto, pesquisas futuras que procurarem explorar as habilidades relativas ao processo de investigação devem considerar os avanços conseguidos nesse período pelas pesquisas na área da cognição e do desenvolvimento do pensamento científico (Toth, Klahr e Chen, 2000; Klahr, 2000; Kuhn e colaboradores, 2000; Chinn e Malhotra, 2002; Kanari e Millar, 2004; Gomes, Borges e Justi, 2008) que se fundamentam na identificação de atividades práticas e investigativas, incluindo a atividade científica real, com a resolução de problemas. Para tanto, acreditamos que seja necessário desenvolver metodologias que, além de caracterizar o pensamento dos estudantes durante a realização de toda a atividade prática, permitam relacionar os conhecimentos de cada estudante com o seu desempenho e com as estratégias utilizadas nos seus fazeres. Os dados para tais pesquisas devem ser coletados através de diversos instrumentos de pesquisas para que possam ser identificados, dentre outros aspectos, os objetivos que os participantes atribuem à atividade que realizam, suas hipóteses iniciais, suas estratégias de experimentação e o processo de análise dos resultados e revisão de hipóteses.

Além disso, visando subsidiar discussões amplas e pertinentes, propomos que as atividades, os instrumentos de pesquisa e a metodologia a serem desenvolvidos devem possuir as seguintes características fundamentais:

- O contexto da atividade deve ser suficientemente complexo para permitir uma diversidade de hipóteses e um vasto campo de experimentação, para que as buscas nos respectivos campos não sejam triviais.
- As pesquisas devem ser desenvolvidas nos ambientes escolares (salas de aula, laboratórios, bibliotecas etc.), tendo como situação de pesquisa as próprias situações pertencentes ao currículo escolar.
- O conhecimento prévio do domínio teórico deve influenciar a forma, o conteúdo, a estrutura e a especificidade das hipóteses formuladas pelos participantes.
- Os participantes não devem apenas trabalhar com padrões de covariação ou conjunto de dados pré-determinados, mas sim produzi-los para que possam ser analisados de acordo com as hipóteses iniciais.
- Os participantes devem ter a liberdade de decidir quando parar. Eles devem basear suas conclusões na análise das evidências obtidas, rever as hipóteses iniciais à luz dessas evidências e de seus conhecimentos e decidir se os objetivos propostos para a atividade foram alcançados.

No universo aqui discutido, há espaços para as pesquisas que exploram os entendimentos e as idéias dos estudantes, de forma isolada, sobre alguns desses aspectos que compõem sua compreensão conceitual da experimentação. Porém, a compreensão isolada de diversos componentes que caracterizam o processo de experimentação não garante, necessariamente, a compressão do processo como um todo.

Um debate que permanece aberto na pesquisa na psicologia cognitiva (Klahr e Nigam, 2004; Klahr, 2005; Kuhn, 2005; Kuhn, 2007) e também na área de educação em ciências refere-se ao tipo de ensino e prática mais eficiente para o desenvolvimento das habilidades relativas ao processo de investigação. Alguns pesquisadores (Mayer, 2004, por exemplo) afirmam que a maioria das correntes teóricas em psicologia prevê que a exploração livre de sistemas multivariados seja um modo ineficiente de desenvolver tais habilidades e, então, alternativas de atividades, com variados graus de intervenção e auxílio do professor também são propostas (Kuhn e Dean, 2005).

Se pretendemos utilizar atividades investigativas como forma de aprendizagem no ensino de ciências, devemos estar atentos para o fato de que os estudantes geralmente enfrentam muitas dificuldades no laboratório. A realização de pesquisas com as características descritas poderá possibilitar uma maior compreensão sobre o que os estudantes pensam e fazem enquanto realizam atividades práticas, no laboratório ou fora dele, e sobre que fatores influenciam o desenvolvimento de suas competências e seu desempenho nesses contextos. Isso poderá contribuir para que possamos elaborar atividades, planos de ensino e meios de ajudar os estudantes a desenvolver um entendimento mais amplo de ciências e dos aspectos principais que caracterizam a atividade científica.

Referências

- ALEXANDER, P. A.; JUDY, J. E. The Interaction of Domain-Specific and Strategic Knowledge in Academic Performance. **Review of Educational Research**, v.58, n.4, p.375-404, 1988.
- AMSEL, E.; BROCK, S. The Development of Evidence Evaluation Skills. **Cognitive Development**, v.11, p.523-550, 1996.
- BADY, R. J. Students' understanding of the logic of hypothesis testing. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 16, n. 1, p. 61-65, 1979.
- BORGES, A. T. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.19, n.3, p.291-313, 2002.
- BORGES, O.N.; BORGES, A.T.; SILVA, M.V.D.; GOMES, A.D.T. Situações inesperadas no laboratório escolar. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, VIII., 2002, Águas de Lindóia. **Atas...**
- BRASIL (1999). **PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEMTEC.
- CAREY, S. Science education as conceptual change. **Journal of Applied Developmental Psychology**, v. 21, n. 1, p. 13-19, 2000.
- CHI, M. H. T. Knowledge development and memory performance. In M. P. Friedman, J. P. Das, & N. O'Connor (Eds.), **Intelligence and Learning**. New York: Plenum Press, 1981, p. 221-229.

- CHINN, C. A. E MALHOTRA, B. A. Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. **Science Education**, v. 86, n. 2, p. 175-218, 2002.
- CHINN, C. A.; BREWER, W. F. Models of Data: A Theory of How People Evaluate Data. **Cognition and Instruction**, v. 19, n. 3, p. 323-393, 2001.
- COUTINHO, M. T. C.; MOREIRA, M. **Psicologia da Educação**. Belo Horizonte: Editora Lê, 2001. 215p.
- DEAN, D.; KUHN, D. Direct instruction vs. discovery: The long view. **Science Education**, v.91, n. 3, p.384-397, 2007.
- DRIVER, R.; SQUIRES, A.; RUSHWORTH, P.; ROBINSON, V. W. **Making sense of secondary science: research into children's ideas**. London: Routledge, 1994. 210p.
- ECHEVARRIA, M. Anomalies as a catalyst for middle school students' knowledge construction and Scientifics reasoning during science inquiry. **Journal of Educational Psychology**, v. 95, n. 2, p. 357-374, 2003.
- FÁVERO, M. H.; SOUSA, C. M. S. G. A Resolução de Problemas em Física: Revisão de Pesquisa, Análise e Proposta Metodológica. **Investigações em Ensino de Ciências**. v.1, n.3, 2000.
- FLICK, L. B.; LEDERMAN, N. G. **Scientific inquiry and nature of science. Implications for teaching, learning, and teacher education**. Dordrecht: Springer, 2006. 453 p.
- GERMANN, P. J.; ARAM, R.; BURKE, G. Identifying Patterns and Relationships among the Responses of Seventh-Grade Students to the Science Process Skill of Designing Experiments. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 33, n. 1, p. 79-99, 1996.
- GILBERT, J. K, BOULTER, C. (eds). **Developing models in science education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000. 387 p.
- GOMES, A. D. T.; BORGES, A. T.; JUSTI, R. Students' Performance in Investigative Activity and Their Understanding of Activity Aims. **International Journal of Science Education**, v. 30, n. 1, p. 109-135, 2008.
- GOMES, A.D.T.; BORGES, A.T.; JUSTI, R. S. O desempenho de estudantes na realização de investigações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, V., 2005, Bauru, SP. **Atas...**
- GOMES, A. D. T. Reconhecimento e uso de testes experimentais no laboratório escolar. 2005. Dissertação (Mestrado em Educação) - Faculdade de Educação da UFMG, Belo Horizonte.
- GOPNIK, A.; SOBEL, D. M.; SCHULZ, L. E.; GLYMOUR, C. Causal learning mechanisms in very young children: Two-, three-, and four-year-olds infer causal relations from patterns of variation and covariation. **Developmental Psychology**, v. 37, p. 620–629, 2001.
- GOTT, R.; DUGGAN, S. **Investigative Work in the Science Curriculum**. Buckingham: Open University Press, 1995. 146 p.
- HODSON, D. In search of a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science and science education. **International Journal of Science Education**, v.14, n.5, p.541-562, 1992.

- HODSON, D. Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion. **Journal of Curriculum Studies**, v. 28, n. 2, p. 115-135, 1996.
- INHELDER, B.; PIAGET, J. **Da lógica da criança à lógica do adolescente**. São Paulo: Pioneira, 1976.
- KANARI, Z.; MILLAR, R. Reasoning from Data: How Students Collect and Interpret Data in Science Investigations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 41, n. 7, p. 748-769, 2004.
- KANG, S.; SCHARMANN, L.C.; NOH, T. Reexamining the Role of Cognitive Conflict in Science Concept Learning. **Research in Science Education**, v. 34, p. 71-96, 2004.
- KLAHR, D. & NIGAM, M. The equivalence of learning paths in early science instruction: Effects of direct instruction and discovery learning. **Psychological Science**, v. 15, n. 10, p. 661-667, 2004.
- KLAHR, D. Early science instruction: Addressing fundamental issues. *Psychological Science*, v.16, n.11, p.871-872, 2005.
- KLAHR, D. **Exploring Science: the Cognition and Development of Discovery Process**. Cambridge: MIT Press, 2000. 239 p.
- KLAHR, D.; DUNBAR, K. Dual Space Search During Scientific Reasoning. **Cognitive Science**, v.12, n.1, p.1-48, 1988.
- KLAHR, D.; LI, J. Cognitive research and elementary science instruction: From the laboratory, to the classroom, and back. **Journal of Science Education and Technology**, v. 14, n. 2, p. 217-238, 2005.
- KLAHR, D.; SIMON, H. A. What have psychologists (and others) discovered about the process of scientific discovery. **Current Directions in Psychological Science**, v.10, n.3, p.75-79, 2001.
- KLAHR, D.; TRIONA, L. M.; WILLIAMS, C. Hands on what? The relative effectiveness of physical vs. virtual materials in an engineering design project by middle school students. **Journal of Research in Science Teaching**, v.44, p.183-203, 2007.
- KLAYMAN, J.; HA, Y. Confirmation, Disconfirmation, and Information in Hypothesis Testing. **Psychological Review**, v.94, n.2, p.211-228, 1987.
- KLAYMAN, J.; HA, Y. Hypothesis Testing in Rule Discovery: Strategy, Structure, and Content. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v.15, n.4, p.596-604, 1989.
- KOERBER S.; SODIAN, B.; THOERMER, C.; NETT, U. Scientific Reasoning in Young Children: Preschoolers' Ability to Evaluate Covariation Evidence. **Swiss Journal of Psychology**, v. 64, n. 3, p. 141-152, 2005.
- KOSLOWSKI, B. **Theory and Evidence: The Development of Scientific reasoning**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1996. 288 p.
- KOSLOWSKI, B.; OKAGAKI, L.; LORENZ, C.; UMBACH, D. When covariation is not enough: The role of causal mechanism, sampling method, and sample size in causal reasoning. **Child Development**, v.60, p.1316-1327, 1989.

- KUHN, D. (2007). Reasoning about multiple variables: Control of variables is not the only challenge. **Science Education**, v. 91, p. 710-726.
- KUHN, D. Children and Adults as Intuitive Scientists. **Psychological Review**, v.96, n.4, p.674-689, 1989.
- KUHN, D. What needs to be mastered in mastery of scientific method? *Psychological Science*, v. 16, n.11, p.873-874, 2005.
- KUHN, D.; AMSEL, E.; O'LOUGHLIN, M. **The Development of Scientific Thinking Skills**. San Diego, California: Academic Press, Inc, 1988. 249 p.
- KUHN, D.; ANGELEV, J. An Experimental Study of the Development of Formal Operational Thought. **Child Development**, v.47, p.697-706, 1976.
- KUHN, D.; BLACK, J.; KESELMAN, A.; KAPLAN, D. The Development of Cognitive Skills to Support Inquiry Learning. **Cognition and Instruction**, v.18, n.4, p.495-523, 2000.
- KUHN, D.; BRANNOCK, J. Development of the Isolation of Variables Scheme in Experimental and "Natural Experiment" Context. **Developmental Psychology**, v.13, n.1, p.9-14, 1977.
- KUHN, D.; DEAN, D. Is developing scientific thinking all about learning to control variables? *Psychological Science*, v. 16, n. 11, p. 866-870, 2005.
- LAWSON, A. E. The Reality of General Cognitive Operations. **Science Education**, v.66, n.2, p.229-241, 1982.
- LAWSON, A. E.; CLARK, B.; CRAMER-MELDRUM, E.; FALCONER, K. A.; SEQUIST, J. M.; KWON, Y.J. Development of scientific reasoning in college biology: do two levels of general hypothesis-testing skills exist? **Journal of Research in Science Teaching**, v. 37, n. 1, p. 81-101, 2000.
- LEACH, J. Students' understanding of the co-ordination of theory and evidence in science. **International Journal of Science Education**, v. 21, n. 8, p. 789-806, 1999.
- LIN, X.; LEHMAN, J. D. Supporting Learning of Variable Control in a Computer-Based Biology Environment: Effects of Prompting College Students to Reflect on Their Own Thinking **.Journal of Research in Science Teaching**, v. 36, n. 7, p. 837-858, 1999.
- MASNICK, A. M.; KLAHR, D. Error matters: an initial exploration of elementary school children's understanding of experimental error. **Journal of Cognition and Development**, v. 4, n. 1, p. 67-98, 2003.
- MASNICK, A. M.; MORRIS, B. J. Reasoning from data: the effect of sample size and variability on children's and adults' conclusions. In: GRAY, W. D. e SCHUNN, C. D. (Eds.). *Annual Conference of The Cognitive Science Society, XXIV* (pp.643-648). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. **Proceedings**, 2002.
- MATTHEWS, M. R. Models in science and in science education: an introduction. **Science & Education**, v.16, n. 7-8, p.647-652, 2007.
- MAYER, R. E. Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? **American Psychologist**, v. 59, p. 14-19, 2004.

- MAYER, R. E.; WITTRICK, M. C. Problem-solving transfer. In: BERLINER, D. C.; CALFEE, R. C. (Eds). **Handbook of Educational Psychology**. New York: MacMillan, 1996. p. 47-62.
- MCCORMICK, R. Conceptual and procedural knowledge. **International Journal of Technology and Design Education**, v. 7, p. 141-159, 1997.
- MILLAR, R. A means to an end: the role of processes in science education. In: WOOLNOUGH, B. E. **Practical Science. The role and reality of practical work in school science**. Philadelphia: Open University Press, 1991. p.43-52.
- MILLAR, R.; DRIVER, R. Beyond Processes. **Studies in Science Education**, v.14, p.33-62, 1987.
- MONK, M. On the identification of principles in science that might inform research into students' beliefs about natural phenomena. **International Journal of Science Education**, v. 17, n. 5, p. 565-573, 1995.
- NOVAK, J. D. An Alternative to Piagetian Psychology for Science and Mathematics Education. **Science Education**, v.61, n.4, p.453-477, 1977.
- NRC - NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). **National Science Education Standards**. Washington, DC: National Academy Press.
- OLIVA, J. M. Structural patterns in students' conceptions in mechanics..**International Journal of Science Education**, v. 21, n. 9, p. 903-920, 1999.
- PARK, J.; PAK, S. Students' Responses to Experimental Evidence Based on Perceptions of Causality and Availability of Evidence. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 1, p. 57-67, 1997.
- PENNER, D. E.; KLAHR, D. The Interaction of Domain-Specific Knowledge and Domain-General Discovery Strategies: A Study with Sinking Objects. **Child Development**, v.67, p. 2709-2727, 1996.
- ROWELL, J. A. Towards controlling variables: A theoretical appraisal and a teachable result. **European Journal of Science Education**, v. 6, n. 2, p. 115-130, 1984.
- RUFFMAN, T.; PERNER, J.; OLSON, D.R.; DOHERTY, M. Reflecting on Scientific Thinking: Children's Understanding of the Hypothesis-Evidence Relation. **Child Development**, v.64, p.1617-1636, 1993.
- SCHAUBLE, L. Belief Revision in Children: The Role of Prior Knowledge and Strategies for Generating Evidence. **Journal of Experimental Child Psychology**, v.49, p.31-57, 1990.
- SCHAUBLE, L. The Development of Scientific Reasoning in Knowledge-Rich Contexts. **Developmental Psychology**, v.32, n.1, p.102-119, 1996.
- SCHAUBLE, L.; KLOPFER, L. E.; RAGHAVAN, K. Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. **Journal of Research in Science Teaching**, v.28, n.9, p.859-882, 1991.
- SCHULZ, L.; GOPNIK, A. Causal learning across domains. **Developmental Psychology**, v. 40, n. 2, p. 162-176, 2004.

- SCHUNN, C. D.; ANDERSON, J. R. The generality/specificity of expertise in scientific reasoning. **Cognitive Science**, v. 23, n. 3, p. 337-370, 1999.
- SÉRÉ, M.G. La Enseñanza en el Laboratorio. Qué Podemos Aprender en Términos de Conocimiento Práctico y de Actitudes hacia la Ciencia? **Enseñanza de las Ciencias**, v.20, n.3, p.357-368, 2002.
- SHAKLEE, H.; PASZEK, D. Covariation judgment: Systematic rule use in middle childhood. *Child Development*, v. 56, 1229–1240, 1985.
- SMITH, G. Are there domain-specific thinking skills? **Journal of Philosophy of Education**, v. 36, n. 2, p. 207-227, 2002.
- SOBEL, D. M.; KIRKHAM, N. Z. Blickets and babies: The development of causal reasoning in toddlers and infants. **Developmental Psychology**, v. 42, p. 1103-1115, 2006.
- SODIAN, B.; ZAITCHIK, D.; CAREY, S. Young Children's Differentiation of Hypothetical Beliefs from Evidence. **Child Development**, v.62, p.753-766, 1991.
- SONG, J.; BLACK, P. J. The effects of concept requirements and task context on pupils' performance in control of variables. **International Journal of Science Education**, v. 14, n. 1, p. 83-93, 1992.
- SOPHIAN, C. Beyond Competence: the Significance of Performance for Conceptual Development. **Cognitive Development**, v.12, p.281-303, 1997.
- TIROSH, D.; STAVY, R. Intuitive rules in science and mathematics: the case of 'Everything can be divided by two'. **International Journal of Science Education**, v. 18, p. 653–667, 1996.
- TOPLAK, M. E.; STANOVICH, K. E. The domain specificity and generality of disjunctive reasoning: Searching for a generalizable critical thinking skill. **Journal of Educational Psychology**, v. 94, p. 197-209, 2002.
- TOTH, E. E.; KLAHR, D.; CHEN, Z. Bridging Research and Practice: A Cognitively Based Classroom Intervention for Teaching Experimentation Skills to Elementary School Children. **Cognition and Instruction**, v.18, n.4, p.423-459, 2000.
- TRUMPER, R. The Physics Laboratory - A Historical Overview and Future Perspectives. **Science & Education**, v. 12, p. 645-670, 2003.
- TSCHIRGI, J. E. Sensible Reasoning: A Hypothesis about Hypotheses. **Child Development**, v.51, p.1-10, 1980.
- VAN JOOLINGEN, W. R.; DE JONG, T. An extended dual search space model of scientific discovery learning. **Instructional Science**, v.25, p.307-346, 1997.
- VANLEHN, K. Problem Solving and Cognitive Skill Acquisition. In: POSNER, M. I. (Ed.). **Foundations of Cognitive Science**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1989. p. 527-579.
- WANDERSEE, J. H.; MINTZES, J. J.; NOVAK, J. D. Research on Alternative Conceptions. In: GABEL, D. L. (Ed). **Handbook of Research on Science Teaching and Learning**. New York: MacMillan, 1994. p.177-210.

WELLMAN, H. M.; GELMAN, S. A. Cognitive development: foundational theories of core domains. **Annual Review of Psychology**, v.43, p.337-375, 1992.

WHITE, P. A. Causal Processing: Origins and Development. **Psychological Bulletin**, v.104, n.1, p.36-52, 1988.

Recebido em: 20.04.07

Aceito em: 01.08.08