

# **Abordagem instrumental da aprendizagem de matemática mediada por materiais pedagógicos<sup>1</sup>**

*Prof. Dr. Alex Sandro Gomes<sup>2</sup>*

## **Resumo**

Esse artigo descreve um modelo de análise da ação com artefatos computacionais e da aprendizagem a partir de um modelo construtivista de cognição que desenvolvemos enquanto tema de nossa tese de doutorado. Partimos da definição do conceito de instrumentos proposto por Rabardel (1995) e as definições de esquema de ação e conceito propostos por Vergnaud (1990, 1997) para definir um novo modelo de instrumentos enquanto entidade mista que relacione artefatos e esquemas mentais e que nos permita analisar a aprendizagem de um conteúdo específico. Nesse trabalho, demonstraremos como esse modelo foi utilizado para analisar o desenvolvimento conceitual consecutivo à utilização de um software de geometria dinâmica, *Cabri Géomètre*.

## **Introdução**

O objetivo desta pesquisa é desenvolver, refinar e aplicar um modelo teórico que relacione aspectos do uso de materiais e o desenvolvimento cognitivo relativo à aprendizagem de conceitos matemáticos que é consecutivo a esse uso. Vergnaud (1990) redefine o conceito de esquema introduzido por Piaget nos anos 30 fazendo a hipótese que a representação prévias às ações dos sujeitos contêm elementos que seriam equivalentes à propriedades particulares de conceitos matemáticos. Esses elementos, ditos invariantes operacionais, correspondem a fragmentos de conhecimentos que se organizam relacionados uns aos outros formando campos de conhecimentos, ou conceituais. A partir desse modelo, é possível realizar a análise da aprendizagem de matemática em longo prazo, mas é impossível com esse modelo relacionar, mesmo que de forma difusa, aspectos da ação com materiais pedagógicos e

---

<sup>1</sup> Projeto financiado pelo CNPq.

<sup>2</sup> Centro de Informática, Universidade Federal de Pernambuco, asg@cin.ufpe.br.

a aprendizagem. A questão do desenvolvimento que é consecutivo ao uso de materiais pedagógicos é mais bem respondida a partir de um modelo que relacione em sua lógica interna os materiais e a cognição. Rabardel (1995), partindo do conceito de esquema, define o conceito de instrumento como sendo a combinação de um esquema (cognição) e de um artefato (material pedagógico). Esse modelo descreve como os esquemas podem tornar-se cada vez mais especializado no uso de um material pedagógico. Observa-se novamente que não há como aplicar esse modelo na análise da aprendizagem consecutiva ao uso de materiais pedagógicos. O tratamento ao problema particular da relação entre o uso dos materiais e a aprendizagem matemática consecutiva necessita de um modelo teórico que relacione ao mesmo tempo: a organização das ações dos sujeitos, uma representação dos conhecimentos adquiridos pelos sujeitos e empregados no momento das ações e os materiais, em suas propriedades e funções intrínsecas e atribuídas pelos sujeitos. Pelo fato das duas teorias descritas acima compartilharem alguns de seus elementos e princípios teóricos, é possível articular ambas para construir um novo modelo de instrumento que abarque em sua definição elementos de conhecimentos matemáticos.

## **Relação entre o uso de artefatos computacionais e aprendizagem**

Poucas abordagens no campo da psicologia do desenvolvimento mostram com precisão a relação entre a aprendizagem ao uso de sistemas de instrumentos e o desenvolvimento conceitual consecutivo a esse uso que é experimentado pelos indivíduos (Wertsch, 1985; Meira, 1998). No modelo proposto pela teoria sociocultural, a ação mediada por artefatos (signo) produz a emergência de uma ferramenta mental superior (instrumento), equivalente ao artefato, num processo conhecido como internalização (Vygotsky, 1930/1985, 1985; Wertsch, 1985). Esse conceito não descreve de forma clara a relação entre ação instrumental e desenvolvimento conceitual. Em contrapartida, as teorias construtivistas abordam o problema preocupando-se com as reorganizações sucessivas de esquemas (*esquemas*) (Piaget e Inhelder, 1989) e em alguns casos observando apenas o desenvolvimento conceitual que emerge (Vergnaud, 1997), sem, no entanto estabelecer uma relação direta entre os dois lados do desenvolvimento conceitual consecutivo ao uso de um instrumento. Acreditamos haver necessidade de uma apresentação sistemática da relação entre a

ação com instrumentos e o desenvolvimento conceitual. Para tratar o problema de forma completa, estamos propondo um modelo que articula duas abordagens construtivistas distintas. A primeira delas, uma teoria sobre a formação de conceitos – Teoria dos Campos Conceituais (Vergnaud, 1997) - e a Segunda, uma teoria acerca da gênese de instrumentos, i.e., da adaptação dos indivíduos ao uso de novos artefatos, computacionais entre outros (Mounoud, 1970; Rabardel, 1995). A partir desse novo modelo, podemos tratar diretamente o problema do desenvolvimento conceitual consecutivo ao uso de artefatos computacionais diversos.

### **Definição de conceito e análise da aprendizagem**

Nesse sentido, afirmamos que qualquer análise *a priori* de materiais destinados ao ensino de conteúdos diversos não responde a pergunta do desenvolvimento conceitual consecutivo ao seu uso (Gomes, 1999; Meira, 1998). Um dos motivos é que uma avaliação fora do contexto de uso de um artefato corresponde a uma visão de especialista e não a visão de um indivíduo que está aprendendo a usar o sistema, e/ou aprendendo conceitos que estejam sendo veiculados com uma ferramenta.

Adotamos ainda a hipótese construtivista de que a cognição humana adapta-se as novas situações. Essa adaptação é possível devido à existência de esquemas, cuja dinâmica de funcionamento permite aos indivíduos assimilarem aspectos das situações e dialeticamente acomodarem-se a esses aspectos (Piaget e Inhelder, 1989). O esquema é a unidade de análise que adotamos para analisar a organização de ações relacionas com uma situação, um instrumento, um problema ou uma interação social. Definimos esquema como sendo *uma organização invariante da atividade*. No processo de análise, descrevemos seqüências de passos realizados que sejam resultantes da adaptação do indivíduo ao uso de um artefato.

Com relação ao desenvolvimento conceitual, partimos do pressuposto de que um conceito é apreendido pelos indivíduos quando os mesmos dominam três conjuntos de fatores relacionados com esses conceitos, a saber: a) um conjunto de representações simbólicas que são socialmente usados para veicular idéias sobre o conceito, b) um conjunto de invariantes operacionais ou de propriedades do conceito, e c) um conjunto de situações que dão sentido aos conceitos (Vergnaud, 1997). Quando os indivíduos começam a dominar essas dimensões de um conceito o mesmo começa a fazer-lhe

sentido. Em outras palavras, o conceito é progressivamente apreendido na medida em que os indivíduos dominam mais e mais as propriedades do conceito, as formas possíveis de representação e as relações com situações diversas. Aprender a lidar com um conceito significa ter apreendido um determinado número de invariantes relativos a esse conceito. Esse aprendizado ocorre em longo prazo e, durante muito tempo, de forma intuitiva. O desenvolvimento das representações, invariantes e situações do conceito, não ocorre de forma estanque. Pelo contrário, mobilizamos invariantes relativos a um conceito em situações específicas e essa mobilização dá-se mediada por artefatos culturais. Esses três conjuntos de componentes dos conceitos desenvolvem-se ao mesmo tempo e as relações que estabelecemos entre eles. É importante ressaltar o fato de que os conceitos não fazem sentido isoladamente para os indivíduos. Eles coexistem numa rede de conceitos denominada *campo conceitual*.

É importante, em pesquisas sobre aprendizagem mediada e informática educativa, desenvolver técnicas de análise que permitam descrever, ou ao menos mapear a forma como essas três dimensões constituintes de um conceito emergem ao longo do desenvolvimento cognitivo dos sujeitos. Da forma como Vergnaud (1990, 1997) define o conceito de esquema, introduzindo elementos internos que constituem os esquemas, é possível realizar a análise do desenvolvimento conceitual consecutivo a adaptações dos indivíduos a novas situações. Essa análise é possível graças à admissão da existência de um componente interno ao esquema que seria responsável por representar o conhecimento, por exemplo, o conhecimento matemático. Esse elemento foi denominado de *invariante operacional*. A hipótese da existência desse elemento no funcionamento do esquema piagetiano permite realizar inferências acerca dos conhecimentos subjacentes às organizações das ações dos indivíduos. Em particular, podemos inferir acerca do conhecimento matemático que é subjacente à organização da ação com artefatos. Esses invariantes podem representar conhecimentos verdadeiros ou falsos, servindo assim a identificação da conceitualização subjacente às ações dos sujeitos. Esse elemento é a uma unidade de análise que serve para descrever o conhecimento subjacente à ação.

## Uso de interfaces computacionais e aprendizagem

Para analisar a forma como interfaces computacionais promovem o desenvolvimento cognitivo dos sujeitos e sua contribuição à aprendizagem de conceitos, partimos do princípio que a cognição humana adapta-se às situações segundo um processo dialético. O elemento teórico central de nossa análise, como vimos acima, é o conceito de esquema definido por Piaget.

Além do conceito de esquema, utilizamos ainda o conceito de instrumentos assim como definido por Rabardel (1995). Segundo esse autor, e contrário a definição do senso comum, o conceito de instrumento representa a combinação de um esquema e de um artefato. Este último refere-se a artefatos como, por exemplo, partes de uma interface computacional. Rabardel define instrumento como sendo uma entidade mista definida a partir da associação entre duas entidades. A primeira delas, o artefato, trata-se o meio através do qual o sujeito age. Os artefatos podem ser materiais ou não. Qualquer que seja sua estrutura, ele constitui-se enquanto elemento da cultura. Vale à pena ressaltar que a forma como o sujeito atribui significado a esse elemento varia para cada sujeito. O segundo elemento que compõe o instrumento é exatamente a noção de *esquema*. Esse componente não existe de forma inata nos objetos. Ele é agregado aos artefatos no momento em que os sujeitos agem com os artefatos. Essa definição mista da noção de instrumento possibilita a análise das ações com um instrumento em termos adaptativos. Entretanto, ela não permite uma análise do desenvolvimento conceitual consecutivo à adaptação a um novo instrumento.

Os dois modelos teóricos que analisamos acima, de Vergnaud e de Rabardel, partem ambos da noção de *esquema* definida por Piaget. Vergnaud descreve um modelo da estrutura do conceito de *esquema*, em sua estrutura, ao mesmo tempo em que descreve a dinâmica de desenvolvimento cognitivo de forma mais detalhada. Assim fazendo, o novo modelo de esquema possibilita a análise dos elementos e das propriedades dos conceitos que emergem na ação dos indivíduos. Rabardel, por sua vez associa o conceito de esquema com o conceito de artefato para definir a noção de instrumento.

Para responder perguntas sobre o desenvolvimento conceitual consecutivo à introdução de uma nova tecnologia na atividade dos indivíduos é necessário realizar

uma análise da organização das ações com os novos instrumentos ao mesmo tempo em que analisamos o conteúdo epistemológico subjacente à ação com instrumentos. A análise desses dois aspectos é possível quando combinamos o modelo de instrumento definido por Rabardel (1995) com o modelo de esquema definido por Vergnaud. Propomos então um modelo da ação instrumental que toma como elemento de base a definição de instrumento proposta por Rabardel (*op. cit.*). No entanto, substituímos o esquema usado na sua definição original, que ainda era a versão de esquema definida por Piaget e adotamos o esquema definido por Vergnaud, com sua estrutura e dinâmica internas, na constituição de um novo conceito de instrumento.

A partir desse modelo, a análise do desenvolvimento conceitual consecutivo ao uso de instrumentos divide-se em duas partes. Por um lado, os indivíduos desenvolvem competências para manipular os instrumentos, ocorre um desenvolvimento ou *gênese instrumental*<sup>3</sup>. O desenvolvimento instrumental pode ser decorrente de transformações do artefato ou do esquema de ação com o artefato. Por outro lado, e em consequência desse processo de desenvolvimento instrumental, os sujeitos evoluem em termos de conhecimento sobre o conteúdo veiculado pelos artefatos, matemática, por exemplo. Em outras palavras, os indivíduos aprendem matemática na medida em que aprendem a usar um sistema de artefatos. Por exemplo, na medida em que alunos aprendem a lidar com um software educativo, eles aprendem acerca de conceitos matemáticos. Analisamos os desenvolvimentos conceituais consecutivos à aprendizagem no uso de instrumentos particulares a partir do conceito definido por Vergnaud.

## Forma de análise

O modelo de análise do desenvolvimento conceitual consecutivo à ação instrumental que propomos permite a análise da aprendizagem a partir da análise de ações dos alunos com artefatos computacionais. Essa análise ocorre em diversas etapas: (a) codificação dos protocolos a partir dos elementos teóricos, (b) análise do desenvolvimento instrumental e da aprendizagem, (c) identificação de situações com o uso de instrumentos, (d) cruzar as informações sobre situações e invariantes,

---

<sup>3</sup> Rabardel, 1995.

mobilizados em situações para descrever a aprendizagem. Analisaremos cada uma dessas etapas a seguir.

### ***Codificação de protocolos da ação instrumental***

O objetivo da análise das organizações das ações é a de produzir uma síntese inteligível da forma como os usuários organizam suas ações ao longo do tempo, em forma de relatórios e de gráficos. Quando da entrada dos dados para esse tipo de análise, é necessário informar ao sistema dados descritivos da organização das ações. A partir do modelo de instrumento que definimos, realizamos a identificação dos elementos que aparecem na ação instrumental dos usuários. Cada ação é decodificada em uma série de variáveis. Uma primeira variável refere-se a uma breve descrição da ação que é esperada em termos de objetivos, i.e., descrevemos a tarefa que é executada pela unidade de ação correspondente. Por exemplo, traçar retas paralelas com um software para o ensino de geometria. Isso nos permite comparar posteriormente a ação observada com a ação efetivamente realizada. Uma segunda variável corresponde a uma informação acerca da avaliação do procedimento executado: O mesmo pode ser tido como ‘correto’ ou ‘incorreto’. Esse valor permitirá ao sistema reconstruir a heurística utilizada pelo usuário, identificando os momentos onde o sujeito erra e as consequências desses erros. Cada linha de ação codificada recebe um código. Em guisa de exemplo, num estudo sobre aprendizagem de geometria com um software educativo, descrevemos em primeiro lugar a organização da ação correspondente a uma tarefa, por exemplo, “traçar retas paralelas com um software para geometria”. Em seguida informamos ao sistema se o procedimento executado está correto ou incorreto. Cada ação codificada recebe um código único.

A análise da organização das ações permite descrever estruturas de esquemas assim como também permite comparar diferentes momentos da evolução de um dado esquema. Além de uma descrição da organização das ações, pode-se proceder com a análise de elementos que compõem os esquemas e assim expandir as possibilidades de análises possíveis. O exame dos componentes estruturais de esquemas - regras e invariantes – integra a análise da aprendizagem e da gênese instrumental. No caso da análise de regras, cada vez que uma nova regra, de um tipo particular, é identificada, essa nova regra integra o banco de dados do sistema constituindo-se em mais um

elemento de conhecimento repertoriado. Um esquema, a partir da definição de Vergnaud, possui basicamente quatro grupos de componentes: objetivos, regras, invariantes e inferências, como descrito acima. Um esquema pode ser descrito pelos valores dos elementos que o constituem.

## **Estudo de caso**

Aplicamos esse modelo dentro do campo da educação matemática, especificamente num estudo sobre a aprendizagem mediada de geometria com um sistema computacional específico, o Cabri Géomètre. Analisamos a influência desse sistema de geometria dinâmica na aprendizagem de geometria. A aplicação desse modelo nos permitiu verificar a relação entre o uso do software Cabri Géomètre e a aprendizagem em geometria. Além disso, concluímos que o fato de que o sentido ocorre no uso do sistema, suas características e seu funcionamento determinam um campo de aplicação para cada um dos artefatos (elementos da interface do software) criando assim uma tendência na aprendizagem devido a características de funcionamento do software (Gomes, 1999). Em outras palavras, os artefatos não são neutros para a aprendizagem. Eles criam situações que permitem a emergência de conhecimentos distintos daqueles previstos ou esperados. Essa conclusão alerta para o fato de que os materiais deveriam servir de mediador material na atividade de ensino, no entanto sem substituir o professor no processo de validação do conhecimento. Atualmente, estamos trabalhando no desenvolvimento de um sistema de codificação e análise semi-automática de protocolos que servirá para a criação automática de gráficos demonstrativos do desenvolvimento conceitual que ocorre com um indivíduo ao longo de um longo período de tempo com o uso de artefatos diversos.

## **Conclusões**

O uso desse modelo composto nos permitiu (Gomes, 1999), numa pesquisa sobre a aprendizagem de geometria com o uso de um sistema de geometria dinâmico, Cabri Géomètre. Nessa pesquisa, pudemos observar: (i) a quantidade de distorções que ocorrem na atribuição de função aos diferentes elementos da interface do Cabri com relação aos usos previstos na orientação de uso; (ii) a relação que existe entre a atribuição coerente ou não de funções aos elementos da interface e a probabilidade de



incorre em erros; (iii) as estratégias idiossincráticas praticadas pelos sujeitos em consequência das funções atribuídas aos elementos da interface. Esses elementos de resposta ajudam a compor conceitos novos como os de Campo de aplicação de um instrumento e de adequação de instrumentos ou de software educativo. Aquele diz respeito ao subconjunto de propriedades de conceitos matemáticos que podem vir a emergir na ação com um material pedagógico determinado. Esse descreve uma nova característica de um material ou software, sua adequação a aprendizagem de conceitos matemáticos, e tem como finalidade discorrer sobre um dos aspectos da qualidade dos materiais ou software, esse relativo diretamente à aprendizagem de conceitos matemáticos. Os resultados dessa pesquisa podem orientar professores de matemática sobre a qualidade dos materiais e inserindo artefatos enquanto variáveis de um projeto didático.

## **Bibliografia**

- GOMES A. S. (1999) *Développement conceptuel consécutif a l'activité instrumentée - L'utilisation d'un système informatique de géométrie dynamique au collège*, Thèse de doctorat, Paris;
- MEIRA L. (1998) Making sense of Instructional Devices : The emergence of Transparency in Mathematical Activity, *Journal for Research in Mathematics Education*, vol. 29, n. 2, pp. 121-142;
- MOUNOUD P. (1970) *Structuration de l'instrument chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé, Lausanne;
- PIAGET J. et INHELDER, B. (1989) *A Psicologia da Criança*, Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil S.A;
- RABARDEL P. (1995) *Les hommes et les technologies - Approche cognitive des instruments contemporains*, Paris : Armand Colins;
- VERGNAUD G. (1990) La théorie des champs conceptuels, *Recherches en didactique des mathématiques*, vol. 10, n° 2.3, pp. 133-70;
- VERGNAUD G. (1997) The nature of mathematical concepts. In T. Nunes et P. Bryant (Eds.) *Learning and teaching mathematics: An international Perspective* (1997), pp. 5-28, Psychology Press, Hove;

- VYGOTSKY L. S. (1930/1985) La méthode instrumentale en psychologie, In B. Schneuwly et J.-P. Bronckart (Eds.) (1985), pp. 39-48;
- VYGOTSKY L. S. (1985) *Pensée et langage*, Paris, Messidor/Editions Sociales;
- WERTSCH J. V. (1985) *Vygotsky and the social formation of mind*, Harvard University Press, USA;