

Título -> a aprendizagem de
sentidos com auxílio do
computador

Autoria -> David Williams

Análisa Dias Williams

Ano -> 1995

-A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS COM AUXILIO DO COMPUTADOR

David William Carreker

As discussões sobre a Educação e a Informática entre os entusiastas das "novas tecnologias" tendem a ser ocasionadas pelo uso das formas superlativas, de hiperbole, e de chavões, tais como "revolução pedagógica", "micromundo", "ideias poderosas", e "geometria da tartaruga" e por advertências sobre os prejuízos psicológicos atribuídos a introdução do microcomputador na sala de aula levantadas pelos críticos da introdução das novas tecnologias. Ao considerar, a seguir, o campo de "Educação e a Informática" do ponto de vista da Psicologia da Aprendizagem e da Psicologia Cognitiva, prefiro não me pronunciar sobre o que vai ou não vai acontecer nesse campo pois, como tentarei demonstrar, os rumos do campo dependem de muito mais do que do mero acesso às tecnologias. Minha preocupação principal será outra: a de mostrar como e porque o campo envolve questões fundamentais sobre a natureza da aprendizagem, a formação de conceitos e a Epistemologia - questões que são consideravelmente mais importantes que as questões técnicas. A presente análise mostrará que a introdução do computador no ensino não provoca, por si só, o questionamento dos modelos tradicionais sobre o ensino e a aprendizagem; em certos casos, a tendência é justamente a oposta - isto é, a de fortalecer as teorias implícitas e manter o pesquisador e educador das questões fundamentais. Esse afastamento é revelado em questões tecnocentricas como "Qual o efeito do computador sobre o pensamento do aluno?"¹.

O presente capítulo envolve análises em dois níveis de abstração. Na primeira parte, pretendo descrever três concepções do computador na educação e mostrar seus vínculos com perspectivas acerca da natureza do conhecimento. Na segunda parte mostro como o uso do computador na Educação requer considerações sobre questões empíricas e teóricas específicas que não podem ser deduzidas de algumas abordagens gerais adotadas. Na terceira e última parte, considero as implicações da presente análise para a Psicologia da Aprendizagem e para a Educação e a Informática.

I. MODELOS DO COMPUTADOR

¹ Segundo Papert (1987), o "Tecnocentrismo refere-se a tendência a dar uma ênfase especial a algum objeto - por exemplo, os computadores e Logo. Essa tendência se manifesta em questões como "Qual é o efeito do COMPUTADOR no desenvolvimento cognitivo?" e "o LOGO funciona?". ... Tais modos de falar, com frequência, escondem uma tendência de tratar "os computadores" e "LOGO" como agentes que atuassem diretamente sobre o pensamento e a aprendizagem; eles indicam uma tendência a reduzir os componentes mais importantes de situações educacionais - as pessoas e as culturas - para um papel secundário de facilitação. O contexto para a educação é uma cultura, e nunca uma tecnologia isolada".

$$\begin{aligned} H &= 0 \\ d &= \bar{d} \end{aligned}$$

O fato de que o microcomputador foi criado em meados da década de 70 suscita a certas pessoas a ideia de que "Educação e Informática" seja um campo de preocupações fundamentalmente novas, que requeira educadores especiais, de preferência treinados em programação e nos princípios básicos da informática. Essa conceitualização do campo é, no mínimo, ingênua. Primeiro, a contribuição da Informática para o campo "Educação e Informática" é de ordem tecnológica e não conceitual. Isto é, a Informática fornece técnicas e inovações tecnológicas que possivelmente serão aproveitadas na Educação mas, como campo de conhecimento, não oferece subsídios conceituais para a análise teórica nem a elaboração de novas ideias acerca dos processos de aprendizagem ou de ensino². Segundo, com a exceção ao professor de programação, o educador que atua no campo da "Educação e Informática" precisa saber relativamente pouco sobre a computação. Não seria realista esperar, no presente momento, que o educador típico da área vá se envolver na produção de software educativo pois a produção de software de qualidade é algo extremamente difícil que requer equipes de formação e interesses especiais. Embora alguns educadores possam trabalhar nesse ramo, eles serão exceções a tendência geral e seria demasiadamente otimista esperar formar produtores de software com base em um ou dois semestres de programação. A programação é apenas uma parte da produção de software. Como veremos, na formação de pessoas para atuar em "Educação e Informática", muito mais importante que estudar a Informática é estudar a Psicologia, particularmente a aprendizagem e a representação psicológica.

Na sessão seguinte apresentarei três modelos do computador na educação e analisar suas relações com questões de aprendizagem e epistemologia. Os modelos são tipos ideais, no sentido de Durkheim; na realidade, as propostas educacionais poderão constituir composições mistas desses modelos. Mas os tipos ideais permitem que analisemos as questões psicológicas com mais clareza. E nossa maior preocupação aqui é com a análise das questões psicológicas e não com o estabelecimento de uma taxonomia.

A. O COMPUTADOR COMO MAQUINA DE ENSINAR.

As "máquinas de ensinar" propostas por Skinner, há três décadas, foram consideradas por ele como extensão natural e

² Dois esclarecimentos sobre as contribuições da Informática. A teoria do processamento de informações, em que o computador é usado como modelo da para a descrição e análise dos processos psicológicos, constitui uma pequena exceção a tendência geral. Em relação a contribuição de especialistas da informática para a "Educação e Informática", precisamos distinguir entre contribuições pessoais e contribuições do campo de conhecimento. Embora indivíduos da área da Informática possam contribuir para a melhoria do ensino e ocasionalmente oferecer análises inovadoras, essa contribuição não significa que as ideias da Informática estão fazendo uma contribuição. A aprendizagem e os processos psicológicos não fazem parte do corpo de conhecimentos da área.

3

importante da sua teoria de aprendizagem para o campo da Educação.

Para que nosso conhecimento atual sobre a aquisição e manutenção do comportamento verbal seja aplicado a educação, é necessário alguma espécie de máquina de ensinar. As contingências de reforço que alteram o comportamento de organismos mais inferiores com muita frequência não podem ser planejadas a mão; é necessária a elaboração de um aparato próprio para estes fins. O ser humano requer uma instrumentação ainda mais refinada. (Skinner, 1980/1958, pag. 100)

Skinner menciona duas características básicas das máquinas de ensino: o uso de respostas livres, ao invés de respostas de múltipla escolha, e o uso de uma sequência de etapas lógicas predeterminadas que o aluno deve atravessar, cada etapa constituindo um pequeno passo em relação aquilo que já foi aprendido. Na prática, a instrução programada consiste em apresentar ao sujeito textos previamente elaborados pelo professor ou por uma equipe de educadores behavioristas. Um texto normalmente consiste de trechos expositivos seguidos por uma ou duas frases em que falta uma palavra ou expressão abordada no texto. A resposta correta do aluno consistiria em fornecer, por meio do teclado do computador, a frase ou expressão verbal esperada pelo computador. Programas instrucionais sobre a matemática apresentariam ao aluno problemas a serem resolvidos que requerem uma resposta numérica. Por exemplo, o problema "37 vezes 3" é apresentado na tela do computador e a resposta matematicamente correta seria aceita pelo computador, enquanto respostas incorretas não o seriam. Os problemas teriam sido previamente ordenados em termos de grau de dificuldade, de tal forma que o aluno pudesse progredir sempre dos exemplos mais simples para os exemplos mais difíceis ou complexos.

A proposta das máquinas de ensinar faz parte de uma abordagem envolvendo diversas idéias sobre a natureza da aprendizagem e do conhecimento, a natureza e objetivos da educação e a natureza da investigação científica. Embora seja impossível analisar aqui, detalhadamente, todos esses aspectos, convém traçar a linha geral de nossa análise, para que fiquem claras as premissas subjacentes à adoção do modelo do computador como máquina de ensinar.

O projeto behaviorista teve como meta principal descrever e analisar comportamento observável. A análise funcional do comportamento, defendida pelos behavioristas, consiste em investigar as variáveis que controlam o comportamento de tal forma que seja possível prever comportamentos específicos e controlá-los através do estabelecimento das contingências de reforçamento. No caso particular de Skinner, o comportamento dos organismos, quer sejam ratos, pombos ou seres humanos, é visto como determinado pelos estímulos fisicamente presentes, as contingências atuais e a história de reforçamento do organismo. Skinner justifica a introdução de máquinas de ensinar como maneira de estabelecer, de forma eficiente, o

4

repertório de comportamentos desejadas pelo educador. Vejam os como ele encara, por exemplo, a aprendizagem da matemática do primeiro grau:

A escola se preocupa com o estabelecimento, na criança, de um número grande de respostas de um tipo especial. Essas respostas são todas verbais. Elas consistem em falar e escrever certas palavras, figuras e sinais que, de modo geral, referem-se aos números e às operações aritméticas. A primeira tarefa consiste em modelar essas respostas - conseguir que a criança pronuncie e escreva as respostas corretamente, mas a tarefa principal é colocar esse comportamento sob controle de estímulos. É isso que acontece quando a criança aprende a contar, a recitar a tabuada, a contar enquanto conferindo uma lista de objetos, a responder a números falados ou escritos, dizendo "par", "ímpar", "primo" etc. ... A criança tem que adquirir as respostas de transpor números, reduzir frações etc. que modificam a ordem ou padrão do material original tal que a resposta, chamada a solução, acaba sendo possível.

Para Skinner a extrapolação dos princípios de aprendizagem elaborados com base em estudos com ratos e pombos no laboratório, para situações complexas como a sala de aula, seria pouco problemática:

Há uma tarefa simples a ser feita. A tarefa pode ser formulada em termos concretos. As técnicas são conhecidas. Os equipamentos necessários podem ser facilmente fornecidos. Nada bloqueia o caminho, a não ser a inércia cultural. (1954, pag. 197)

Apesar desse espírito otimista, a teoria de Skinner tem se demonstrado incoerente e conceitualmente inadequada como teoria de como os seres humanos aprendem. Essa conclusão ficara especialmente evidente na área dos conceitos matemáticos.

A incoerência da teoria foi meticulosamente demonstrada pelo linguista Chomsky (1959), na sua brilhante resenha crítica do livro Verbal Behavior, de autoria de B.F. Skinner. O argumento pode ser resumido no seguinte dilema em que Skinner se encontra. Ao estender os princípios do laboratório para a vida complexa humana, Skinner tem duas opções: (1) continuar a manter as definições rigorosas e restritas de "estímulo", "resposta" e "reforço", em termos fisicalistas, mantendo assim o rigor científico e coerência da teoria mas limitando imensamente sua aplicabilidade para o caso humano ou (2) usar os termos agora num sentido amplo e fraco, aumentando a gama de instâncias que podem ser abordadas pela teoria ao custo do rigor e coerência científica. Chomsky argumenta e mostra que Skinner não adota nenhuma das duas posições sistematicamente. Reforço, por exemplo, às vezes corresponde à definição restrita e rigorosa de um estímulo que aumenta a força de uma determinada resposta. Em outros momentos, reforço é utilizado

num sentido claramente figurado, quando fala de auto-reforçamento e reforçamento que um escritor imagina que, um dia, receberá dos futuros leitores. Esses exemplos contradizem a ideia skinneriana de que os termos básicos de uma teoria de aprendizagem deveriam ser objetivamente definidos.

Se a análise de Chomsky não bastasse, Piaget e Inhelder (1969) atingem o behaviorismo em cheio com sua demonstração da inadequação do empirismo como Epistemologia. Para os autores, o empirismo nas mais diversas formas caracteriza-se pela aceitação da ideia de que

"a função dos mecanismos cognitivos consiste na submissão à realidade, copiando suas características objetivas ~~reais~~ o mais fiel possível, para que se produza uma reprodução que difere o menos possível da realidade. Essa ideia do empirismo implica que a realidade pode ser reduzida às suas propriedades observáveis e que o conhecimento necessariamente é limitado à transcrição dessas propriedades." (pág. 118)

Piaget & Inhelder desenvolvem três linhas de ataque para mostrar inadequação do empirismo como epistemologia, isto é, como teoria do conhecimento. Primeiro, eles mostram que o conhecimento matemático não pode ser reduzido a entes que são passíveis de descrição em termos de definições fisicalistas. A matemática necessariamente lida com conceitos abstratos como distributividade, proporcionalidade, e infinito por exemplo, que não podem ser incorporados por teorias empíricas por não terem referentes claramente especificáveis na realidade física, nem ser pequenas modificações das impressões sensoriais. Entretanto, a educação matemática e a Psicologia da Aprendizagem precisam reconhecer esses e outros conceitos e investigar como são adquiridos. Em segundo lugar, inúmeros estudos da Psicologia Cognitiva têm demonstrado que a aprendizagem envolve rupturas e saltos qualitativos não explicáveis e não esperados por teorias empíricas, que tratam a aprendizagem como envolvendo o acúmulo contínuo de informações ou associações provenientes da experiência, sem grandes transformações e reorganizações estruturais.

A passividade do sujeito diante da experiência assume formas diversas na Filosofia e na Psicologia. Quando Hume (1739) separa os conteúdos da mente humana em *impressões* e *idéias* - as primeiras, englobando as sensações, paixões e emoções que "entram na mente com a maior força e violência" enquanto as últimas são "imagens fracas" das primeiras - estamos claramente diante de uma posição empírica, no sentido usado por Piaget e Inhelder. Afinal, segundo a posição de Hume, a experiência se impõe ("entra com força e violência") sobre a mente do indivíduo, e as idéias, por sua vez, seriam causadas pelas impressões (op.cit. p. 179).

A passividade do sujeito, na teoria skinneriana, é caracterizada pela ideia de o indivíduo estar sob controle de estímulos. O empirismo da teoria skinneriana é de uma forma

tão radical, que os mecanismos cognitivos não são apenas desprezados, eles são eliminados. Não há lugar no behaviorismo clássico para os processos cognitivos pois as premissas básicas da corrente não permitem seu reconhecimento teórico. É verdade que Skinner se refere informalmente a compreensão, aos processos complexos mentais, mas esses conceitos não fazem parte de sua teoria. Os processos mentais complexos não possuiriam cientificidade e, portanto, deveriam ser ignorados como epifenômenos ou reconceituados em termos de conceitos e termos considerados científicos, dentro do dogma behaviorista. De modo geral, a representação psicológica não satisfaz o critério da verificabilidade³, tão central ao positivismo lógico, e abraçado pelos behavioristas. Conceitos como compreensão, significado, raciocínio não fazem parte da teoria, em que o sujeito é encarado como criatura passiva, controlada pelos estímulos presentes, os impulsos, e a história de reforçamento. Quando Skinner se refere a importância da atividade do aluno, no contexto do ensino com as máquinas de instrução, ele está claramente se referindo a atividade física do aluno ao invés da atividade mental.

Embora hoje em dia apenas uma pequena proporção de programas educacionais na área de "Educação e Informática" seja declaradamente skinneriana, é extremamente comum encontrar software educacional em que a papel do aluno é o de aprender a dar respostas verbais corretas, enquanto o papel do computador é o de simplesmente apresentar informações e informar o aluno se sua resposta é correta ou errada. O exemplo típico são os programas aritméticos em que o aluno recebe uma sequência de exercícios de computação, ganhando pontos conforme a rapidez da resposta ou a porcentagem de itens corretamente respondidos. Esses maus exemplos não são necessariamente "skinnerianos" pois, na maioria dos casos, teriam sido elaborados meramente com base nas intuições dos autores, sem o benefício de ter passado pelo crivo de qualquer análise sistemática. Entretanto, como mostro em outro lugar (Carraher, 1983), a educação tradicional tende a ser baseada num modelo empírico do conhecimento em que a aprendizagem é encarada como processo de recepção passiva de informações.

Certas habilidades, como a datilografia, precisam ser praticadas repetidamente para que se tornem automáticas. E muitos alunos são capazes de aprender *certas* coisas numa lição

³ O princípio da verificação é a doutrina principal do positivismo lógico (Schlick, Ayer), segundo a qual são considerados significativas apenas as proposições para as quais há operações que especificam precisamente como podemos testar se as mesmas são verdadeiras ou não. Este princípio foi usado pelos positivistas para considerar uma boa parte da Filosofia como sendo "metafísica" e, portanto, provida de significado e de valor científico. No campo da Psicologia, o princípio teve uma influência profunda sobre a concepção da metodologia científica e para os tipos de problemas a serem considerados ~~metodológicos~~ a investigação científica. Geertz (1971) analisa a inadequação do positivismo lógico, do ponto de vista antropológico; suas observações são pertinentes para a Psicologia, especialmente a Psicologia Social.

mal realizada, quer seja por mediação do computador ou do professor. Porém, essas observações não justificam a manutenção de teorias e de metodologias mal concebidas. Conforme as razões expostas, uma teoria que vise reduzir conceitos complexos, como proporcionalidade ou fração, a um "repertório de respostas" é necessariamente inadequada⁴. Segundo, os alunos, particularmente na área da Matemática, esbarram em "obstáculos epistemológicos" e concepções errôneas característicos, que indicam que a aquisição dos conceitos precisa ser tratada como necessitando mais do que o simples acúmulo de conhecimentos.

B. O COMPUTADOR COMO TUTOR INTELIGENTE

Enquanto o modelo das máquinas de ensino originou-se numa corrente psicológica e está associada a uma posição epistemológica claramente identificável, o modelo do "tutor inteligente" deriva da Inteligência Artificial, onde têm surgido teorias e posicionamentos bastante variados. A Inteligência Artificial é uma área multidisciplinar voltada ao desenvolvimento de software inteligente. Nos anos recentes, a Inteligência Artificial tem avançado muito, e hoje existem resultados importantes em áreas de aplicação tão diversas quanto a visão robótica, a prova automática de teoremas, o controle industrial, o processamento de linguagem natural, a diagnose e tratamento de infecções e a resolução de problemas ~~programas~~ de diversas naturezas. Não existe a menor dúvida sobre a utilidade e sofisticação desses programas.

No campo da "Educação e Informática", o tutor inteligente corresponderia a programas capazes de acompanhar o raciocínio do aluno e fazer intervenções inteligentes, como se fosse um tutor individual. Essa concepção é exposta por Sleeman e Brown (1982):

o sistema precisa ter suas próprias habilidades de resolver problemas, sua própria capacidade para diagnosticar e representar, via modelos, as idéias dos estudantes e ter sua própria capacidade de explicar para os alunos. Para orquestrar essas capacidades, o sistema precisa ter também estratégias explícitas de controle e de tutela que dizem *quando* devem interromper a atividade de resolução de problemas, *o que* deve ser dito, e *como* deve ser dito; tudo isso para fornecer ao aluno conselhos instrucionalmente efetivos. Sem esse tipo de assessoramento, o aluno tende a lutar, sem efeito, contra impecilhos conceituais que têm pouca chance de se evitar, sem ajuda do computador, ou até mesmo passar superficialmente por situações que teriam um impacto

⁴ Essas observações não desmerecem o sucesso do behaviorismo como tecnologia de condicionamento de animais nem como terapia no tratamento de uma variedade de distúrbios comportamentais em seres humanos, duas áreas amplamente documentadas por pesquisas empíricas.

instrucional importante, dada o estado atual do conhecimento do aluno⁵. (pág. 2)

Não há, no campo da Inteligência Artificial, um consenso mínimo sobre fenômenos básicos como *inteligência*, *conceito*, *representação simbólica* etc. Winston (1984), por exemplo, define a Inteligência Artificial como "o estudo das ideias que fazem com que os computadores sejam inteligentes" e, logo a seguir, afirma que "a definição... parece impossível porque a inteligência parece ser uma liga de tantos talentos envolvendo a representação e processamento de informações" (pág. 2). A maioria dos pesquisadores na área tem aceito definições práticas baseadas na analogia entre o homem e o computador como, por exemplo, a seguinte: "a inteligência refere-se aquilo que possibilita a realização de atividades que, no caso do homem, supostamente requerem habilidades mentais superiores." Assim, por exemplo, se um computador joga xadrez, ou resolve equações diferenciais, estaria evidenciando inteligência pois essas atividades certamente demonstram a inteligência do homem.

A base dessa definição operacional da inteligência artificial é o "teste de Turing": se somos incapazes de distinguir as respostas de um computador daquelas de um especialista humano, temos que concluir que o computador possui inteligência. Por mais atraente que seja esse argumento, acredito que Searle (1990) tenha demonstrado, de forma clara, a sua falta de fundamentação. Para elaborar sua posição, Searle imagina a seguinte situação:

⁵ No seu livro, Sleeman & Brown reconhecem a possibilidade e defendem a criação de sistemas computacionais que, além de exibir as características do tutor inteligente, constituem ambientes de aprendizagem. Optei por discutir apenas o aspecto do tutor inteligente aqui por dois motivos: (1) defendendo a importância de uma aspecto ou modelo enquanto crítico; (2) acho que a análise feita pelos autores dos ambientes de aprendizagem é falha, do ponto de vista psicológico.

Considere uma linguagem que você não entende. No meu caso, não entendo chinês. Para mim, os escritos chineses são rabiscos sem significado. Agora suponha que eu esteja numa sala com várias cestinhas cheias de papéis cobertos de símbolos chineses. Suponha, também, que alguém me dê um livro de regras [escrita na minha língua materna] para emparelhar certos símbolos chineses com outros símbolos chineses. As regras identificam os símbolos exclusivamente através das suas formas, sem exigir que eu os compreenda. As regras dizem, por exemplo, "pegue um rabisco *8, da pilha 1, e coloque ao lado de um rabisco ** da pilha 2.

Imagine que há pessoas fora da minha sala que entendem chinês que me entreguem pequenos conjuntos de símbolos e, em resposta, eu manipulo os símbolos de acordo com o meu livro de regras, dando de volta outros conjuntos de símbolos chineses. Ora, o livro de regras é o "programa de computador". As pessoas que o escreveram são os "programadores" e eu sou o "computador". As pilhas de símbolos são o "banco de dados", os símbolos dados para mim são as "perguntas" e os símbolos que devolvo são as "respostas".

Searle supõe que as respostas em chinês dadas por ele sejam indistinguíveis daquelas dadas por uma pessoa que domine chinês. Searle mostra que, embora seja evidente que ele não entende nada de chinês, ele seria julgado como competente na língua, conforme o teste de Turing. Portanto, o teste de Turing é inválido para determinar se uma pessoa (ou máquina) compreende algo. Searle não diz, mas aceita tacitamente a ideia de que um ser inteligente precisa compreender as atividades consideradas inteligentes para que atribuamos inteligência ao mesmo.

Para considerar as facetas principais da presente linha de argumentação, teríamos que nos deter em diversas considerações sobre a natureza dos programas computacionais. O leitor interessado deverá consultar o texto de Searle (1990). Para os motivos do presente capítulo, acredito que seja suficiente ressaltar a ideia de que o teste de Turing é insuficiente para que se determine se uma máquina possui inteligência.

Se avaliarmos as respostas de um computador, sem levar em consideração como essas respostas foram determinadas, podemos ser indevidamente levados a crer que as respostas refletem a inteligência da máquina. Entretanto, como Searle mostra, as aparências podem nos enganar. Quando olharmos "dentro do livro de regras", isto é, analisamos como os programas da inteligência artificial são estruturados, é muito mais difícil aceitar a ideia de que os programas entendem os assuntos sobre os quais estão trabalhando. Os programas de computação são formalismos providos de sentido e vínculos significativos com o mundo real. É totalmente irrelevante, do ponto de vista do programa, se uma variável chamada TOTAL se refere ao número de verbos na forma plural, à quantidade de cruzeiros que a esposa do programador gastou na semana passada, ou ao número de

países com mais do que 50 milhões de habitantes. Visto de outra maneira, se substituirmos, no programa, todas as instâncias de TOTAL pela expressão "TORCEDORES FANÁTICOS" (ou "ESTRELA CADENTE", "FUSCAOPRETO" OU "JOÃO DA SILVA" etc.), o programa continuará a funcionar da mesma maneira que antes da substituição.

O diálogo estabelecido entre os programas "inteligentes" e o usuário tende a ser igualmente providos de compreensão, pelo menos, por parte do computador. Certas técnicas de análise linguística, usadas largamente na inteligência artificial, suprimem informações importantes. Por exemplo, na "análise através de listas de diferenças", a pergunta "Quantas pessoas moram no Rio de Janeiro?" pode ser reduzida à frase: "Pessoas Rio de Janeiro" (Carraher, Borba e Santos, 1987). No contexto do uso de um banco de dados, essa perda de informações não impede que o programa localize a resposta desejada. Consequentemente, o usuário não nota nenhum "problema de comunicação". Entretanto, seria absurdo dizer que o programa compreendeu a frase, se jogou automaticamente fora certas palavras - inclusive o verbo - antes de iniciar a análise da pergunta.

As respostas verbais do computador são igualmente enganadoras. As intervenções, advertências e explicações dadas pelo programa são parcialmente ou até totalmente preparadas de antemão e impressas na tela quando certas contingências são satisfeitas. Por exemplo, um "terapeuta computacional" chamada ELIZA, é programado a fazer certas intervenções, sem que o entrevistado se referir a sua mãe. De modo semelhante, um programa educacional sobre circuitos elétricos oferece a seguinte explicação, quando o aluno tem dificuldade em compreender o circuito mostrado abaixo:

Para que a lâmpada acenda, tem que correr uma corrente elétrica por ela. Há um aparelho em paralelo com a lâmpada - o interruptor. Em caminhos paralelos, a corrente é dividida entre os diversos caminhos. Mais corrente flui pelo caminho com menor resistência. Se um dos caminhos não apresenta resistência, a corrente toda via passa por ele. Já que a lâmpada tem resistência e o interruptor não a tem, toda a corrente passará pelo interruptor. A lâmpada continuará apagada pois fica sem corrente.

Diagrama 1 aqui

O programa instrucional que oferece esse tipo de esclarecimento o faz sem compreender o significado de suas próprias palavras. Do "ponto de vista do computador" - se podemos usar a expressão - a explicação corresponde as respostas em chinês de Searle. E se misturarmos ou trocarmos as palavras, o computador não o notará pois a mensagem é apenas uma cadeia de símbolos a serem impressos.

Como vimos, o modelo do computador como tutor inteligente é baseado na esperança de produzir programas inteligentes e capazes de estabelecer comunicação autêntica com o usuário. Embora certos programas sejam extremamente sofisticados, nenhum programa criado até hoje demonstra a compreensão, no sentido normal do termo. Os diálogos entre o usuário e o programa são simulações em que o computador, na melhor das hipóteses, aparenta possuir uma compreensão do raciocínio e dos motivos dos alunos. Na realidade, os programas "inteligentes" não compreendem o aluno, e os programas educativos elaborados com o objetivo de acompanhar o raciocínio do aluno são destinados ao fracasso, pelo menos, na época atual.

C. O COMPUTADOR COMO AMBIENTE SIMBOLICO

Está ficando cada vez mais claro que a contribuição mais importante do computador para a educação corresponde não a sua habilidade de apresentar textos na tela, de reforçar respostas, de explicar, de corrigir respostas, de fazer cálculos numéricos - coisas que a professora poderia, em princípio fazer - mas sim de possibilitar ou sustentar atividades especiais que seriam difíceis ou até impossíveis de ser realizadas sem o computador, atividades que constituem oportunidades especiais para aprender. Mas que tipos de atividades?

O computador como ambiente simbólico de descoberta engloba programas computacionais e software tão diversos quanto linguagens de programação (BASIC, PROLOG, LOGO, PASCAL, etc.), simuladores das leis de Newton, e jogos matemáticos e linguísticos. A idéia central desse modelo é a de que o software deveria proporcionar aos alunos oportunidades de descobrir princípios, propriedades ou relações de ordem lógica, matemática, científica, linguística, ou até histórica. Diferentemente da máquina de ensinar, o ambiente simbólico não requer respostas rigidamente predeterminadas. Geralmente, haverá uma gama de respostas válidas e até as respostas incorretas deverão ser informativas.

-O computador Como Instrumento de Pesquisa.

Totsuka e Miyake (1988) relatam vários usos extremamente criativos do computador em aulas de Ciências no Japão. Elas descrevem, por exemplo, uma atividade de observação sobre o crescimento de folhas de girassol. É uma tradição, no Japão, observar o crescimento de flores de girassol. Normalmente o aluno desenha riscos, de 1 em 1 cm, no caule da planta e mede a distância entre os riscos todo dia durante 2 semanas quando a planta está relativamente grande. Usando esse procedimento os alunos podem saber que partes da planta crescem mais e em que períodos.

No presente caso, os alunos mediam o crescimento das folhas. As medidas consistiam de registros, em centímetros e milímetros, do tamanho da veia principal da folha e as veias laterais, junto com os ângulos formados por sua interseção. A partir das medidas, os alunos criaram programas na linguagem Logo para representar, na tela, o estado da folha cada dia.

Rodando o programa de cada dia, foi possível reconstituir, de forma simulada, o crescimento da folha. Um dia, um aluno resolveu juntar as rotinas de desenho de cada dia e obteve um desenho animado de duas semanas de crescimento no espaço de alguns segundos. Assim foi possível verificar, de forma dramática, que o crescimento ocorre primeiro na extensão dos eixos ou veias, passando então para uma segunda fase em que o crescimento ocorria dos eixos para o contorno da folha. A descoberta gerou muita discussão entre as crianças e especulações sobre as leis que regem o crescimento.

Uma outra investigação das autoras relata sobre as observações científicas de teias de aranha e sua representação pelas crianças usando programas criados por eles em Logo. Com base nos dados coletados, as crianças chegaram a discernir regularidades no sistema de construção de teias usado pela aranha.

É importante ressaltar que essas atividades não são típicas. Normalmente o computador é usado numa sala especial, em que o aluno recebe aulas prontas (para não dizer "enlatadas"). No presente caso, nota-se que o computador é utilizado apenas como instrumento auxiliar. Nas aulas referidas acima, o agente principal de ensino não foi o computador. A presença da professora - que criou as atividades, preparou as crianças para fazer observações, esclareceu dúvidas, provocou discussão na sala de aula, orientou as crianças na elaboração dos programas - foi inestimavelmente mais importante e o êxito das aulas se deve à visão educacional, criatividade e paciência da professora. Porém, o computador contribuiu de uma forma importante, principalmente em fornecer meios para encontrar e visualizar regularidades nos dados coletados. Sem dúvida, seria muito difícil realizar as mesmas atividades, com o mesmo proveito, sem a informática.

-Software Para Provocar A Reflexão.

Sherlock, de Carraher, Borba e Santos (1987), é um jogo educativo semelhante ao jogo Forca, largamente conhecido no Brasil. Em Forca, uma pessoa pensa numa palavra e marca riscos num papel ou quadro negro, cada risco correspondendo a uma letra da palavra. O outro jogador tem que adivinhar a palavra antes de ser "enforcado". Ele tenta adivinhar as letras contidas na palavra e submete o nome de uma palavra quando acha que adivinhou.

Diferentemente de Forca, Sherlock lida com textos inteiros ao invés de uma palavra só. Há apenas um jogador que tenta preencher o texto completamente. Inicialmente, a tela apresenta um texto quase totalmente vazado. O jogador pode adivinhar palavras inteiras, partes iniciais de palavras ou partes finais. O computador automaticamente preenche todas as lacunas no texto em que a resposta cabe. Então, por exemplo, a resposta "no" preencheria todos os lugares em que a palavra "no" aparece no texto, bem como palavras iniciadas em "no", como "notícias", "noturno" etc. A resposta "-s" iria encontrar todos os lugares em que uma palavra termina em "s", preenchendo aquela letra.

No início, os alunos tentam preencher a tela usando noções sobre palavras frequentes (ele, ela, foi, é, e. e. eu) e

prefixos ou sufixos comuns (pre-, -s, -ção, -ões). Na medida em que o texto começa a aparecer, os alunos recorrem a seus conhecimentos sobre a gramática, sintaxe, sobre o estilo do texto ou sobre o contexto. Por exemplo, observando o seguinte trecho,

"o homem é a única ----- que consome sem -----."

o aluno infere que a primeira lacuna deve ser um substantivo feminino. Logo, reconhece que a palavra pode ser "criatura". A última palavra poderia ser um verbo ou substantivo. Se for verbo, seria um infinitivo. A hipótese pode ser verificada através do chute "-r", o que é aceito. O contexto da frase sugere que o verbo deve ter um significado contrário àquele do verbo "consumir". Após algumas tentativas, alguém sugere "produzir".

Dessa maneira, alunos que nunca viram o texto podem descobri-lo gradativamente, recorrendo aos seus conhecimentos mais diversos sobre a linguagem, inferindo o que está faltando. Já que qualquer texto pode ser utilizado, Sherlock pode ser considerado um software bastante reutilizável. Através do editor de texto, Watson, a própria professora pode preparar textos para futuro uso pelos alunos, e inclusive garantir que certos trechos do texto sejam dados de graça quando o jogo começa.

Mas, como a atividade de Tetsuke e Miyaki, o software Sherlock é apenas um instrumento auxiliar para o ensino de português. Usado como programa "enlatado", seria apenas um jogo motivador, um divertimento. Cabe ao professor provocar discussão entre os alunos sobre a atividade e vincular a atividade aos conceitos da disciplina - plurais, tempos de verbos, ou conjunções, por exemplo. De novo, o uso do software em si não constitui uma experiência educativa completa. A maioria da responsabilidade recai sobre o professor e o "pacote" curricular em que o programa se insere.

-Representações Conjugadas.

Na escola, uma parte significativa do tempo é dedicada à aprendizagem de sistemas simbólicos, entre os quais, a linguagem escrita e o sistema numérico. A área de matemática é particularmente rica em representações simbólicas. Usamos símbolos para representar números, de modo geral, frações e frações decimais, equações, operações, variáveis e funções, bem como releções geométricas. Um dos problemas principais no ensino da matemática consiste em desenvolver, entre os alunos, uma compreensão dos símbolos e sua relação com situações. O computador oferece uma característica importante nesse trabalho pois é capaz de lidar com múltiplas representações ao mesmo tempo. Esse recurso é claramente demonstrado no software Garrafas, do Shell Centre, de Nottingham, Inglaterra.

"Garrafas" representa uma situação física bem como sua expressão através de gráficos. A situação é o enchimento de uma garrafa por água que sai de uma torneira. Na tela, uma torneira pinga água, em fluxo uniforme, lentamente enchendo uma garrafa. Os alunos podem assistir esse processo bem como

o desenho de um gráfico do nível de água em função do tempo. (ver figura 1).

(figura 1 aqui)

O programa de fato apresenta várias vantagens sobre a realização da atividade sem o computador.

Representações conjugadas: A situação simulada e sua representação são dinamicamente conjugadas, portanto, o aluno pode notar, na hora, a correspondência entre a situação "real" e a representação simbólica da mesma.

A "lupa" conceitual. Certas propriedades são ampliadas, destacadas de uma forma não possível na vida real. Processos podem ser estudados em "câmera lenta", detalhes irrelevantes são eliminados temporariamente ou permanentemente.

Precisão experimental. Numa situação real, seria muito difícil manter controle total sobre o vazamento de água. No computador, o fluxo de água é perfeitamente constante. Além disso, é possível interromper a experiência em qualquer ponto para discutir o que está acontecendo. Por exemplo, a professora pode "fechar a torneira" quando a água atinge um certo nível na garrafa em que o formato muda, e solicitar dos alunos que descrevam o que acontecerá com o gráfico quando a torneira for aberta de novo.

Delegação de atividades de rotina ao computador. Num experimento de laboratório, muito tempo seria gasto na coleta de dados e na transferência de pontos para o gráfico. Embora isso possa ser válido quando a finalidade da tarefa é aprender a fazer gráficos, essas atividades - que separam em tempo a situação física, da representação gráfica - podem dificultar a interpretação do gráfico. É perfeitamente possível, no decorrer de uma aula, investigar os gráficos para 10 garrafas de diversos formatos. Se os alunos tivessem que coletar dados reais de tantos exemplos, a atividade levaria muitas horas, sem vantagens aparentes.

Modalidades especiais. O mesmo programa pode trabalhar com várias opções. A professora pode rodar o programa sem o gráfico e pedir que os alunos desenhem a curva esperada. Assim os alunos podem prestar atenção às relações entre as variáveis, sem se deter em pontos ou medidas específicas. Alternativamente, ela pode mostrar o preenchimento do gráfico e solicitar dos alunos que determinem o formato da garrafa com base nas características da curva. Há também a opção de superimpor garrafas e curvas. Assim, o aluno pode ver como diferenças entre formatos de vasilhames correspondem a comportamentos diversos de curvas. Finalmente, é possível trocar os eixos horizontal e vertical ou a simulação de modo que os alunos possam dissociar a altura do nível d'água, da altura da curva. Desse jeito, a representação gráfica se torna mais abstrata, mais distante da situação física que representa.

Conclusões. Esses e outros exemplos sugerem que o computador pode apresentar contribuições *sui generis* para a educação, embora essa contribuições sejam bastante diversas daquelas previstas há algumas décadas, quando se sonhava de computadores que iriam assumir muitas das responsabilidades com o ensino. Via de regra, um software não funciona automaticamente como estímulo a aprendizagem. O sucesso de um software em promover a aprendizagem depende da integração do mesmo no currículo e nas atividades da sala de aula. Um software bem concebido e elaborado não será necessariamente bem implementado e trabalhado, porque é importante que a professora relacione as lições com aquilo que o aluno já sabe. O fato de que certos conceitos matemáticos e científicos fundamentais, como a proporcionalidade, por exemplo, desenvolvem-se ao longo de vários anos, mostra que o uso de software pode ser visto como apenas um recurso num programa educativo ao invés de uma solução pronta e auto-suficiente. Estes exemplos de software mostram o surgimento de um novo modelo do computador como um gerenciador de atividades intelectuais⁶. Eles não pressupõem necessariamente uma determinada perspectiva epistemológica ou corrente psicológica. Isso não significa que qualquer teoria psicológica seja apropriada para a análise dos processos de aprendizagem com o software. Uma teoria psicológica sobre a aprendizagem com auxílio do computador teria que satisfazer certos critérios gerais. Os critérios listados a seguir constituem um esboço inicial das características gerais de abordagem teórica, independentemente do uso do computador.

O uso de software que envolve a manipulação de símbolos necessita de uma abordagem teórica que dê ênfase aos processos de representação. Como afirma Vergnaud (1985) essa consideração elimina as teorias behavioristas como candidatas pois elas desprezam ou até desconsideram a representação.

Uma teoria de aprendizagem com auxílio do computador teria ser *construtivista*, no sentido de oferecer subsídios para analisar como o conhecimento do aluno é assentado nos conceitos e estruturas mentais elaborados através da interação do aluno com o ambiente, no caso, o ambiente simbólico sustentado pelo computador.

Uma teoria de aprendizagem teria que lidar com os *mediadores* ou *processos de mediação*. A aprendizagem num contexto escolar envolve a apropriação de conhecimentos já estabelecidos e a adoção de estratégias de representação e resolução de problemas que evoluíram na sociedade durante muitos anos. A álgebra, os gráficos, a trigonometria, as leis de Newton correspondem a conhecimentos e sistemas de representação que não seriam inventados pelos alunos através de suas interações com o mundo físico. As teorias de aprendizagem precisam investigar os processos da aquisição de conhecimentos já

⁶ Há muito em comum entre a presente noção de *ambiente simbólico* e o termo "micromundo" usado por Papert. Um ambiente simbólico abrange tanto programas computacionais quanto outras atividades didáticas, sem o uso de um microcomputador.

estabelecidos bem como analisar o papel dos mediadores nesses processos. Como mencionamos anteriormente, isso não equivale a investigar "o efeito do computador sobre o raciocínio" pois o computador não atua diretamente sobre os processos de aprendizagem.

Uma teoria de aprendizagem com aplicações didáticas teria que deixar lugar para a motivação. Porém, as concepções sobre a motivação, com frequência, não passam de meros estereótipos. Na psicologia da aprendizagem, por exemplo, a motivação é frequentemente confundida com um estado de excitação fisiológica. Na Psicologia da Personalidade, a motivação é, com frequência, tratada como traço relativamente permanente do indivíduo. Precisamos ter, na Psicologia da Aprendizagem, uma concepção de motivação para compreender que não trata a motivação como característica inerente no indivíduo desde o nascimento.

Uma teoria de aprendizagem teria que lidar com as questões específicas ao campo de estudo. O conteúdo da aprendizagem é extremamente relevante. Essa observação parece axiomática. Durante várias décadas, os psicólogos buscaram teorias gerais de aprendizagem que iriam servir para explicar a aprendizagem de qualquer natureza ou tipo de conteúdo. Hoje em dia essa busca de uma teoria geral para explicar a aprendizagem do conceito de proporcionalidade, a aquisição da leitura e a aprendizagem de valores éticos parece pouco realista. Uma teoria sobre a aquisição do conceito de fração, por exemplo, teria que lidar com as particularidades desse conceito e suas relações com outros conceitos matemáticos, tais como número decimal, mensuração e divisão. Uma das dificuldades notórias na aprendizagem do conceito de fração decorre da interferência dos procedimentos e conhecimentos associados aos números naturais. Alguns alunos acreditam, por exemplo, que o número 0,2 é menor que 0,18 por que 2 é menor que 18.

Essa última observação sugere que o Psicólogo que pretende investigar a Aprendizagem - com ou sem auxílio do computador - terá que conhecer intimamente questões científicas, matemáticas, linguísticas etc. ligadas aos mesmos e normalmente consideradas como estando fora dos limites da Psicologia. Essa idéia ficará mais clara na seguinte seção do capítulo, em que focalizamos os conceitos matemáticos.

II. A PSICOLOGIA DOS CONCEITOS MATEMÁTICOS: UM EXEMPLO DE SOFTWARE

A. O CONCEITO DE CONCEITO NA PSICOLOGIA E OS CONCEITOS MATEMÁTICOS

Primeiro pretendo mostrar a necessidade de distinguir os conceitos matemáticos de conceitos como tradicionalmente analisados e investigados na Psicologia da Aprendizagem. Em seguida, focalizo como certos conceitos podem ser explorados⁷ com auxílio do computador.

⁷ Explorado significa aqui "explorado por pesquisadores psicológicos" bem como "explorado pelo aluno".

Os estudos clássicos sobre os conceitos - como os de Hull (1920), Kendler & Kendler (1967), Vygotsky (1978), e Bruner, Goodnow & Austin (1966) - usaram estímulos que variavam sistematicamente em termos de atributos físicos ou combinações de atributos físicos. Por exemplo, em Kendler e Kendler o sujeito recebia pares de quadriláteros que variavam em cor e tamanho. O estudo de Bruner et al. (1966) usou uma amostra de cartões que variavam em termos de número e tipo de figuras geométricas representadas, cor e tipo de moldura. Há duas razões principais pelas quais esses estudos são pouco adequadas para nortear a investigação dos conceitos matemáticos. Primeiro, os conceitos matemáticos não podem ser definidos em termos de propriedades físicas dos estímulos. Essa advertência decorre da idéia de experiência lógico-matemática, que "obtem suas informações não das propriedades físicas de objetos específicas mas, sim, de ações efetivamente realizadas sobre os objetos pela criança (ou, mais precisamente, pela coordenação de ações)" (Piaget, 1973, p. 80). O princípio de comutatividade da adição exemplifica bem a idéia. A criança descobre, mais cedo ou tarde, que a soma de dois conjuntos de objetos independe da ordem da operação e da organização espacial dos objetos. Três fichinhas somadas a cinco fichinhas será o mesmo que cinco fichinhas somadas a três fichinhas. Essa conclusão é derivada, segundo Piaget, da reflexão abstrata sobre as ações da criança ao invés da abstração de propriedades físicas. A comutatividade não depende das propriedades físicas dos objetos. Tanto faz se estamos falando de laranjas, fichinhas, triângulos ou automóveis. As características físicas não interessam.

Uma segunda característica dos conceitos matemáticos merece destaque especial. Os estudos sobre a identificação e formação dos conceitos das mais diversas correntes (Rosch, ; Bruner e outros; Vygotsky, ; Hull; Kendler & Kendler) tendem a focalizar conceitos para os quais existem definições ostensivas⁸ claras, isto é, existem instâncias positivas e negativas. Por exemplo, o conceito de "triângulo verde" pode ser definido mostrando-se exemplos do conceito (diversos triângulos verdes) e distinguindo-se de não-exemplos do conceito (triângulos pretos, círculos verdes, quadrados etc.). Entretanto, muito conceitos matemáticos não podem ser representados, de forma clara, através de definições ostensivas. Consideremos os conceitos de *proporcionalidade*, *infinito*, e *fração* por exemplo. O que seria uma instância positiva de proporcionalidade, de infinito, de fração?

O leitor pode estar pensando que uma fração é uma parte de um todo e, portanto, um retrato de um bolo cortado em, digamos, 8 partes, com duas partes separadas das demais, corresponderia a uma definição ostensiva do conceito de fração ou, pelo menos, da fração $2/8$. Entretanto, várias considerações sugerem que essa definição ostensiva não é adequada e acredito que nenhuma definição ostensiva poderia representar, de forma adequada, o conceito de fração justamente porque uma fração não é um

⁸ Uma *definição ostensiva* é feita através do uso de exemplos, como na seguinte definição: "um automóvel é um Volks, um Chevrolet, um Corcel etc."

objeto físico que pode ser apontado pelo dedo indicador. A fração dois oitavos não é igual a um bolo cortado em 8 fatias, com duas partes separadas embora se use o bolo como *modelo* de frações.

Objetos e figuras geométricas, (bolos, pizzas, retângulos) que servem para representar as frações, fazem parte de um *modelo* requer que façamos uma *interpretação*. E nem sempre a interpretação sugerida pelo modelo corresponde à *concepção* do conceito mantida pelos matemáticos. A Tabela 1 mostra uma tentativa (Ohlsson, 1989) de utilizar o modelo parte-todo para representar, de forma concreta, numa tela de computador, a adição das frações $2/8$ e $3/8$. Acima há representações aritméticas das frações; abaixo, as respectivas figuras geométricas. O autor do software pressupõe que a representação visual vai simplificar a compreensão da operação de adição; isto é, que a soma aritmética de duas frações deveria corresponder fielmente à junção das figuras. Entretanto, a junção de uma figura de 2 quadrados pretos e 6 quadrados brancos com outra figura consistindo de 3 quadrados pretos e 5 quadrados brancos resultaria em 5 quadrados pretos entre 16 quadrados totais. Em outras palavras, o resultado do modelo físico corresponderia à fração $5/16$ ao invés de $5/8$.

Em soma, muitos conceitos matemáticos - e possivelmente todos eles - não podem ser adquiridos simplesmente através de instâncias positivas e negativas, nem através da aprendizagem de respostas corretas. O desenvolvimento de conceitos matemáticos envolve *símbolos* e *representações simbólicas* (gráficos, sistemas notacionais, tabelas, diagramas, explicações em linguagem natural) cujos usos e significados precisam ser estabelecidos através de atividades intelectuais durante longos períodos de tempo e em diversas situações. Os conceitos não são entes isolados que o indivíduo possui ou não. Os conceitos fazem parte de uma teia de conceitos afins, tais como número decimal, quociente, divisão, e proporcionalidade. Essa interrelação entre os conceitos requer que sejam abordados como constituindo um *campo conceitual* (Vergnaud, 1985). Os conceitos adquirem parte de seu significado dos invariantes, das situações e dos símbolos.

A discussão até agora mostrou que os conceitos matemáticos não podem ser tratados como um "repertório de respostas", como se faz na corrente behaviorista, nem como informações que adquiridas diretamente das explicações verbais do professor ou de um computador. Os conceitos matemáticos na verdade correspondem diretamente a propriedades físicas de estímulos e não consistem de atributos claramente especificáveis através de instâncias positivas.

B. UM SOFTWARE PARA LIDAR COM CONCEITOS MATEMÁTICOS.

Essas idéias serão exemplificadas agora por meio de um software que lida com *objetos matemáticos* (em oposição a objetos físicos) e certos invariantes (propriedades e relações) matemáticos. Primeiro, descrevo o software em termos de concepção geral do software. Em seguida apresento

alguns dados que mostram os princípios que foram descobertos por alunos de 10 e 11 anos de idade. Finalmente, tento re-estabelecer as relações com os objetivos do presente capítulo.

C. O AMBIENTE SIMBOLICO DE DESCOBERTA

Dividir Para Conquistar é um ambiente simbólico em que os alunos exploram certas propriedades dos números inteiros e princípios da aritmética superior. Os objetos conceituais do software são quatro: um dividendo, um divisor, um quociente parcial⁹ e um resto. Esses objetos estão interrelacionados através da operação matemática de *divisão com resto*, que os alunos estudam antes da divisão normal.

O algoritmo da divisão, também conhecido como a *identidade da divisão*, pode ser formalizado assim:

teorema 1.1

Dados quaisquer números inteiros A e B,
Existem outros números inteiros, Q e R tal que
 $A = QB + R$.

Essa formalização define o significado matemático da divisão, curiosamente, através da multiplicação. Podemos transformar essa expressão para realçar a operação de divisão¹⁰:

teorema 1.2

Dados quaisquer números inteiros A e B,
existem outros números inteiros, Q e R tal que
A dividido por B dá, como resultado,
o quociente Q e o resto R.

Na matemática, a propriedade de o resto ser sempre menor que o divisor faz parte de sua própria definição. Deixamos essa propriedade fora da presente definição pois, do ponto de vista dos alunos, essa restrição não necessariamente faz parte da idéia de divisão com resto. Como veremos, essa propriedade é uma das regularidades que os alunos poderão descobrir no contexto de *Dividir Para Conquistar*.

Essa fórmula é apresentada aqui para deixar claro para o leitor o princípio matemático básico do *Dividir Para Conquistar*. Em momento algum, os alunos encontram o princípio escrito, e não nos interessa saber se os alunos saberiam interpretar o princípio, COMO ANOTADO. Por outro lado, desejamos saber se os alunos entendem o princípio, e outros correlatos, num contexto específico, sem requerer que o aluno entenda notação algébrica.

⁹ Um quociente é o resultado de uma divisão. No caso da divisão com resto, o quociente é chamado parcial pois o dividendo não é totalmente dividido; sobra um resto.

¹⁰ Essa segunda versão deixa de ser uma definição da divisão pois pressupõe a divisão.

O software é um jogo educativo em que letras representam os números 0 até 9. A finalidade do jogo, do ponto de vista dos alunos, consiste em descobrir os valores associados aleatoriamente as letras, sem cometer erros. Esse objetivo será alcançado apenas se os alunos descobrem certas propriedades relacionadas com os números inteiros. O jogo é graduado em 8 níveis de dificuldade, começando de níveis relativamente simples e indo até níveis difíceis e abstratos. A única orientação que os alunos recebem, antes de começar são explicações destinadas a esclarecer como o jogo funciona.

Os princípios básicos do jogo são os seguintes. Na tela do computador, há quatro janelas, ou áreas retangulares. Cada janela tem sua função própria. A janela do dividendo é a área em que o computador coloca o dividendo, isto é, um número qualquer que será dividido. Ao lado dessa janela, há uma janela do divisor, isto é, a janela em que o aluno coloca um número que servirá como divisor do presente ensaio. Abaixo, há uma janela que registra as informações de cada divisão. Por exemplo, se o dividendo for 38 e o aluno escolher, como divisor, o número 7, então o resultado mostrado seria "38 dividido por 7 dá 5 resto 3". No exemplo, e em todas as condições do jogo, o computador executa a divisão. O aluno apenas escolhe os divisores e através das informações projetadas na tela, tenta racionar sobre os valores das letras.

Por vários motivos resolvi focalizar problemas envolvendo a divisão com resto, usando convenções de cripto-aritmética (Bartlett, 1958; Newell & Simon, 1972) para representar incógnitas. Primeiro, a divisão com resto envolve quatro objetos matemáticos: um dividendo, um divisor, um quociente parcial e um resto. Usando diversas combinações de incógnitas e números, é possível estudar a resolução de problemas matemáticos sob diversas condições.

Ao invés de entrar numa discussão sobre os diversos níveis de jogo, exemplificarei a natureza do jogo através de protocolos com uma criança de 11 anos de idade, entrevistada em estudo piloto¹¹. A entrevista original durou aproximadamente uma hora, e o aluno experimentou 5 dos níveis de software. Abaixo, citamos partes da discussão com o entrevistador para explicar o tipo de reflexões que o ambiente pode sustentar.

¹¹ O estudo piloto consistiu na entrevista de 19 crianças de 10 e 11 anos quando o autor estava em visita sabática, no Centro Shell de Educação Matemática, da Universidade de Nottingham, Inglaterra, durante o ano de 1989. Atualmente, o autor e Analúcia Schliemann estão realizando, em Recife, uma avaliação sistemática do software. Os dados desse estudo serão apresentados em Carraher e Schliemann (1990).

D. UMA ENTREVISTA COM UM ALUNO ENQUANTO TRABALHA COM UM AMBIENTE SIMBOLICO

No primeiro problema a ser discutido, o aluno, D, está conhecendo o software pela primeira vez. O Entrevistador, E, recomenda que D escolha um divisor. D escolhe 5. O computador, então, apresenta o resultado. Y resto W. Essas informações serão representadas aqui, como:

Exemplo do nível 1

Divisor: 20

Ação: divisão por 5.

Informações na tela: $20 \div 5 \rightarrow Y \text{ resto } W$

E: qual foi a resposta?

D: Y resto W.

E: O que são Y e W, na sua opinião?

D: são numeros....o que são Y e W...?

E: Você pensa que Y e W representam o que?

D: quatro e...eh...

(E mostra ao D como indicar que $Y = 4$. Quando D coloca o numero 4 abaixo da letra Y, o computador aceita a resposta.)

D: Acho que (W) vai ser zero (coloca 0 abaixo da letra W).

(D ri quando verifica que o computador aceitou sua resposta.)

Vários outros ensaios são realizados até D descobrir quais letras representam os algarismos 0 até 9. D demonstra claramente que sabe efetivar a divisão com resto e mapear sua resposta nas incógnitas Y e W. No próximo nível, entretanto, os problemas começam a ficar mais difíceis.

Exemplos do nível 2

Dividendo: $\sigma\sigma$

D: O que é isso?!

E: Grego.

D: Grego?! Eu tenho que saber que números...ah!

Não...Vou dividir por 9. (D divide por 9)

(Informações na tela: $\sigma\sigma \div 9 \rightarrow 8 \text{ resto } 5$)

D: Tenho que adivinhar o que? Qual é 8?...Ah, eu tenho que adivinhar aquele (apontando para $\sigma\sigma$).

E: Sim, o dividendo.

D: Tá bem. Acho que eu sei...setenta...setenta e dois...não,não,não, pera aí...setenta e sete, setenta e sete.

E: Por que você disse setenta e dois, primeiro?

D: Porque esqueci que havia o resto 5.

(problema logo dado a seguir).

Dividendo: $\mu\sharp$

D: Meu Deus! (D acha o grego muito estranho). Vou tentar 9 de novo.

(Informações na tela: $\mu\sharp \div 9 \rightarrow 3 \text{ resto } 1$)

D: (falando baixinho). 9 vezes 3...mais 1. Peguei esse fácil. Isso (μ) é 2....aquilo ($\sharp$) é 8.

No nível 2, D mostra que sabe inverter a divisão com resto, obtendo-se o valor do dividendo a partir do divisor, quociente e resto. Para ele, portanto, a divisão não é apenas uma rotina mecanicamente memorizada; é algo em que as relações entre os componentes têm significado. Se podemos nos referir a sua compreensão como um teorema-em-ação (Vergnaud, 1985), em oposição a um teorema formal, ele demonstra que entende que o teorema 1.1 pode ser derivado do teorema 1.2. Nem todas as crianças de 11 anos de idade reconhecem esse princípio. Alguns, por exemplo, tratam o dividendo como o produto do divisor e quociente parcial. Com a experiência em Dividir em Conquistar, entretanto, eles conseguem descobrir o princípio completo, levando em consideração a relação do resto com os demais objetos.

Exemplos do nível 3

Dividendo: {cara coração}¹²

D: Deus! Vou ter que adivinhar. Isso é difícil. Vou tentar. É a mesma coisa, não é?

E: É.

D: Vou tentar 5 essa vez.

(Informações na tela: {cara coração} $\div 5 \rightarrow 7 \text{ resto } \text{bola}$)

E: O que você sabe?

D: É maior que 35 ou ..pode ser.

E: Me diga uma coisa. Qual é o maior número que você acha que (cara coração) pode ser?

D: Só pode ser até 35 mais 9...por que..

E: Até que número?

D: 44. Menor que 45.

E: É a bola?

D: Pode ser qualquer coisa entre 1 e 9...isso é o problema.

E: A bola pode ser 9?

D: Sim.

No nível 3, não se pode mais encontrar a solução imediatamente através de cálculos. O aluno precisa colher informações e tirar conclusões sobre os valores possíveis das incógnitas. D mostra acima que os possíveis valores para o resto impõem limites sobre os valores que o dividendo, {cara coração}, pode ter. Ele raciocina corretamente que, se o divisor vezes o quociente parcial são 35, e o resto varia entre 0 e 9, então o dividendo tem que ter um valor entre 35 e 44.

Logo depois, quando ele descobre que

{cara coração} $\div 2 \rightarrow 19 \text{ resto } \text{seta}$.

¹² Isto é um pequeno desenho de uma cara à esquerda de um pequeno coração.

ele reduz o intervalo de possíveis valores de {cara coração} para 39 até 44. Ele está deduzindo a partir das informações apresentadas na tela e sua compreensão implícita de certos princípios matemáticos.

(Informações na tela: {cara coração} ÷ 6 --> 6 resto cara)

D: sabe que cara pode ser apenas 3 ou quatro. Porém, ele não estende essa conclusão para o resto.

E: Cara pode ser o que?

D: quarenta ou trinta.

E: Pensei que podia ser apenas entre zero e nove.

D: Não. Quero dizer 3 ou 4, cara.

E: Tudo bem. Então só pode ser três ou quatro. Então se cara pode ser apenas 3 ou 4, o que você sabe sobre cara coração?

D: Coração pode ser zero e cara...um..não, não

E: Continue! ...

D: 4. Pode ser...

E: Que mais?

D: Cara pode ser 4 e coração pode ser 1.

E: Não.

D: Claro que pode.

E: Tem certeza?

D: Porque tem que ser menor que 44. E isso (41) é menor que 44.

E: Certo. Mas..olhe para a última linha. Se cara é quatro..o que coração tem que ser?

D: Se cara é 4, coração tem que ser zero.

E: Como você conclui isso?

D: Porque se eu olhar a última linha e faxo 6 vezes 6, tenho 36, e se cara é 4tem que ser 40.

E: E se cara for 3?

D: {cara coração} teria que ser 39>

E: Um-hmm.....

Essa conclusão, que é correta, parece firme. Porém, ainda é frágil, como D logo demonstra.

E: Então, quais são as únicas possibilidades que cara coração pode ser?

D: 40 e 39.

E: Posso estar errado? Talvez a gente esqueceu algo.

D: Você esqueceu algo. Porque pode ser... quarenta alguma coisa. A gente só sabe que tem que ser menor que 44. 41 é menor que 44.

E: Sim. Mas você me disse que cara só pode ser 3 ou 4.

D: Sim. Mas coração pode ser 1, 2, 3, ou 9.

E: Mas se cara é apenas 3 ou 4?...

D: Pode ser. Cara pode ser 3 e coração pode ser 9. Cara pode ser 4 e coração seria zero. Cara pode ser 4 e coração seria 1, e...

E: Coração pode ser 1 se cara é 4?

D: Sim.

:

E: Você me disse antes que cara pode ser apenas 3 ou 4.

D: Cara mas não disse nada sobre coração.

D finalmente quebra a senha quando faz a seguinte divisão:

{cara coração} ÷ 10 --> 3 resto coração

D: Então é trinta...eh, então é 39! Consegui!.

E: Como você sabe que conseguiu?

D: Porque diz...tinha que ser 3.

E: O que tinha que ser 3?

D: 10 vezes..quero dizer..dividido por 10, tinha que 3 resto coração. Então, coração é 9 e a outra coisa (a cara) é 3.

O diálogo acima mostra que D vacila entre a idéia de que cara é restrita aos valores 3 ou 4 (porque {cara coração} é entre 39 e 44) e cara, do resto, que pode ser 0 até 4, para que o dividendo chegue até 44. Ele está tentando coordenar as conclusões mas não demonstra reconhecer, com firmeza, a idéia de que a restrição de possibilidades (aos valores 3 ou 4) não pode ser alterada através de informações menos excludentes (0 até 4 são possíveis).

E. A RELEVANCIA DO EXEMPLO

Com o intuito de esclarecer a relevância do software para a Psicologia da Aprendizagem, faremos, ao concluir, algumas observações de ordem mais geral.

1. O ambiente simbólico lida com objetos físicos, porém, mais importante que estes são os objetos conceituais e suas interrelações.

2. Os conceitos relacionados com um ambiente simbólico são aprendidos através da investigação e ações realizadas pelo aluno, bem como a reflexão e a discussão do problema em mão. O software descrito acima lida com os conceitos de divisão e multiplicação, de variável, de função, a propriedade de identidade etc. como com o raciocínio lógico a respeito de conjuntos de possibilidades. Nos níveis superiores, não discutidos aqui, o conceito de congruência começa a aparecer. Embora cada letra represente apenas um valor, com a experiência, os alunos começam a considerar a gama de possibilidades de cada letra e, portanto, começam a encarar as incógnitas como variáveis.

3. Uma teoria de aprendizagem precisa focalizar os processos de representação simbólica que o aluno usa ao tentar resolver problemas no ambiente simbólico.

- REFERENCIAS

- ✓ Carraher, D. W.; Borba, P. H. & Santos, A. L. (1987). Acesso a um banco de dados através de linguagem natural. Anais do Simposio Brasileiro de Inteligência Artificial, UFU-Uberlândia, MG, 13-16 de outubro, p. 217-224.
- Carraher, D.W. (1989) Divide And Conquer: Software for exploring principles of higher arithmetic. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.
- Carraher, D.W. (1990) O Que Esperamos do Software Educacional? Acesso: Revista de Educação E Informatica. (Sao Paulo: Fundação Para O Desenvolvimento da Educação). 2(3), 32-36.
- ✓ Carraher, D.W. (1983) Educação tradicional e educação moderna. In T.N. Carraher Aprender Pensando: Contribuições da Psicologia Cognitiva Para a Educação. *Grado Editora*.
- ✓ Carraher, D.W. & Schliemann, A.D. (1990) Bridging the Gap Between Informal and Formal Mathematics: Developing Children's Understanding of Principles of Higher Arithmetic. Trabalho apresentado ~~para apresentação~~ no Congresso da International Association of Applied Psychology, Kyoto, Japão.
- Carraher, T.N., Schliemann, A.D. & D. Carraher (1988). Mathematical Concepts in Everyday Life. In G.B. Saxe e M. Gearhart (Eds.) Children's Mathematics. New Directions for Child Development, 41. San Francisco: Jossey-Bass.
- ✓ Chomsky, N. (1959) Review of Verbal Behavior, by B.F. Skinner. Language, 35(1), 26-58.
- ✓ Geertz, C. (197) A interpretação das culturas. Rio: Zahar.
- Hatano, G. (1982) Cognitive consequences of practice in culture-specific procedural skills. Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition, 4(1), 15-18.
- ✓ Hume, D. (1739) Of ideas, their origin, composition, connection, and abstraction. [do Treatise on Human Nature]
- In Hume, D. (1962) (A. Flew org.) On Human Nature and Understanding. Nova York: Crowell-Collier, 176-181.
- Mayer, R.E. (1981) Cognição e Aprendizagem Humana. São Paulo: Culturix.
- ✓ Papert, S. (1987) "Computer Criticism vs. Technocentric Thinking", Educational Researcher, 1987. vol., *revisão*
- ✓ Piaget, J. & Inhelder, B. (1969) The gaps in empiricism. ~~for~~ for the empiricism. In A. Koestler & J.R. Smythies (org.) Beyond Reductionism: New Perspectives on the Life Sciences. Boston: Beacon Press, 118-160.

- Resnick, L., I. Peled, & P. Nesher (1988) Intelligent microworlds for scaffolding number concept development. Relatório não publicado. Universidade de Pittsburgh, Learning, Research and Development Center. 32 páginas.
- Resnick, L., Nesher, P. Leonard, F., Magone, M. Omanson, S. & Peled, I. (no prelo) Conceptual bases of arithmetic erros: the case of decimal fractions. Journal of Research in Mathematics Education.
- ✓ Searle, J.R. (1990) Is the Brain's Mind a Computer Program? Scientific American, 262(1), 20-25.
- Skinner, B.F. (1950). Are theories of learning necessary? Psychological Review, 57(4), 193-216.
- ✓ Skinner, B.F. (1954) The science of learning and the art of teaching. Harvard Educational Review, 24(2), 86-97..
- ✓ Skinner, B.F. (1980/1958). Comportamento operante. In W.S. Sahakian, (org.) Aprendizagem: Sistemas, Modelos e Teorias. Rio: Interamericana, 88-102. [parte citada originalmente publicada em Skinner, B.F. (1958) Programmed instruction and teaching machines, Science, 128,970-71.]
- ✓ Sleeman, D. & Brown, J.S. ⁽¹⁹⁸²⁾ Intelligent Tutoring Systems. Nova York: Academic Press.
- ✓ Totsuka, T. & ~~M~~ Miyake, ^{N. (1981)} Computer as a tool for children's exploration of nature. Quarterly Newsletter of the Laboratory of Comparative Human Cognition. 10(1), 12-17.
- van Emden, M.H. (1988) Project 4.5 Department of Computer Science. University of Victoria, Canada. Logic Programming Laboratory. Technical Report, LP-6. 22páginas.
- Vergnaud, G. (1983) Why is an epistemological perspective a necessity for research in mathematics education? Reunião para Psychogy for Mathematics Education, North American Branch, Montreal.
- ✓ Vergnaud, G. (1985) Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. Psychologie Française, 245-252.
- Vergnaud, G. (1988) Multiplicative Structures. In M. Hiebert & J. Behr (Eds.) Number Concepts and Operations in the Middle Grades. National Council for Teachers of Mathematics.
- ✓ Winston, P.H. (1984) Artificial Intelligence. Reading: Addison-Wesley.
- Winston, P.H. (1973) Learning to identify toy block structures. In P.N. Johnson-Laird & P.C. Wason (1977) (orgs.) Thinking: Readings in Cognitive Science. Cambridge: Cambridge University Press, 199-211.