

CIÊNCIAS E CRIANÇAS: delineando caminhos de uma iniciação às ciências para crianças pequenas

DOMINIQUE COLINVAUX¹

Resumo

Este texto se propõe a discutir a problemática posta por uma iniciação às ciências para crianças pequenas, com base em estudos psicológicos sobre cognição infantil articulados à pesquisa em educação em ciências, e tendo como horizonte a Educação Infantil. Para isso, é necessário enfrentar o argumento de que as ciências naturais se definem por uma racionalidade abstrata e ferramentas lógico-matemáticas sofisticadas que, por isso mesmo, estariam fora do alcance da criança pequena. Começamos então por problematizar a afirmação, comum nos meios educacionais e entre adultos de modo geral, de que ‘a criança é concreta’ e, portanto, não está pronta para lidar com idéias abstratas. Evocando os resultados de pesquisas atuais sobre a cognição infantil, evidenciamos a precocidade das ferramentas mentais da criança pequena que, em determinados aspectos se mostram inclusive convergentes com o pensamento científico. Uma vez demonstrada a capacidade da criança pequena para pensar, e mais, para pensar bem, faz-se necessário examinar o que entendemos por ciências. Para esta tarefa, recorreremos à pesquisa em educação em ciências que, para responder à pergunta *o que ensinar*, aponta para algumas características definidoras da atividade científica. Ao mesmo tempo que reiterando o caráter abstrato dos conhecimentos nestas áreas, a pesquisa em educação em ciências indica elementos de uma concepção diferenciada que oferece pistas para nosso tema. Em uma perspectiva mais propositiva, articulamos uma proposta de educação em ciências que destaca as dimensões de experiência, linguagem e conhecimento, com uma discussão da gênese psicológica da experimentação, para concluir que uma iniciação às ciências para crianças pequenas é possível.

¹Doutora em Educação pela Reading University, READING, Inglaterra. Professora pesquisadora da Universidade Federal Fluminense. E-mail: dominique.colinvaux@terra.com.br

Abstract

In this paper, we propose to discuss the issue of whether it is possible to teach science to young children, by referring to different research areas, namely cognitive development and science education, while keeping early education requirements as a background. The issue requires moving away from the assumption that young children are not able to deal with the world of the natural sciences because it involves abstract reasoning as well as sophisticated logico-mathematical tools. On the grounds of current psychological research which show that very early in life children develop thinking tools, and moreover that children's thinking is often convergent with some of the basis processes of scientific thinking, I argue against the commonsense assumption that children are 'concrete', that is, that they are unable to deal with abstract ideas. Then, by looking at how science education studies answer the question of what should be taught, it is possible to outline a view of science emphasizing processes rather than products. Furthermore, scientific practice is seen as involving three main dimensions, namely experience, language and knowledge and the idea of experience is taken forward with an analysis of two classical studies on how experimentation develops in young children. As a result, the articulation between experience and experimentation points to a promising path concerning science learning activities for young children.

Palavras-chave

Educação infantil; Educação em ciências; Cognição infantil.

Key-words

Early childhood education; Science education; Cognitive development.

Introdução

Este texto se propõe a discutir a problemática posta por uma iniciação às ciências para crianças pequenas e, nesta perspectiva, enfrenta o desafio de articular estudos psicológicos sobre cognição infantil com a pesquisa em educação em ciências, tendo como horizonte a Educação Infantil. Não se pretende, no entanto, proceder a análises da literatura em uma e outra área, mas sim de submeter à discussão um conjunto de reflexões que permitam uma primeira aproximação a esta problemática.²

Para tanto, consideramos relevante explicitar o contexto de origem dessas reflexões. De um lado, há o desconforto gerado pelo reconhecimento de que a educação em ciências, como área de pesquisa consolidada com a qual venho trabalhando há vários anos, pouco tem se dedicado a pensar o que seria uma iniciação às ciências para crianças pequenas. São várias as razões para isso. Mas destaca-se a suposição de que ensinar ciências a crianças seria tarefa claramente

² Em Colinvaux (2003), já ensaiamos uma discussão da aproximação entre os estudos psicológicos sobre cognição infantil e educação em ciências, embora sem avançar na formulação mais propositiva aqui desejada para a Educação Infantil.

impossível, uma vez que os educadores que irão trabalhar na educação infantil, bem como nas séries iniciais do Ensino Fundamental, não são formados nas áreas científicas (como ocorre nas demais licenciaturas) e, portanto, não dominam os conhecimentos científicos. Mas, mesmo que este fosse o caso, parece ser consensual que as crianças não teriam condições de aprender. Mas não são os cientistas os únicos a pensar que o universo científico não está ao alcance das crianças. Também os educadores, sejam aqueles em formação em cursos de pedagogia ou aqueles já em exercício, costumam compartilhar a visão de que *a criança não está pronta* para aprender algo tão abstrato, complexo e difícil. E assim esbarramos no clássico dilema: se a criança não está pronta, então não é o caso de tentar ensiná-la já que não tem condições de aprender e se, ao contrário, está pronta, então já conhece o que queremos ensinar e já não adianta ensinar ...

Aqui queremos defender uma posição diversa: queremos nos permitir pensar em caminhos para uma iniciação às ciências junto a crianças pequenas. Para tanto, enfrentamos o argumento que sustenta que as ciências naturais implicam uma racionalidade abstrata e ferramentas lógico-matemáticas sofisticadas que, por isso mesmo, estariam fora do alcance da criança pequena. Começamos então por problematizar a afirmação, comum nos meios educacionais e entre adultos de modo geral, de que 'a criança é concreta' e, portanto, não está pronta para lidar com idéias abstratas. Evocando os resultados de pesquisas atuais sobre a cognição infantil, evidenciamos a precocidade das ferramentas mentais da criança pequena que, em determinados aspectos, se mostram inclusive convergentes com o pensamento científico. Uma vez demonstrada a capacidade da criança pequena para pensar e, mais, para pensar bem, faz-se necessário examinar o que entendemos por ciências. Para esta tarefa, recorreremos à pesquisa em educação em ciências que, para responder à pergunta *o que ensinar*, aponta para algumas características definidoras da atividade científica. Ao mesmo tempo que reiterando o caráter abstrato dos conhecimentos nestas áreas, a pesquisa em educação em ciências indica elementos de uma concepção diferenciada que oferece pistas para nosso tema. Em uma perspectiva mais propositiva, articulamos uma proposta de educação em ciências que destaca as dimensões de experiência, linguagem e conhecimento, com uma discussão da gênese psicológica da experimentação, para concluir que uma iniciação às ciências para crianças pequenas é possível.

Do lado das crianças... A idéia de crianças concretas

Começamos por discutir a afirmação comumente ouvida entre adultos em geral, mas, especialmente, entre educadores e cientistas, de que 'a criança é concreta'. Dito de outra maneira, crianças pequenas não demonstrariam capacidade de abstração e, por isso, as atividades escolares deveriam envolver materiais concretos, reservando-se o trabalho com idéias, noções, princípios - materiais abstratos - para as crianças 'mais velhas': os adolescentes.

A afirmação aparentemente não problemática das impossibilidades cognitivas da criança pequena, no entanto, não encontra respaldo nos estudos psicológicos dedicados a esta faixa etária, como tentaremos mostrar a seguir. Para isso, em primeiro lugar, há que se questionar - como já apontava Wallon há mais de 60 anos, em *A evolução psicológica da criança* (1941/sd) - a pretensão do adulto que, como 'pai da criança', supõe dela tudo conhecer. Talvez por essa razão é que, nas relações entre adultos e crianças que se travam na vida cotidiana e nos espaços escolares, consolida-se um senso comum que, baseado na dependência da criança face ao adulto, acaba por enxergar nela apenas lacunas, falhas e impossibilidades. Portanto, uma 'visão em negativo' da criança ou, para usar as palavras de Wallon, uma interpretação das diferenças entre crianças e adultos em termos de "subtração", "redução" e, até mesmo, "amputação", uma vez que "o adolescente seria o adulto amputado da etapa mais recente de seu desenvolvimento, e assim sucessivamente, de idade em idade, até a primeira infância" (WALLON, 1941/sd, p. 13).

Em segundo lugar, é necessário examinar as referências feitas a Piaget e a Vygotsky, a nosso ver equivocadas, para sustentar uma idéia de criança incapaz, entre outras lacunas ou impossibilidades, de raciocinar abstratamente. É comum, a esse respeito, apelar para a noção de estágios de desenvolvimento cognitivo e, sobretudo, para a caracterização das operações concretas e do pensamento formal (também chamado hipotético-dedutivo ou abstrato) segundo a perspectiva de Piaget, ou ainda, a diferenciação entre pré ou pseudo-conceitos e conceitos propriamente ditos por Vygotsky (1991). Em contraposição a estas interpretações, vale lembrar as características da abordagem psicogenética, desenvolvida inicialmente por Wallon e depois Piaget e Vygotsky, nas primeiras décadas do século XX (BANKS-LEITE, 2001). Como se sabe, com o objetivo de estudar as crianças naquilo que lhes é próprio, tratava-se de 'voltar às origens'³ e acompanhar os progressos infantis, evidenciando não mais ausências, mas sim uma descrição 'em positivo' das conquistas intelectuais da infância e adolescência. No cerne desta abordagem, reside a questão, todavia não resolvida, de como caracterizar as relações de semelhanças e diferenças entre crianças e adultos, que a perspectiva psicogenética se propunha a equacionar por meio de uma investigação junto às crianças que não tomasse como referência e parâmetro o adulto.

Hoje, com o recuo dos anos, parece-nos que as promessas da abordagem psicogenética ficaram, de certo modo, aquém das expectativas, o que talvez seja o indício mais relevante da dificuldade da tarefa proposta. Assim, a noção de estágio, mais do que apontar para impossibilidades - o que uma criança sabe/pode *versus* não sabe/não pode pensar ou fazer -, deveria indicar potencialidades específicas do pensamento infantil em diversos momentos da trajetória cognitiva. No entanto, a descrição piagetiana inclui um estágio pré-operatório, definido principalmente pela ausência das características lógicas próprias do pensamento operatório; e, de modo análogo, a análise Vygotskyana sobre a formação de conceitos científicos determina uma sequência hierárquica de etapas, de pré- e pseudo- conceitos a conceitos propriamente ditos. Em ambos os casos, parece perdurar a referência ao adulto para aproximar-se da criança e estudá-la.

³ Diferentes formulações de que é necessário 'voltar às origens' podem ser encontradas nos três autores.

Vale notar que esta questão não é nova, tendo sido discutida a partir de diferentes perspectivas. Puche-Navarro (2000, 2003), para citar um exemplo, mostra que os estudos psicogenéticos, principalmente até a década de 60, não logram alcançar seu objetivo, ficando aprisionados a um 'modelo final' da cognição infantil, que continua adotando, como principal parâmetro de análise, o ponto de chegada esperado das trajetórias de desenvolvimento, qual seja, a cognição do adulto. Tomando emprestada de Wertsch (1998) a idéia de *telos*⁴, e indo na mesma direção, poderíamos dizer que o *telos* do desenvolvimento infantil continuou sendo o adulto, definindo uma perspectiva de análise que permanece, portanto, externa à criança.

Os últimos 40 anos têm assistido a uma explosão de estudos sobre bebês e crianças pequenas, que permite reverter o quadro acima delineado. O cenário resultante aponta modelos teóricos rivais e várias questões ainda não resolvidas. Mas a conclusão principal é clara: o bebê humano - e *a fortiori* a criança pequena - é muito mais competente do que imaginávamos. Em outras palavras, a imagem da criança como um ser marcado pela falta, aquele que não sabe e não pode, cede lugar ao reconhecimento da precoce riqueza e complexidade da cognição infantil. A afirmação da precocidade das competências perceptivas e cognitivas, apoiada em inúmeras evidências empíricas⁵, não apaga no entanto as diferenças entre bebês, crianças e adultos.

Entre esses estudos, destacam-se aqueles que se dedicam a investigar a gênese de processos científicos na criança pequena. A esse respeito a revisão de literatura de Metz (1998) aponta, por um lado, a permanência de uma orientação piagetiana em parte dos estudos realizados. Por outro, menciona investigações que mostram a compreensão infantil do universo científico: a partir dos 7 anos, por exemplo, as crianças entendem que um estudo científico demanda observação, teste de hipóteses, diferenciação entre teoria e evidências. Também se examina a capacidade infantil de lidar com hipóteses, buscando evidências confirmatórias ou, ao contrário, evidências que permitam rejeitar as hipóteses consideradas. É relevante que a maior parte dos estudos indicados por Metz tendem a situar a compreensão infantil de processos científicos por volta dos 7 anos. Estes resultados são interessantes por várias razões: em primeiro lugar, confirma-se a necessidade de rever a perspectiva, própria do início do século XX, que situava na adolescência o desenvolvimento de um pensamento propriamente abstrato, e com características científicas; em segundo lugar, confirma-se que, por volta dos 7 anos, ocorrem importantes transformações na cognição infantil.

Mas como caracterizar o funcionamento cognitivo da criança antes dos 7 anos, especialmente no que concerne sua capacidade de pensar cientificamente? A essa questão tem se dedicado Puche-Navarro (2000, 2003), buscando capturar as dimensões científicas da cognição infantil até os 6 anos, operacionalizadas em termos de um conjunto de cinco *ferramentas científicas*, quais sejam: inferência, planejamento, classificação, experimentação e hipóteses. Seus colaboradores Morales & Bustamante (2000), em sua revisão, mostram que as ferramentas científicas apontadas pelos estudos sobre bebês e crianças pequenas, de menos de 7 anos, incluem desde a capacidade para realizar inferências até a classificação

⁴ Wertsch analisa o *telos* do desenvolvimento, para Vygostky, em termos de uma racionalidade abstrata, o que se aplica também, e mais ainda, a Piaget. Ver também Colinvaux (no prelo), a respeito de como este *telos* se define a partir da referência ao próprio pensamento científico.

⁵ Não cabe aqui detalhar, inclusive porque seria impossível, os estudos sobre as capacidades perceptivas e cognitivas de bebês e crianças pequenas. Para aprofundar este tema, vale recorrer à revisão de Flavell, Miller & Miller (2000) sobre desenvolvimento cognitivo; ou ainda, em língua portuguesa, a Coll, Palácios & Marchesi (1995) ou Bee (1996).

e/ou categorização conceitual, incluindo temas como previsão e planejamento, manejo e processos de comprovação de hipóteses. Esses resultados indicam que a fronteira estabelecida aos 7 anos deve ser revista, as crianças menores evidenciando capacidades cognitivas variadas e, sobretudo, que é equivocada a suposição de que a criança é concreta.

Do lado das crianças, então, não se justifica a ausência de uma iniciação às ciências. Mas resta que o universo científico se apresenta como abstrato, complexo e de difícil apropriação... Para este tema agora nos voltamos.

Racionalidade científica e educação em ciências

Para avançar em nossa discussão, é preciso delinear uma concepção de ciências, a que faremos a seguir. Depois, exploramos a pesquisa em educação em ciências, voltada para a aprendizagem dos conteúdos escolares das disciplinas científicas, que permite aprofundar a análise das características definidoras destas áreas de conhecimento e, assim, problematizar a suposta impossibilidade de ensinar ciências a crianças pequenas.

As ciências naturais visam descrever e explicar o mundo natural. Para tanto, formulam leis, elaboram conceitos e teorias e desenvolvem explicações a respeito dos fenômenos à nossa volta, buscando alcançar 'verdades', isto é, conhecimentos (provisoriamente) confiáveis e comprovados. Neste sentido, a meta fundamental da ciência reside na elaboração teórica, isto é, na criação de representações e modelos do mundo e seus fenômenos (NERSESSIAN, 1992). Para tanto, a atividade científica recorre a estratégias e instrumentos variados, que incluem desde a experimentação em laboratório até poderosas ferramentas matemáticas. Além disso, é necessário ter em conta que a atividade científica se inscreve em paradigmas epistemológicos e ontológicos (KUHN, 1974; CAREY, 1986), e que por sua vez, estão associados a determinados momentos históricos. Isto quer dizer que os processos científicos obedecem a regras que determinam, por exemplo, quais são as perguntas relevantes e quais os tipos de explicações aceitáveis, para caminhar na elaboração de teorias consideradas válidas.

O que se depreende desta sucinta descrição é que, em cada momento histórico e no interior de cada disciplina, a ciência é mais que seus produtos, as teorias, pois que envolve processos e procedimentos variados. Dito de outro modo, não existe o *método científico*: a atividade científica segue múltiplos caminhos, com base em determinações internas e externas a cada campo de conhecimento. Uma rica definição, que expressa essa diversidade teórico-metodológica inerente à atividade científica, afirma que "a ciência é vista hoje como enfrentando o mundo material com base em práticas materiais e intelectuais diversas e pouco articuladas, e a ocorrência destas práticas é situada social e institucionalmente de modo inescapável". (JENKIS, 1999a).

Mas é, talvez, a pesquisa sobre os processos de ensino-aprendizagem das ciências naturais que melhor evidencia algumas características definidoras do universo científico. Com efeito, ao enfrentar a questão *o que ensinar* nas aulas de física, química ou biologia, a pesquisa em educação em ciências tem buscado caracterizar a especificidade dos conhecimentos e processos das áreas científicas. Antes de prosseguir, no entanto, duas ressalvas são necessárias nesta passagem para o terreno da educação. Em primeiro lugar, é necessário ter em conta as muitas diferenças existentes entre a *ciência dos cientistas* e a *ciência na/da escola*, isto é, a ciência escolar que, por um processo de transposição didática, é organizada na forma de currículos, programas e atividades, se expressa nos livros escolares e é veiculada pelos professores em suas salas de aula. Em segundo lugar, e retornaremos a este ponto adiante, cabe manter uma distância crítica em relação a uma visão escolarizada de conteúdos de ciências, que freqüentemente reduz a riqueza da atividade científica a seus produtos, muitas vezes na forma de conceitos fragmentados.

Entre os inúmeros caminhos possíveis para caracterizar a natureza da atividade científica e assim definir estratégias de ensino, Millar (1998) discute três concepções que contribuem diretamente para nossa discussão. Para ele, a ciência pode ser concebida:

- como um conjunto de habilidades (*process skills*), correspondendo a habilidades cognitivas gerais (*general cognitive skills*) que se manifestam na forma de condutas como observar, classificar, hipotetizar, inferir, predizer etc;
- como ‘estratégia lógica’ que, inspirada nos estudos piagetianos, supõe compromisso com raciocínios lógicos quando se trata de relacionar evidência e explicação (*commitment to logical reasoning in relating evidence and explanation*), o que implica em procedimentos como controle de variáveis e teste de hipóteses;
- como uma atividade de resolução de problemas, que envolve desde o uso de instrumentos de medida até o reconhecimento de princípios investigativos gerais, tais como a necessidade de planos experimentais ou ainda a repetição de medidas para aumentar sua confiabilidade.⁶

Se é válida a interpretação de Millar acerca da atividade científica, então a pergunta *o que ensinar?*, começa a admitir várias respostas. Dito de outra maneira, são vários os objetos de ensino-aprendizagem que podem ser trabalhados nas aulas dedicadas às ciências naturais. Seguindo o caminho assim delineado, ensina-se aquilo que remete a dimensões tradicionais do universo científico, que se situam no domínio cognitivo mais familiar aos psicólogos: os conceitos, sistemas conceituais e teorias, ou ainda, as estratégias e procedimentos de resolução de problemas. Em uma perspectiva complementar, o reconhecimento da natureza sócio-política dos problemas da atividade científica do mundo atual aponta para uma *ciência cidadã* (JENKINS, 1999b), que implica processos de ensino-aprendizagem voltados para questões como tomada de decisão, avaliação de riscos e uma visão crítica da autoridade científica, evidenciando assim a necessidade de estreitar as relações entre conhecimento e ação.

⁶ Neste mesmo artigo, Millar (1998) se refere também a ‘táticas investigativas’ (*inquiry tactics*), que remetem a princípios gerais que visam assegurar a validade dos resultados da investigação.

Ao lado da discussão acerca das características da atividade científica relevantes para a educação, as pesquisas desta área têm se debruçado, nos últimos 25 anos, sobre os processos de aprendizagem destes conteúdos escolares.

A esse respeito é relevante começar lembrando que a maior parte da pesquisa realizada, no Brasil, assim como em outros países, focaliza quase exclusivamente os segmentos escolares que incluem o ensino das disciplinas científicas, isto é, o segundo segmento (de 5ª a 8ª série) do Ensino Fundamental, o ensino médio e universitário. Isto se deve, sem dúvida, a que estas pesquisas costumam ser desenvolvidas predominantemente por físicos, químicos e biólogos interessados em discutir processos educacionais, a ênfase recaindo sobre os segmentos de ensino que, por um lado, incluem disciplinas escolares nestas áreas de conhecimento e, por outro, contam com professores licenciados nestas áreas. É de se notar ainda que, neste processo, configura-se uma lógica investigativa que se centra nos conhecimentos específicos para, a partir deste núcleo, derivar as articulações necessárias com os sujeitos e os processos de ensino-aprendizagem (e esta lógica, vale notar, se choca frontalmente com a repetida recomendação de que a Educação Infantil, tanto do ponto de vista da pesquisa como das práticas pedagógicas, deve se estruturar em torno das necessidades e características das crianças como sujeitos plenos). Por isso, não é de se estranhar o reduzido número de publicações na área de educação em ciências que focalizam os anos iniciais da escola básica, ou ainda, a educação infantil.⁷

Apesar desta ressalva, não há como negar que é farta a literatura sobre o ensino e aprendizagem de diferentes noções, processos e pressupostos científicos. Mas um resultado sobressai: é deveras difícil aprender ciências! Entre os inúmeros obstáculos enfrentados pelos alunos de diversos níveis de ensino, há que se destacar a distância, que muitas vezes se configura como oposição, entre conhecimento científico e senso comum, este último constituindo a base de conhecimentos prévios com os quais os alunos se aproximam do universo científico (MATTHEWS, 1992, p. 24). Dito de outro modo, muitas descrições e explicações apresentadas pelas ciências são fundamentalmente contra-intuitivas, o que explica que, para muitos alunos, as aulas de ciências se configuram como um jogo quase 'esotérico' (MILLAR, 1991, p. 26). Neste contexto, destacam-se ainda duas características do processo de aprendizagem (DRIVER, 1988):

- os significados elaborados pelos alunos geralmente configuram conhecimentos locais, pontuais, fragmentados, muito mais que sistemas coerentes como as próprias teorias científicas; neste sentido, apontam para conhecimentos de domínio específico (isto é, de validade local);

- os processos cognitivos costumam se basear mais em dados perceptivos que em noções teóricas e abstratas.

O caráter marcadamente abstrato da atividade científica é aprofundado, por exemplo, por Matthews (1992). Buscando na história e filosofia da ciência as bases para uma caracterização da atividade científica, este pesquisador argumenta que a ciência não trata do mundo material que está a nossa volta, mas constrói objetos de estudo/investigação, e mais: "são diferentes os objetos reais do mundo e os objetos teóricos da ciência". (MATTHEWS, 1992, p. 26). Em outras palavras,

⁷ Se tomarmos como referência a revista *Investigações em Ensino de Ciências* (IEC, disponível no site <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>), publicação quadrimestral que é representativa da área, vemos que, dos artigos publicados entre 1996 e 2003, apenas três tratam dos anos iniciais do Ensino Fundamental e nenhum da Educação Infantil. Quando se analisam os trabalhos apresentados nos quatro ENPECs/Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, realizados a cada dois anos desde 1997, encontramos da ordem de 10 trabalhos focalizando as séries iniciais do Ensino Fundamental em cada ano e, por exemplo, no III ENPEC, dois trabalhos focalizam crianças em nível pré-escolar.

diz ele, as práticas científicas envolvem um processo de *'idealização'*, que consiste em definir objetos teóricos, processo este articulado às abstrações que buscam 'limpar' os fenômenos de seus ruídos, ao mesmo tempo que delimitando recortes. Além disso, é necessário considerar a dimensão de abstração presente na criação de entidades 'sem conteúdo', ou ainda, sem referente concreto (MILLAR, 1991). Finalmente, o caráter abstrato se evidencia quando a ciência visa alcançar generalizações, ou seja, formular leis e explicações que vão além de casos particulares, para isso recorrendo muitas vezes à matemática como poderosa ferramenta de trabalho.

Um comentário adicional sobre a abstração permite resgatar a dimensão dinâmica da abstração que, mais que uma característica presente ou ausente, se caracteriza como processo. Com efeito, reconhecendo a larga distância entre, de um lado, teorias abstratas e gerais e, de outro, realidades sempre específicas e particulares, os cientistas recorrem à criação de *modelos* que, envolvendo formalismos matemáticos e aspectos qualitativos relacionados ao campo experimental, possibilitam a elaboração de hipóteses simplificadoras sobre os fenômenos relevantes (NERSESSIAN, 1992; TIBERGHIE, 1994). Dito de outro modo, modelos indicam caminhos e pontes que permitem articular os sistemas teóricos, de alto nível de abstração/generalização, com os sistemas empíricos, multi-variados e sempre específicos; e a modelagem, por sua vez, se refere aos processos de formação e uso dos modelos. É relevante ainda que os processos de modelagem, isto é, de criação de modelos, tenham sido analisados a partir da noção de *'técnicas de abstração'* (entre as quais incluem-se as formas analógica e imagística de raciocínio), definidas como um mecanismo de construção de conhecimento (NERSESSIAN, 1992). Decorre dessa perspectiva que aprender ciências costuma exigir que se possa relacionar ambos os planos, teórico e empírico, ou ainda, o *'mundo das teorias e modelos'* é o *'mundo das coisas e eventos'* (BÉCU-ROBINAULT, 1997), para tanto fazendo uso de processos de modelagem.⁸

Pausa para balanço... As questões a enfrentar

Até agora, alcançamos algumas conclusões preliminares, que sistematizamos a seguir.

Começamos por reafirmar que é um equívoco afirmar que a criança é concreta. Na realidade, a abstração é processo que, como já apontava Piaget (1974), se inicia desde o nascimento. Mas também é problemática a afirmação de que a criança seria um pequeno cientista. A esse respeito, Harris (1994) comenta as falsas analogias e similaridades negligenciadas entre pensamento infantil e pensamento científico, que decorrem da não diferenciação entre processos cognitivos de cientistas individuais e a face pública da ciência, que se constitui em atividade coletiva altamente especializada e resulta de uma reconstrução

⁸ Uma outra perspectiva de análise focaliza os *modelos mentais*, definidos como uma versão individual resultante da interpretação dos modelos científicos (FRANCO e COLINVAUX, 2000).

racional que obedece a princípios de economia teórica e corrigibilidade para elaborar explicações causais que rejeitam interpretações mágicas. Para ele, adotar os traços cognitivos da face pública da ciência para descrever o pensamento infantil acaba por gerar falsas analogias bem como uma descrição pobre do desenvolvimento cognitivo das crianças. Mas, ao focalizar cientistas individuais, semelhanças podem ser evidenciadas na medida em que cientistas, como crianças, apresentam processos cognitivos variados que se afastam dos princípios característicos da face pública da ciência. É interessante que, de modo análogo, a pesquisa em educação em ciências também tem problematizado a aproximação entre alunos e cientistas. Com efeito, se a metáfora do aluno como cientista foi fundadora de uma perspectiva de pesquisa que, a partir do final dos anos 70, permitiu delinear uma visão ‘em positivo’ do aluno e de seus processos de aprendizagem, hoje já é consensual que aprender ciências na escola não se confunde com fazer ciências nos laboratórios: são de fato marcadamente diferentes os objetivos, as regras e os contextos da produção científica e dos processos escolares de ensino-aprendizagem de ciências.⁹

Em outras palavras, o cenário atual de pesquisa apresenta uma criança que pensa e, mais que isso, que pensa bem. Desde cedo, então, a criança dispõe de recursos cognitivos variados, tais como observação, formulação e teste de hipóteses, processos de generalização e abstração. A precocidade atestada pelos diferentes estudos com bebês e crianças pequenas aponta assim para a existência de capacidades cognitivas básicas que se desenvolvem naturalmente e, por essas razões, são universais. Mas a afirmação da existência de universais cognitivos básicos, como os aqui apontados, não é suficiente para explicar, por exemplo, a ocorrência de desempenhos diferenciados em situações variadas, ou ainda, o problema antes assinalado das dificuldades em aprender ciências. Dito de outra maneira, a pergunta é: se todos, desde cedo, observam e inferem, formulam e testam hipóteses, e dominam diversos processos que são definidores da atividade científica, por que então a ciência continua lhes parecendo um jogo esotérico de difícil – senão impossível – compreensão? A resposta é que, para além de universais cognitivos básicos, é necessário acrescentar competências e habilidades específicas, referidas, em nosso caso, à cultura científica. A título de exemplo, podemos mencionar o processo de observação que, no contexto da atividade científica, obedece a determinadas regras, a começar pela delimitação do sistema a ser observado, que pode variar com base em quadros teóricos diferentes. É por essa razão, aliás, que Matthews (1992, p. 25) afirma: “existem habilidades de observação que precisam ser desenvolvidas na educação em ciências”. Da mesma forma, os demais universais cognitivos irão depender de aprendizagens específicas e organizadas para se transformar em ferramentas propriamente científicas.

Mas como proceder? Essa pergunta, que assim formulada se situa no terreno prático da intervenção educativa, também se mostra relevante do ponto de vista da pesquisa. Neste balanço, queremos então pontuar uma questão que é válida tanto do ponto de vista da intervenção junto a crianças pequenas, como em termos da condução de nossas investigações. Trata-se da diferença entre ensinar

⁹ A esse respeito, é relevante lembrar a forma interrogativa: *The pupil as scientist?* do título de uma publicação inauguradora das pesquisas em educação em ciências (DRIVER, 1983).

conteúdos de ciências, esta expressão dos meios educativos que geralmente privilegia os produtos da atividade científica, e promover o desenvolvimento de processos e procedimentos, ou ainda, de *práticas intelectuais e materiais*, para usar a rica expressão de Jenkins (1999a). A esse respeito, não é demais lembrar que os próprios cientistas, assim como os pesquisadores voltados para o ensino-aprendizagem das ciências naturais, têm enfatizado a dimensão procedimental da atividade científica. Do mesmo modo, a investigação psicológica dedicada à cognição infantil tem operado uma mudança de enfoque que vale a pena ressaltar. Com efeito, relativizando uma abordagem centrada na caracterização de estruturas cognitivas que, como diz Inhelder (1987, p. 671) “permite determinar em grandes linhas os limites inferiores e superiores dos conhecimentos construídos pelo sujeito epistêmico nos diversos níveis de seu desenvolvimento”, um número cada vez maior de estudos tem se proposto a examinar o funcionamento cognitivo da criança pequena. Ainda com as palavras de Inhelder (op.cit, p. 671), o foco neste caso recai nos “processos de descoberta e invenção do sujeito psicológico, isto é os mecanismos funcionais em jogo nas estratégias próprias a cada sujeito individual nos diversos níveis de sua compreensão do real“. Esta abordagem busca captar os movimentos do pensamento, ou ainda, o pensamento ‘em ação’, evidenciando estratégias e procedimentos, ou ainda o saber-fazer envolvido na resolução de uma tarefa, elementos que, como diz Puche-Navarro (2003), permitem ‘descompactar’ a mente infantil.

A perspectiva assim delineada prioriza processos ao invés de produtos, com base em uma idéia de ciência como um conjunto de práticas intelectuais e materiais, e assinala processos e procedimentos cognitivos variados que, exercidos, podem se desenvolver, ganhando em complexidade e sofisticação. É importante explicitar que não se trata de ‘escolarizar’ a educação infantil, formulando propostas que visam ensinar conteúdos que remetem a sistemas conceituais mais ou menos fixos e estáveis, nem tampouco treinar crianças para usar procedimentos que, supostamente, definiriam uma abordagem científica... A seguir, tentamos delinear uma iniciação às ciências que se estrutura a partir da criança.

Ciências e crianças: buscando aproximações, construindo caminhos

Para pensar caminhos de uma iniciação às ciências para crianças pequenas, nos inspiramos de uma interessante proposta de pesquisadores italianos que, a partir de seu trabalho com professores da escola básica, se dedicam a este tema. Para Arcà, Guidoni e Mazzoli¹⁰ (1990), uma “educação científica de base” tem por objetivo: desenvolver *modos de observar* a realidade, e *modos de se relacionar* com a realidade [...] o que implica e supõe modos de pensar, modos de falar, e modos de fazer, mas sobretudo, a capacidade de juntar todos estes aspectos (ARCÀ, GUIDONI, MAZZOLI, 1990, p. 24-25, ênfase no original).

¹⁰ É interessante notar que os autores são ‘cientistas’:

Arcà é bióloga de formação, enquanto Guidoni e Mazzoli são físicos.

Delineando um quadro teórico: experiência, linguagem, conhecimento¹¹

Focalizando modos de pensar, modos de falar e modos de fazer, delinea-se um quadro teórico que se assenta em três planos: experiência, linguagem e conhecimento, que “*coexistem e se encontram em fortíssima tensão recíproca, ademais de em estreita correspondência*” (op.cit., p. 27). É com base nestas três esferas que se desenvolvem os processos cognitivos mais gerais – os universais cognitivos básicos de que falávamos anteriormente – assim como os processos mais específicos de construção de conhecimentos científicos. O plano da linguagem diz respeito a modos de representação, que incluem desde palavras até desenhos e outras formas de imagens, como tabelas e gráficos, apontando portanto para modos de falar e dizer. A experiência é “*aquilo que se vive em interação direta com a realidade*” (op.cit., p. 28), está associada a modos de fazer e, às vezes, permanece indizível. O conhecimento, por sua vez, implica em modos de pensar; alimenta-se simultaneamente da linguagem e da experiência, sem com elas se confundir (ou a elas se reduzir):

A partir do nível da experiência, através de uma linguagem feita de palavras e de representações (e sem linguagem, [isso] não seria possível), pode-se, portanto, construir e controlar algo (e a isso chamamos de conhecimento), separado tanto da experiência como da linguagem; que não se identifica nem com o fato individual nem com as palavras que o descrevem; que é comunicável a outras pessoas, que se pode estender a outros fatos, modificar como consequência de outras experiências... (op.cit., p. 28).

Finalmente, passando para o plano da intervenção educativa, os autores argumentam que é necessário reconhecer que “*de qualquer modo*” se adquire experiência e dela se fala, que “*de qualquer modo*” usam-se conhecimentos que já existem – seja no repertório individual, seja no contexto coletivo (op.cit., p. 30). Portanto, a questão central para a educação reside em promover a aprendizagem de *novas* linguagens, *novas* experiências, *novos* conhecimentos, tomando como base as experiências, linguagens e conhecimentos da vida cotidiana, mas para ampliá-los e especificá-los.

Em nosso entender, este quadro teórico tem o mérito de, em primeiro lugar, contribuir para organizar a reflexão sobre os processos psicológicos e escolares de formação de conhecimentos na área das ciências naturais, quando postula os três planos da experiência, linguagem e conhecimento. Em segundo lugar, aponta para a indissociabilidade entre esses três planos, tanto do ponto de vista da pesquisa como da intervenção educativa. E, em terceiro lugar, destaca a experiência em sua autonomia relativa frente à linguagem e ao conhecimento. Não é demais insistir na explicitação dessa dimensão, no contexto atual de semiotização quase absoluta da conduta e psiquismo humanos. Mais ainda, o plano da experiência, concebida como modo de fazer, como relação direta com o mundo material, possibilita uma retomada de uma característica definidora das ciências naturais que, vale lembrar, também são chamadas *ciências experimentais* (ainda que essa expressão seja mais comum em outras línguas como

¹¹ Estes mesmos autores desenvolvem estas idéias em um artigo intitulado “Structures of understanding at the roots of Science Education/Part I” (ARCÁ, GUIDONI, MAZZOLI, 1983).

o espanhol ou o francês). Este tema, norteador de um possível caminho para uma iniciação às ciências, é discutido a seguir.

Experimentação: uma aproximação entre ciências e crianças

O caráter marcadamente abstrato e geral das teorias científicas é reconhecido pelos próprios cientistas que, como vimos anteriormente, recorrem a modelos como elemento intermediário entre teorias e fenômenos empíricos, ou ainda, como ferramenta que indica pontes e caminhos para articular ambos os planos. Assim, os processos de formação e uso de modelos, definidos como modelagem, se constituem em característica definidora da atividade científica. E mais, na medida em que a modelagem supõe e exige uma estreita articulação entre o mundo abstrato das idéias e teorias e o mundo concreto dos objetos e eventos, torna-se fundamental a interação do cientista com a realidade, o que costuma ocorrer nos laboratórios por meio da experimentação. A idéia de experimentação, central para as práticas intelectuais e materiais no campo das ciências naturais, está diretamente relacionada à metáfora da ciência como interrogação da natureza (GINGRAS & GODIN, 1997). Com esta metáfora, evidencia-se o papel ativo do cientista que, sujeito da ação de interrogar, não se contenta em observar a natureza, mas nela busca intervir, provocando-a, através da experimentação, a manifestar-se. A experimentação, então, diferentemente da observação da realidade tal qual ela se apresenta, implica em “*provocar fenômenos novos, de modo artificial, por meio de instrumentos*” (op. cit., p. 151), possibilitando desse modo o teste de hipóteses e contribuindo diretamente para o avanço do conhecimento científico.

A experimentação também foi abordada no contexto da psicologia infantil, por dois clássicos estudos piagetianos que discutem o aparecimento, na criança e adolescente, de condutas experimentais e processos de descoberta. O primeiro estudo, de Barbel Inhelder, é datado de 1954 e investiga “*Les attitudes expérimentales de l'enfant et de l'adolescent*” (INHELDER, 1954). Neste estudo, são apresentadas a crianças e adolescentes situações lúdicas diversas, tais como desafios cuja resolução consiste em uma ação (alcançar um alvo, produzir situações de equilíbrio), bem como a descoberta de uma lei física, caracterizada como ‘a descoberta de invariantes físicos’ (op. cit., p. 273).¹² O segundo artigo, de Annette Karmiloff-Smith e Barbel Inhelder, situa-se na continuidade do primeiro, embora com um intervalo de 20 anos. Intitulado “*If you want to get ahead, get a theory*” (KARMILOFF-SMITH e INHELDER, 1974/5), este estudo aborda os processos infantis de descoberta, mostrando como crianças interrogam, com suas ações, um dispositivo material que configura uma situação-problema: equilibrar massas de formas diversas, cujo peso é distribuído de modo não uniforme.

Do artigo de Inhelder (1954), obtemos uma rica descrição das principais condutas de crianças e adolescentes quando estão interagindo com um dispositivo material,

¹² Não é demais lembrar a relação direta entre este artigo e a publicação, por Inhelder e Piaget, do livro sobre operações formais: *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent* (Paris, PUF, 1955) que, aliás, apresenta detalhadamente as situações-problema empregadas bem como as condutas observadas que são tratadas no artigo.

assim configurando, como vemos a seguir, uma gênese da experimentação. Os resultados obtidos indicam, então, três etapas principais do desenvolvimento da experimentação. Na primeira, a criança pequena, de 04 até 6 ou 7 anos, costuma “agir para ver o que acontece” [*activité pour voir*], demonstrando “vivo prazer em agir sobre o dispositivo e ver o que se produz, embora não aprenda nada em função da experiência em si” (op.cit., p. 279). Dito de outro modo, a interação da criança com os objetos parece mais ligada ao prazer da ação do que à busca de compreensão do que se passa e de como se passa. Em uma segunda etapa, que caracteriza a conduta da criança com 7 anos e mais, a busca de sucesso na ação, isto é, de uma intervenção eficaz para alcançar um objetivo prático, parece requerer e orientar processos de descoberta acerca do funcionamento do dispositivo. Nos termos de Inhelder, a criança se envolve com a “*descoberta de leis práticas*” e relações de causa-efeito, sendo ilustrativa desta atitude a afirmação infantil: “*gostaria de saber como funciona a máquina*” (op.cit., p. 279). O adolescente, finalmente, parece ocupar-se com a busca de uma verdade, na forma de uma lei geral, e já não se contenta com uma intervenção eficaz sobre o dispositivo. Nas palavras de Inhelder, o adolescente “*interroga o dispositivo, aborda-o com uma série de questões. Sua pesquisa toma cada vez mais a forma de um diálogo com a experiência*”. É expressão desta atitude a afirmação dos adolescentes: “*tenho uma teoria mas não vou revelá-la ainda. Quero verificá-la.*” (op.cit., p. 280).

No segundo artigo, publicado 20 anos depois por Karmiloff-Smith & Inhelder (1974/5), permanece a questão de investigar condutas infantis orientadas a um objetivo prático [*goal-oriented behaviour*], embora com algumas diferenças. Não se trata mais de identificar as grandes etapas (e estruturas) de desenvolvimento associadas à compreensão de leis físicas, mas sim de caracterizar o funcionamento cognitivo ‘em ação’, isto é, ocorrendo em tempo real a propósito de uma situação específica, escolhida de modo a evidenciar os processos de descoberta da criança. Em outras palavras, o enfoque “*genético-estruturalista*” (DUCRET, 1984, p. 6), que buscava caracterizar a gênese psicológica das estruturas cognitivas, cede lugar para a investigação do funcionamento cognitivo, isto é, do pensar-em-ação, em sua dinâmica de processo e suas conquistas microgenéticas. Resulta dessa configuração teórico-metodológica que a análise das condutas infantis é muito mais minuciosa, possibilitando inferir, a partir das ações sobre o dispositivo, os motivos e objetivos que as orientam bem como as conquistas epistêmicas daí decorrentes.

Além disso, a mudança de enfoque operada em 1974/5 implica em repensar a própria idéia de seqüência e hierarquia das condutas. Por um lado, não há como negar a hierarquia intrínseca às condutas observadas: como não reconhecer que uma coisa é *brincar* com aparelhos, máquinas, instrumentos etc, mas é outra bem diferente, certamente mais sofisticada, buscar compreender como *funciona* um dispositivo? Mas, por outro, abrem-se possibilidades interpretativas alternativas à visão seqüencial decorrente do enfoque genético-estruturalista, visão esta geralmente associada pelos educadores à prontidão para aprender isto ou aquilo (COLINVAUX, 2000). Nesta ótica, as diversas condutas comporiam um *kit de ferramentas* que poderiam ser usadas alternadamente por um mesmo sujeito, seja uma criança, um adolescente ou um adulto. Neste contexto, examinamos a seguir as condutas de experimentação, cotejando a descrição de 1954 e a

interpretação de 1974/5. Para nortear nossas reflexões, começaremos discutindo se a conduta "agir para ver" constitui uma experimentação, tal como anteriormente conceituada.

Em 1954, a conduta que consiste em 'agir para ver', ou ainda *mexer para ver o que acontece*, é descrita como se as ações sobre o objeto não obedecessem a um objetivo preciso. Aparentemente, não há interrogações norteadoras da ação, não há perguntas a responder. Toda descoberta que desta ação surgisse se daria então ao acaso. Portanto, poderíamos (deveríamos?) argumentar que esta não é, propriamente, uma conduta de experimentação nos sentidos acima definidos de uma busca orientada à compreensão (INHELDER, 1954), ou da produção de um fenômeno novo (GINGRAS e GODIN, 1997). No entanto, ainda que a descrição de Inhelder em 1954 possa parecer lacônica, como se a conduta observada não fosse de grande utilidade, não podemos deixar de registrar o sentimento de familiaridade que ela nos desperta, como a lembrar algo que nos tenha ocorrido pessoalmente, o que observamos em outros, aliás tanto adultos como crianças, face a uma máquina, fenômeno ou evento pouco familiar. Nossa hipótese, então, é que esta estratégia seria concebida como um precursor à experimentação.

Já em 1974/5, a conduta de 'agir para ver' é descrita em seus aspectos mais positivos. Em particular é ressignificada, não mais como conduta isolada, que por ser lúdica pareceria não levar a nada, mas como estratégia que se articula a outras. Com efeito, os resultados obtidos neste novo estudo mostram como as condutas infantis oscilam "entre a busca por alcançar o objetivo [equilibrar um determinado bloco] e a busca consistindo em 'interrogar' o material" (KARMILOFF-SMITH e INHELDER, 1974/5, p. 201).

A análise das interrogações infantis mostra que elas ocorrem tanto em situações de êxito como de fracasso. Neste último caso, como era de se esperar, o fracasso enseja ações cada vez mais sistemáticas visando conhecer as propriedades dos diferentes blocos. Em outras palavras, o fracasso da ação "muda o foco da atenção infantil para os meios, isto é, 'como obter equilíbrio'. Neste momento, assistimos à experimentação pela experimentação, porque focalizar os meios implica em buscar conhecimento sobre o conjunto de ações possíveis sobre um objeto." (op.cit., p. 207-208).

Mas é notável que a interrogação do material, ao contrário do que poderíamos supor, não ocorre apenas como resposta ao fracasso da ação (isto é, quando a criança não consegue equilibrar algum bloco), mas também em situações de êxito. São curiosas as ações de exploração/experimentação que perduram mesmo quando o objetivo é alcançado: com efeito, se a tarefa já foi resolvida, por que a criança continua a agir sobre o material? A hipótese avançada por Karmiloff-Smith e Inhelder (1974/5, p. 201) é de que a criança busca estabelecer um "catálogo das diferentes ações que pode efetuar sobre os blocos" (op.cit., 1974/5, p. 201), o que não deixa de constituir uma interrogação. Além disso, é necessário registrar que esta estratégia de interrogação, que permanece apesar do objetivo ter sido alcançado, tende a ocorrer entre crianças menores, as maiores interrompem sua exploração assim que são bem sucedidas em sua ação.

O estudo de 1974/5 aponta, portanto, que as condutas ‘para ver’, ou ainda as ações de exploração das características do material, já observadas em 1954, se não parecem se estruturar para responder a determinadas perguntas, promovem assim mesmo uma compreensão *a posteriori* dos resultados da ação própria. A interpretação proposta pelas autoras é que ações bem sucedidas levam a generalizações que, por sua vez, são a base de uma *teoria-em-ação* - portanto, será somente a partir deste momento que poderão ser reconhecidos e considerados os contra-exemplos, cujo papel, é fundamental para fazer avançar o conhecimento. Do ponto de vista do funcionamento cognitivo, os resultados sugerem assim que “a tendência em explicar fenômenos por meio de uma teoria unificada, a mais geral ou simples possível, parece ser um aspecto natural do processo criativo, tanto para a criança como para o cientista” (KARMILOFF-SMITH e INHELDER, 1974/5, p. 209). Assim, apesar da distinção estabelecida entre a estratégia que visa apenas o sucesso na ação e aquela orientada a compreender a situação para nela intervir eficazmente, a primeira, orientada para o sucesso prático em alcançar um objetivo, permite gerar conhecimento, ainda que se trate de uma ‘teoria-em-ação’.

A título de conclusão: experiência, experimentação e iniciação às ciências

Os estudos sobre condutas infantis de experimentação mostram que, desde cedo, à semelhança dos cientistas, crianças interrogam a realidade e dessa forma constroem seus conhecimentos. Além disso, tais processos cognitivos se originam e desenvolvem a partir de uma interação com a realidade, o que permite confirmar a centralidade da noção de experiência tal como definida por Arcá, Guidoni & Mazzoli, experiência que parece então se configurar como base da conduta de experimentação que acabamos de analisar. Finalmente, há que se destacar que as noções de experiência e experimentação também são coerentes com a concepção de ciências aqui privilegiada, aquela que entende a atividade científica como um conjunto amplo e disperso de práticas intelectuais e materiais.

Nesta direção, a idéia de experimentação sugere um fértil caminho para propor atividades de iniciação às ciências para crianças pequenas. É relevante ainda esclarecer que não se trata de *escolarizar* as práticas de educação infantil, visando ensinar os conteúdos de ciências para preparar as crianças pequenas para as séries iniciais do Ensino Fundamental. Ao contrário, trata-se de promover situações e atividades que permitam a criança pequena entrar em contato, interagir e experimentar com o mundo que a cerca e, assim fazendo, exercer seus processos cognitivos. Dito de outro modo, este caminho supõe inverter a lógica própria da pesquisa em educação em ciências, centrada nos conteúdos a ensinar. Na pesquisa como nas práticas pedagógicas aqui apontadas, educadores se aliam às crianças para, juntos, começar a descobrir o fascinante mundo das ciências.

Referências

ARCÁ, M.; GUIDONI, P.; MAZZOLI, P. Structures of understanding at the roots of Science Education. *European [agora International] Journal of Science Education*, p.5367-375, 1983.

ARCÁ, M.; GUIDONI, P.; MAZZOLI, P. **Enseñar ciencia: Cómo empezar reflexiones para una educación científica de base**. Buenos Aires, Paidós, 1990.

BANKS-LEITE, L. A perspectiva genética em psicologia: Aspectos das teorias de Wallon e Piaget. *Pró-Posições*, 12 (2-3), p.170-182, 2001.

BÉCU-ROBINAULT, K. Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels: Introduction expérimentale du concept de puissance. *Didaskalia (Recherches sur la Communication et l'Apprentissage des Sciences et des Techniques)*, Lyon, 11, p.7-37, 1997.

BEE, H. **A criança em desenvolvimento**. 7.ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

CAREY, S. Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41, p.1123-1130, 1986.

COLINVAUX, D. (no prelo) **Formación de conceptos: Reviendo el debate Piaget/Vygotsky**

_____. Modelos, herramientas científicas y experimentación: Aproximación entre la didáctica de las ciencias naturales y la psicología del niño. In: PUCHE-NAVARRO, R. (Org) **El niño que piensa y vuelve a pensar**. Santiago de Cali: Artes Gráficas del Valle, 2003a, p.87-197.

_____. Brincar para conhecer: A experimentação da criança pequena. Comunicação apresentada no **IV CBPD/Congresso Brasileiro de Psicologia do Desenvolvimento**, João Pessoa, Maio, 2003b.

_____. Piaget na terra de Lilliput: Reflexões piagetianas sobre a educação. **Movimento: Revista da Faculdade de Educação da UFF**, 1, p.130-144, 2000.

COLL, C.; PALACIOS, J.; MARCHESI, A. (Orgs) **Desenvolvimento psicologico e educação: Vol I - Psicologia Evolutiva**. Porto Alegre: Artmed, 1995.

DRIVER, R. **The pupil as scientist?** Milton Keynes, The Open University Press, 1983.

_____. Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6 (2), p.109-120, 1988.

DUCRET, J. J. **Jean Piaget: Savant et philosophe**. vol.I. Genève/Paris, Droz, 1984.

FLAVELL, J. H.; MILLER, P. H.; MILLER, A. S. **Cognitive development**. 4th ed. New Jersey, Prentice Hall, 2002.

FRANCO, C.; COLINVAUX, D. Grasping mental models. In: GILBERT, J. K.; BOULTER, C. J. (Eds). **Developing models in science education**. Dordrecht, Kluwer, p.93-118, 2000.

GINGRAS, Y.; GODIN, B. Expérimentation, instrumentation et argumentation. *Didaskalia: Recherches sur la communication et l'apprentissage des sciences et des techniques*, 11, p.149-160, 1997.

HARRIS, P. Thinking by children and scientists: False analogies and neglected similarities. In: HIRSCHFELD, L. A.; GELMAN, S. A. **Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture**. Cambridge University Press, p.294-315, 1994.

INHELDER, B. Les attitudes expérimentales de l'enfant et de l'adolescent. **Bulletin de Psychologie**, 7 (5), p.272-282, 1954.

INHELDER, B. Des structures aux processus. In: PIAGET, J.; MOUNOUD, P.; BRONCKART, J. P. (Org.) **Psychologie: Encyclopédie de La Pléiade**. Paris, Gallimard, 1987.

JENKINS, E. W. Practical work in school science: Some questions to be answered. In: LEACH, J.; PAULSEN, A. C. (Eds) **Practical Work in Science Education: Recent Research Studies**. Dordrecht: Roskilde University Press & Kluwer, 1999a.

_____. School Science, citizenship and the public understanding of science. **International Journal of Science Education**, 21 (7), p.703-710, 1999b.

KARMILOFF-SMITH, A.; INHELDER, B. If you want to get ahead, get a theory. **Cognition**, 3 (3), p.195-212, 1976.

KUHN, T. **The structure of scientific revolutions**. 2nd ed. Chicago, The University of Chicago Press, 1974.

MATTHEWS, M. History, philosophy and science teaching: The present rapprochement. **Science & Education**, 1, p.11-47, 1992.

METZ, K. Scientific inquiry within reach of young children. In: FRASER, B. J.; TOBIN, K. G. (Eds) **International Handbook of Science Education (Part One)**. Dordrecht, Kluwer Academic Press, p. 81-96, 1998.

MILLAR, R. Why is science hard to learn? **Journal of Computer Assisted Learning**, 7(2), p.66-74, 1991.

_____. Students' understanding of the procedures of scientific enquiry. In: TIBERGHIE, A.; JOSSEM, E. L.; BAROJAS, J. (Eds) **Connecting Research in Physics Education with Teacher Education**, an ICPE Book, 1998.

MORALES, O. O.; BUSTAMANTE, L. G. Habilidades para la comprensión y el razonamiento científico en el niño: Una revisión bibliográfica. In: PUCHE-NAVARRO, R. (Org.) **Formación de herramientas científicas en el niño pequeño**. Bogotá, Arango Editores, p.141-182, 2000.

NERSESSIAN, N. How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In: GIÈRE, R. N. (Ed.) **Cognitive models of science (Minnesota Studies in the Philosophy of Science, Vol. XV)**. Minneapolis, University of Minnesota Press, 1992.

PIAGET, J. **Recherches sur l'abstraction réfléchissante**. 2.vol. Paris: PUF, 1974.

_____. Gênese e estrutura na psicologia da inteligência. In: PIAGET, J. **Seis estudos de psicologia**. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1964/1993.

PUCHE-NAVARRO, R. **Formación de herramientas científicas en el niño pequeño**. Bogotá, Arango Editores, 2000.

_____. La actividad mental del niño: Una propuesta de estudio. In: OROZCO HORMAGA, B. C. (Org.) **El niño: científico, lector y escritor, matemático**. Santiago de Cali: Artes Gráficas del Valle, p.17-40, 2003.

TIBERGHIE, A. Modelling as a basis for analysing teaching-learning strategies. **Learning and Instruction**, 4, p.71-82, 1994.

VYGOSTKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

WERTSCH, J. The role of abstract rationality in Vygotsky's image of mind. In: TRYPHON, A.; VONECHE, J. (Eds) **Piaget-Vygotsky: The social genesis of thought**. Hove (UK), Psychology Press, p.25-43, 1996.

WALLON, H. **A evolução psicológica da criança**. Rio de Janeiro: Editorial Andes, 1941/sd.