

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES:
UMA REVISÃO DESCRITIVA

Marcelo Augusto Santos Turine
Marcus Vinicius Maltempi
Ricardo Hasegawa

SÃO CARLOS
Estado de São Paulo - Brasil
Novembro - 1994

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais	1
1.2. Período abrangido e fontes consultadas	1
1.3. Organização do texto	2
2. SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES	3
2.1. Introdução	3
2.1.1. Histórico	4
2.1.2. Definição e objetivos	6
2.2. Arquitetura básica	8
2.2.1. O módulo do domínio	10
2.2.2. O modelo do estudante	11
2.2.3. O módulo tutorial	14
2.2.4. O módulo da interface	16
2.3. Outras arquiteturas	18
2.3.1. Arquitetura de Anderson	18
2.3.2. Arquitetura de Hartley e Sleeman	18
2.3.3. Arquitetura de O'Shea	19

3. ANÁLISE CRÍTICA DE STIs	20
4. EXEMPLOS DE SISTEMAS	23
5. PROJETOS EM DESENVOLVIMENTO	26
6. CONCLUSÃO	28
6.1. Avaliação geral	28
6.2. Análise da situação brasileira	29
BIBLIOGRAFIA CITADA	30
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA E RECOMENDADA	42
APÊNDICE I - GLOSSÁRIO	48
BIBLIOGRAFIA CITADA NO GLOSSÁRIO	52

RESUMO

Sistema Tutor Inteligente (STI) corresponde a uma nova tecnologia dentro da área de Inteligência Artificial (IA). STIs são sistemas educacionais computadorizados que tentam imitar a capacidade dos tutores humanos (professores). O presente trabalho fornece uma revisão bibliográfica descritiva sobre STIs. É apresentado um breve histórico, alguns conceitos básicos relativos a STIs e sua arquitetura básica, ressaltando a importância de cada módulo que a compõe. Além disso são apresentados alguns exemplos de sistemas tutores. Por último é apresentada uma descrição dos projetos em desenvolvimento no Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos (ICMSC - USP).

ABSTRACT

Intelligent Tutoring System (ITS) is an important new technology within the field of Artificial Intelligence (AI). ITSs are education-purpose computer systems, which attempt to mimic the capabilities of human tutors (teachers). This work is a descriptive review related to ITSs. It presents a brief historical, introduces some basic concepts of ITSs and their standard architecture, and points out the importance of its modules. Moreover, this work gives some examples of ITSs. Finally, a description of the projects being developed at the Institute of Mathematical Sciences of São Carlos (ICMSC - USP) is presented.

INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

O objetivo deste trabalho é organizar uma revisão bibliográfica sobre STIs. Tem por finalidade abordar os principais trabalhos e contribuições nesta área, tanto em nível nacional quanto internacional, oferecendo uma visão ampla do assunto. Esta revisão descritiva pretende auxiliar o desenvolvimento de futuros trabalhos que não sejam meras repetições de outros.

A importância do assunto tratado neste trabalho pode ser justificada pelo grande número de contribuições encontradas, tanto na área de educação quanto na área de computação.

Educação (ou instrução) é uma das áreas onde as aplicações de IA mais têm crescido nos últimos tempos. A pesquisa em STIs é um exemplo concreto desta interação.

1.2. Período abrangido e fontes consultadas

Esta revisão abrange contribuições sobre STIs no período de 1970 a 1994. A maioria das contribuições foram encontradas a partir de 1987, provavelmente devido a um maior desenvolvimento da computação e das outras áreas envolvidas.

Foram consultados os seguintes periódicos:

- a) Engineering Index (1987 a 1993);
- b) Current Contents (1990 a 1992);
- c) Index to Scientific & Technical Proceedings (1990 a 1992);
- d) Artificial Intelligence - Key Abstracts (1989 a 1993);
- e) Psychological Abstracts (1991 a 1993);

- f) Computer Abstracts (1990 a 1992);
- g) Dissertation Abstracts International (1989 a 1992);
- h) Artificial Intelligence (1989 a 1993);
- i) International Journal of Man-Machine Studies (1990 a 1994);
- j) AI Magazine (1988 a 1993), e
- k) AI Expert (1990 a 1993).

Deve-se ressaltar que a disponibilidade de documentos nesta área no Brasil apresenta deficiências. Cerca de 12 documentos utilizados nesta revisão foram obtidos gratuitamente no exterior, através do sistema CODIESP*.

1.3. Organização do texto

O primeiro capítulo descreve o objetivo geral desta revisão descritiva, a importância do assunto abordado, o período abrangido e as fontes de referência consultadas.

O capítulo 2 apresenta um pouco da história dos STIs, bem como sua definição, objetivos e alguns modelos de arquitetura. É apresentada uma arquitetura básica, descrevendo as funções e principais técnicas utilizadas em cada módulo desta arquitetura.

No capítulo 3 é feita uma análise crítica do uso de STIs no processo de ensino-aprendizagem. Alguns exemplos de STIs encontrados na literatura são descritos no capítulo 4. O capítulo 5 descreve os projetos na área de STIs que estão sendo desenvolvidos no ICMSC - USP.

O capítulo 6 apresenta as conclusões deste trabalho, destacando o estágio de desenvolvimento da área e uma análise da situação brasileira.

O apêndice I contém o glossário de algumas palavras importantes, específicas para a área de STIs, que ainda não são consagradas na literatura. Neste texto essas palavras estão sublinhadas na sua primeira ocorrência.

* Este trabalho foi apresentado na disciplina SEM 892 - Pesquisa Bibliográfica, do curso de Pós-graduação do Departamento de Engenharia Mecânica da EESC - USP, ministrada pelo Prof. Alfredo Américo Hamar.

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

2.1. Introdução

Segundo VICCARI & OLIVEIRA (1992), uma das áreas de pesquisa que mais tem crescido nas últimas décadas é a aplicação de Inteligência Artificial (IA) na Educação. Um exemplo real deste crescimento é a pesquisa em STIs.

Segundo ELSOM-COOK¹, citado por NWANA (1990), assim como a IA tenta reproduzir no computador um comportamento que, se realizado por um ser humano, seria considerado "inteligente", os STIs tentam reproduzir um comportamento no computador que, se realizado por um ser humano (professor), seria descrito como um "bom ensino".

Esta analogia professor-STI é a mais natural e a mais difundida na literatura, porém, contestada por alguns pesquisadores da área. SELF (1990), por exemplo, baseado nas observações dos professores em salas de aula, considera um risco tal analogia, especialmente quando comparado o contexto destas observações com aquele encontrado por usuários típicos de STIs.

SELF (1990) prefere uma analogia com um ginásio de educação física: quando se vai a um ginásio espera-se encontrar equipamentos especializados, ser auxiliado por um treinador e não se preocupar com certas convenções sociais. Espera-se sair, depois de estrênuos exercícios, fisicamente fortalecido. É este estado de espírito que é esperado dos usuários de STIs.

¹ ELSOM-COOK, M. Intelligent computer-aided instruction research at the Open University. *Technical Report N°63*, The Open University, Computer-Assisted Learning Research Group, Milton Keynes, 1987.

2.1.1. Histórico

Segundo PAPERT (1980, 1987), o ensino através de meios informatizados (informática) tem suas raízes no início da própria ciência da computação.

A utilização de máquinas como ferramentas educacionais teve início na década de 20. SIDNEY PRESSEY (PAPERT, 1987) previu uma "revolução industrial na educação", querendo com isso se referir ao emprego, pela escola, de procedimentos e técnicas que já vinham sendo utilizadas com êxito nas indústrias. Um exemplo de uma máquina inventada por PRESSEY é a de corrigir testes de múltipla escolha.

Esta idéia foi posteriormente elaborada por SKINNER, psicólogo norte americano, que no início de 1950 propôs uma máquina para ensinar um determinado assunto, marcando o começo da instrução programada. Segundo PARRA (1987, p.78):

"Um dos pontos fundamentais da teoria de SKINNER é o que se refere ao "reforço", que é visto como o motor da aprendizagem. Um indivíduo aprende, isto é, modifica seu comportamento, observando as consequências de suas ações."

De acordo com VALENTE (1991), a instrução programada consiste em dividir o material a ser ensinado em pequenos segmentos logicamente encadeados, denominados módulos, que seriam apresentados de forma impressa. Pode ser caracterizada como uma forma auto-didática de ensino, na qual as informações são apresentadas em pequenas doses e de forma gradual, segundo um encadeamento lógico, do mais simples ao mais complexo, do mais concreto ao mais abstrato, permitindo que o estudante assimile os conceitos de acordo com seu próprio ritmo (VALENTE, 1993).

Com o advento da ciência da computação, notou-se que os módulos do material instrucional poderiam ser apresentados com grande flexibilidade pelo computador. Assim, durante o início dos anos 60, diversos programas de instrução programada foram implementados. Com esses programas, nascia a **Instrução Auxiliada por Computador** (*Computer Aided Instruction* - CAI) ou **Aprendizagem Auxiliada por Computador** (*Computer Aided Learning* - CAL) (BARR & FEIGENBAUM, 1982; NWANA, 1990).

Segundo OBEREM (1992), a abordagem de ensino ou os aspectos pedagógicos que têm sido embutidos em muitos dos sistemas CAI tem caracterizado a psicologia behaviorista, também conhecida como psicologia estímulo-resposta de SKINNER. Isto resultou em sistemas limitados educacionalmente e fonte de frustrações para muitos estudantes.

Alguns fatores que limitaram tanto a utilização quanto a aceitação dos sistemas CAI são (WENGER, 1987; RICKEL, 1989; DUCHASTEL, 1989; AIKEN, 1989, LESGOLD, 1987):

- a) a apresentação do assunto a ser ensinado não se adapta às necessidades individuais de cada estudante. A forma estática de como o assunto é organizado apresenta pouca ou nenhuma vantagem sobre as ferramentas impressas tradicionais de ensino;
- b) os sistemas CAI possuem uma habilidade limitada para analisar as intervenções dos estudantes. Obrigam o estudante a atuar de forma passiva, isto é, a sua participação resume-se apenas à seleção de alternativas pré-armazenadas pelo projetista do sistema;
- c) estes sistemas não fornecem um ensino individualizado. Isto significa que todos os estudantes, independente de suas habilidades ou pré-conhecimento do assunto ministrado, recebem exatamente o mesmo material na mesma sequência;
- d) a falta de conhecimento do domínio a ser ensinado impossibilita o estudante de fazer perguntas do tipo "Por quê?" e "Como?". Nos sistemas CAI, o conhecimento do assunto a ser ensinado é representado implicitamente, ou seja, está contido no material instrucional pré-armazenado pelo projetista. O computador simplesmente segue, na interação com o estudante, as instruções definidas pelo projetista e apresenta o material. Isto impossibilita ao sistema dar explicações sobre o domínio do conhecimento a ser ensinado, e
- e) os sistemas CAI possuem algumas estratégias de ensino fixas que podem ser adaptadas somente para a classe de estudantes que o projetista definiu anteriormente.

Segundo CARBONELL (1970), uma das necessidades dos sistemas CAI para que, realmente, possibilitem o aprendizado dos estudantes é possuir flexibilidade no processo de ensino. Isto significa que o sistema precisa ser capaz de deduzir e manter um modelo detalhado do que o estudante sabe e não sabe (WENGER, 1987).

Assim, estas informações são utilizadas para individualizar o ensino, modificando a apresentação do conteúdo e a estratégia de ensino, conforme necessário (OBEREM, 1992). Segundo SELF (1974), DUCHASTEL (1989), RICKEL (1989) e NWANA (1990), o principal problema destes sistemas é que eles não são capazes de fornecer um *feedback* rico ou um ensino mais individualizado para os estudantes, pois eles não foram projetados para saberem **o quê** estão ensinando, **para quem** estão ensinando e **como** devem ensinar.

Em resposta às limitações impostas pelos sistemas CAI, alguns pesquisadores argumentaram que a solução destas limitações não poderia ser realizada sem a utilização de técnicas de IA (NWANA, 1990). CARBONELL (1970), introduziu a idéia de usar técnicas e métodos de IA em sistemas CAI, nascendo assim, ainda na década de 70, os **Sistemas Inteligentes de Instrução Auxiliada por Computador** (*Intelligent Computer-Aided Instruction - ICAI*) ou mais popularmente conhecidos como **Sistemas Tutores Inteligentes - STI** (*Intelligent Tutoring Systems - ITS*).

De acordo com LARKIN & CHABAY (1992, p.2):

"The aim of ITS developers is to implement in programs a set of instructional principles sufficiently general to provide effective instruction for a variety of teaching tasks. ITSs programs are strongly rooted in research on the psychology of learning."

2.1.2. Definição e objetivos

Segundo RICKEL (1989), um STI é definido como sendo um programa computacional destinado a auxiliar o processo de ensino-aprendizagem, utilizando técnicas e métodos de IA para representar o conhecimento e para conduzir a interação com o estudante. É um sistema projetado para saber **o quê** ensinar, **a quem** ensinar e **como** ensinar (NWANA, 1990).

Métodos e técnicas de IA desempenham um papel relevante nos STIs, por possibilitar, em princípio, uma maior flexibilidade e participação ativa do estudante e do sistema, gerando um ambiente cooperativo para o ensino e para a aprendizagem (RICKEL, 1989).

De acordo com ELSOM-COOK (1988, p.165):

"One of the advantages of computer-based approaches to education is the possibility of providing a one-to-one correspondence between pupils and machines, facilitating individualization in learning".

Segundo SLEEMAN & BROWN (1982, p.2), para que estes sistemas tivessem um impacto significativo no processo de ensino-aprendizagem era necessário que:

"... the system must have its own problem-solving expertise, its own diagnostic or student modelling capabilities and its own explanatory capabilities. In order to orchestrate these reasoning capabilities it must also have explicit control or tutorial strategies specifying when to interrupt a student's problem-solving activity, what to say and how best to say it."

Considerando a Educação como um processo de comunicação de conhecimento entre um professor que tem mais conhecimento e um estudante que tem menos conhecimento, WENGER (1987), apresentou uma visão expandida para os STIs. Enfatiza que os STIs podem ser vistos como ambientes de comunicação de conhecimento, onde professores-sistemas e estudantes se comunicam para transmitir o conhecimento. O objetivo desta comunicação é obter o conhecimento ou a especialidade em algum domínio.

Segundo SELF (1990), existem muitos pesquisadores que não concordam com a idéia de considerar STIs como sistemas de comunicação de conhecimento. SELF defende a idéia de que conhecimento não é um tipo de mercadoria que pode ser transmitida. Ele não pode ser simplesmente recebido pelos estudantes, mas deve ser construído de alguma forma por ele. A construção deste conhecimento, ou seja, a aprendizagem por parte do estudante é, essencialmente, o resultado de um processo reflexivo. Muitas vezes, os estudantes não aprendem somente fazendo algo, mas refletindo sobre o que estão fazendo ou sobre o que já fizeram, isto é, passando pelo processo de tomada de consciência das ações.

Decorrente de tudo que envolve a pesquisa de STIs, OHLSON (1987), SELF (1988), MIZOGUCHI (1990), BURGER (1992) e KEMP (1992), apontam a necessidade de buscar premissas psicológicas, epistemológicas e pedagógicas para a construção de STIs. Portanto, o projeto e desenvolvimento destes sistemas pertencem a uma nova área de pesquisa denominada de Ciência Cognitiva (KEARSLEY, 1987a) - uma área multidisciplinar que envolve a Ciência da Computação, Psicologia Cognitiva e Educação. Enquanto a área de Ciência da Computação, através da IA, fornece técnicas e métodos para a representação e manipulação do conhecimento envolvido, a área de Psicologia Cognitiva traz modelos de teorias do aprendizado e modelos sobre a forma como o indivíduo constrói o conhecimento na interação organismo/meio-ambiente. Por último, a área de Educação fornece teorias para que o processo de ensino-aprendizagem seja mais flexível e proveitoso para ambas as partes (sistema e estudante).

De acordo com REISER *et al.* (1992, p.111):

"A central issue in designing intelligent tutoring systems is the nature of the knowledge of the target domain. In problem solving domains such as mathematics, computer programming, and the physical sciences, a tutor needs to be able to solve the problems presented to students, step by step, following any reasonable path to a solution. The system must be able to trace the student's reasoning so that it can offer suggestions or criticisms on individual steps, rather than being limited to advice on a complete solution attempt."

2.2. Arquitetura básica

Observando como são organizados os vários STIs existentes na literatura, nota-se que estes podem variar um pouco quanto à arquitetura, ou seja, quais e como são organizados os módulos que a compõem (NWANA, 1990; LESGOLD, 1987).

Isto se deve ao fato de que a maior parte do trabalho na área ainda é de natureza experimental, ou seja, não existe uma teoria significativa de STI: a maioria dos textos sobre STIs (por exemplo, WENGER, 1987; MANDL & LESGOLD, 1988; POLSON &

RICHARDSON, 1988) são inteiramente discursivos, sem nenhum tipo de formalização de seus conteúdos (SELF, 1990).

Segundo VICCARI & OLIVEIRA (1992), desde o surgimento dos STI até o final da década de 80, vários sistemas tutores foram implementados (**PROUST** - JOHNSON & SOLOWAY, 1984; **GUIDON** - CLANCEY, 1983; **Tutor-LISP** - REISER *et al.*, 1985; **SOPHIE I-II-III** - BROWN & BURTON, 1982; entre outros). As arquiteturas que evoluíram durante este período sugerem que um STI deve possuir:

- a) um modelo explícito do domínio e um programa especialista capaz de resolver problemas neste domínio;
- b) um modelo do estudante identificando o quê o estudante compreende do domínio, e
- c) um modelo de ensino capaz de prover instrução, apresentar novos materiais instrucionais e corrigir concepções incorretas.

Existem quatro componentes que podem ser considerados como componentes mínimos, formando uma arquitetura básica para os STIs (WENGER, 1987; NWANA, 1990). Cada um destes componentes constituem um módulo funcional distinto e são representados, respectivamente, como:

- a) **módulo do domínio**: contém o conhecimento do que será ensinado;
- b) **modelo do estudante**: contém informações sobre o estudante que utilizou e/ou está utilizando o sistema;
- c) **módulo tutorial**: contém estratégias de como ensinar, e
- d) **módulo da interface**: responsável por administrar a interação do sistema com o estudante.

2.2.1. O módulo do domínio

O módulo do domínio (também chamado de módulo do especialista) contém o conhecimento do assunto a ser ensinado. Este conhecimento é representado de forma declarativa, separado das informações de controle (como ensinar) (MIZOGUCHI, 1990).

Esta separação e o fato deste material ser armazenado explicitamente em uma base de conhecimento, e não em uma base de dados convencional, são fatores que determinam as diferenças entre um STI e um sistema CAI convencional (HEGAZI, 1990).

Uma das vantagens de se representar o conhecimento explicitamente é a possibilidade do sistema raciocinar sobre a estrutura do conteúdo a ser ministrado (CERCONE, 1987; BRACHMAN, 1988).

Em muitos casos, a representação do conhecimento não é somente uma descrição de vários conceitos e habilidades que o estudante está para adquirir, como um currículo escolar. Pode ser considerada um modelo verdadeiro que representa um domínio específico e restrito, e fornece ao sistema uma forma dinâmica de experiência (WENGER, 1987) .

Segundo VICCARI & OLIVEIRA (1992), a escolha de como representar um determinado conhecimento no domínio de um STI depende do tipo do conhecimento a ser manipulado e do seu uso pretendido no sistema. Em domínios de natureza descritiva e teórica (p.ex. Geografia, Matemática ou Física), a representação utilizada é geralmente declarativa (através de Redes Semânticas ou Frames). Em domínios orientados à execução de uma determinada tarefa (p.ex. programação Pascal, Lisp), a representação tende a ser procedimental (Regras de Produção, por exemplo).

O módulo do domínio exerce duas funções principais (WENGER, 1987; NWANA, 1990):

- a) serve como fonte de conhecimento do assunto a ser ensinado para o estudante. Isto inclui capacidades de geração de explicações e respostas para os estudantes, bem como tarefas e questões a serem realizadas, e
- b) serve como um padrão para avaliar o desempenho geral do estudante. Para isto, o sistema deve ser capaz de gerar soluções para os problemas no mesmo contexto do estudante, para que suas respectivas respostas

sejam comparadas. Segundo WOOLF & McDONALD (1984), mesmo que o módulo do domínio não tenha necessariamente habilidades para resolver todos os problemas para o estudante, deve pelo menos reconhecer uma resposta incorreta.

2.2.2. O modelo do estudante

Segundo RICKEL (1989), um sistema de auxílio ao ensino, cujo objetivo é alcançar um ensino mais individualizado e um comportamento mais inteligente, necessita tanto do conhecimento do assunto a ser ensinado como também saber o nível de conhecimento do estudante sobre o conteúdo deste assunto.

Assim, o módulo que contém uma representação do estado atual do conhecimento e do desempenho do estudante sobre o assunto que está sendo ensinado, é denominado de modelo do estudante (VANLEHN, 1988).

O modelo do estudante é atualizado dinamicamente pelo sistema, e fornece um "quadro" representando o desempenho de um particular estudante em um determinado momento (HEGAZI, 1990).

Idealmente, um STI deveria saber o nível de conhecimento do estudante no assunto que está sendo ensinado e o comportamento de aprendizagem do estudante, envolvendo aspectos como: ritmo, os métodos de apresentação aos quais o estudante responde melhor, o seu nível de interesse e motivação pelo assunto em questão e sua área de especialidade, entre outras (RICKEL, 1989; KEMP, 1992; TAKEHARA *et al.* 1993b).

De acordo com WENGER (1987), este modelo deveria incluir todos os aspectos relativos às características e nível de conhecimento do estudante que tenham possíveis repercussões sobre seu desempenho no processo de aprendizagem. Portanto, construir um modelo perfeito do estudante não é trivial (BURGER & DESOI, 1992).

Segundo NWANA (1990), provavelmente esta perfeição seja impossível, pois o canal de comunicação sistema-estudante usado (o teclado ou a tela) é considerado muito restrito. Tutores humanos (professores) normalmente combinam dados de uma grande

variedade de fontes, como por exemplo os efeitos da voz ou expressão facial dos seus estudantes.

Embora os STIs atuais ainda estejam longe de possuir um modelo do estudante ideal, grandes progressos foram feitos em relação a sistemas CAIs, como por exemplo, a possibilidade de se utilizar sistemas hipertexto/hipermídia para amenizar o problema da interação sistema tutor-estudante (NUNES *et al.*, 1993a; JONASSEN & GRABINGER, 1990; DUCHASTEL, 1990; HAMMOND, 1989; WRIGHT, 1990).

Os modelos dos estudantes podem ser classificados em modelos quantitativos e qualitativos. Os modelos quantitativos ou numéricos são baseados em valores, ou seja, o estudante é mapeado em um modelo que contém dados de quanto ele sabe sobre aquele assunto, quantas vezes ele errou, acertou, etc. Modelos qualitativos descrevem os objetos e processos do sistema, em termos das relações espaciais, temporais e de causa-efeito, ou seja, são informações sobre o estudante, tais como: qual a forma de apresentação do material instrucional a qual o estudante melhor se adaptou, qual o nível de conhecimento do estudante, quais os tipos de exercícios preferidos, entre outros (CLANCEY, 1988).

De acordo com SELF (1985), o modelo do estudante possui seis tipos de funções básicas:

- a) corretiva: para ajudar a eliminar os *bugs* do conhecimento do estudante;
- b) elaborativa: para ajudar a complementar o conhecimento do estudante;
- c) estratégico: para ajudar a promover mudanças significativas nas estratégias de ensino (módulo tutorial);
- d) diagnóstico: para ajudar a diagnosticar os *bugs* do conhecimento do estudante;
- e) prognóstico: para ajudar a determinar as prováveis respostas do estudante às ações do tutor, e
- f) avaliativo: para ajudar a avaliar tanto o estudante como o STI.

A literatura apresenta quatro tipos principais de modelo do estudante: modelo *overlay*, modelo de perturbação, modelo procedimental e modelo diferencial (VANLEHN, 1988; DUCHASTEL, 1989; VASSILEVA, 1990; NWANA, 1990). Uma descrição sucinta de cada um desses modelos é apresentada a seguir.

Segundo VASSILEVA (1990), no modelo *overlay* o conhecimento do estudante é representado como um subconjunto da base de conhecimento do módulo do domínio. Isto permite uma fácil comparação entre o que o estudante sabe e o que ele deveria saber. Esta abordagem é limitada a situações onde especialistas e estudantes usam as mesmas habilidades. Este modelo foi introduzido por GOLDSTEIN (1982) e é muito utilizado atualmente.

De acordo com VANLEHN (1988), o modelo de perturbação tem a mesma abordagem da representação do modelo *overlay*. Além do estudante ser representado como um subconjunto da base de conhecimento do módulo do domínio, o modelo pode conter uma lista de *bugs* específicos (p.ex, uma lista de sequências de ações errôneas do estudante) armazenadas no catálogo de bugs.

Além disso, o modelo de perturbação pode conter uma lista de regras do domínio ligeiramente modificadas ou perturbadas denominadas mal-rules (p.ex, são as misconceptions na mente do estudante) (VASSILEVA, 1990). Este modelo também é chamado de modelo de *bugs*. Um dos sistemas que utiliza esta abordagem é o sistema BUGGY (BROWN & BURTON, 1978).

Segundo VASSILEVA (1990), o modelo procedimental contém os passos (os caminhos) utilizados pelo estudante na resolução de um determinado problema sugerido pelo sistema. Para tornar possível uma avaliação do sistema sobre o estudante é incorporada, no módulo do domínio, algumas técnicas especiais. Estas técnicas possibilitam ao sistema imitar o modo pelo qual o estudante soluciona seus problemas.

Segundo WOOLF (1984), o modelo diferencial faz uso das comparações entre as respostas dadas pelo estudante, quando resolve um determinado problema, e a respectiva resposta dada por um especialista neste domínio. O modelo do estudante é construído baseado

na análise das diferenças entre estas duas respostas. Um exemplo de sistema que utiliza este modelo é o WEST (BURTON & BROWN, 1982).

VICCARI & OLIVEIRA (1992) tratam o modelo do estudante como um sistema de crenças, representando o conhecimento em uma base de crenças, ao invés de numa base de conhecimento.

A aplicação de técnicas de Aprendizagem de Máquina (*Machine Learning*) para gerar modelos do estudante está sendo muito pesquisada. ARUN KUMAR (1992), por exemplo, descreveu uma arquitetura de um Sistema de Aprendizagem de Máquina Integrado (*Integrated Machine Learning System -- IMLS*) para gerar um STI, enfatizando, principalmente, a modelagem do estudante.

2.2.3. O módulo tutorial

Segundo DUCHASTEL (1989) e NWANA (1990), o módulo tutorial, também chamado de módulo pedagógico ou módulo de estratégias de ensino, é o componente do STI que planeja e governa as interações com o estudante.

Este módulo é formado por um conjunto de estratégias que permitem ao sistema tutor decidir qual material apresentar e quando apresentá-lo (HEGAZI & RADY, 1990).

Para um bom desempenho, o módulo tutorial tem que verificar o modelo do estudante e avaliá-lo de forma a conseguir informações de como apresentar com sucesso um determinado tópico a um determinado estudante (NWANA, 1990; VICCARI & OLIVEIRA, 1992).

Segundo VICCARI & MOUSSALE (1990) e VICCARI & OLIVEIRA (1992), uma estratégia de ensino pode ser vista como um plano, ou seja, uma estrutura de ações visando atingir determinados objetivos. As estratégias constituem o conhecimento sobre como ensinar. Isto é, como gerar, a partir de informações sobre o estudante (fornecidas pelo modelo

do estudante) e de sua própria estrutura tutorial, uma sequência de atividades pedagógicas capazes de apresentar com sucesso um determinado tópico a um determinado estudante.

É um dos objetivos dos STIs representar explicitamente o conhecimento embutido no módulo tutorial. Isto possibilita ao sistema adaptar-se e melhorar suas estratégias de ensino com o passar do tempo (*self-improving tutors*) (RICKEL, 1989). Também possibilita que algumas estratégias sejam reusadas em outros domínios. Segundo KEARSLEY (1987b), é de fundamental importância para um STI adaptar suas estratégias de ensino a um determinado estudante.

As estratégias definidas no módulo tutorial abordam, principalmente (WENGER, 1987; NWANA, 1990; BREUKER, 1988):

- a) a forma de divisão do controle, ou seja, como é feito o gerenciamento da iniciativa no controle do aprendizado. Esta decisão pode ser classificada em:
 - a₁) controle total do sistema sobre a forma de aprendizagem. O sistema monitora todas as atividades realizadas pelo estudante, o qual apenas responde às questões formuladas pelo sistema;
 - a₂) controle do aprendizado é balanceado entre o sistema e o estudante. Ambos podem perguntar e responder questões, e
 - a₃) controle total do estudante sobre a aprendizagem. O estudante tem a possibilidade de controlar totalmente o sistema. Este controle está presente, por exemplo, em ambientes de aprendizagem por descoberta ou em sistemas de treinamento (*coach systems*);
- b) os critérios de **quando** interromper o estudante e o **quê** dizer. Esta questão desdobra-se em:
 - b₁) seleção dos tópicos a serem apresentados;
 - b₂) ordenação dos tópicos, se houver mais de um, e
- c) quais os critérios de avaliação do estudante quanto ao conteúdo ministrado.

Segundo WOOLF & MCDONALD (1984), o principal problema enfrentado pelo módulo tutorial é o controle da iniciativa, ou seja, a maneira através da qual se dará o gerenciamento da iniciativa no controle do aprendizado.

Independente do tipo de controle, o módulo tutorial deve definir **o quê** dizer ao estudante. No caso do controle baseado na iniciativa mista, o módulo tutorial deve ainda definir **quando** interromper, ou seja, que razões justificam interromper o curso de raciocínio ou aprendizagem do estudante (BREUKER, 1988).

Os critérios **quando e o quê** descritos acima constituem, segundo RICKEL (1989), a mais importante decisão pedagógica do módulo tutorial.

2.2.4. O módulo da interface

Segundo BURGER & DESOI (1992), o papel da interface na interação usuário-computador vem ganhando importância significativa desde a última década. Independentemente de sua funcionalidade, um sistema interativo terá sucesso ou não dependendo da qualidade de sua interface com o usuário.

Assim, segundo BARNARD (1990), para que um STI tenha uma interação flexível com o estudante é essencial ter um módulo específico que controla esta interação, denominado de módulo da interface.

De acordo com MILLER (1988), a interação usuário-STIs é inerentemente mais complexa do que a interação usuário-sistemas especialistas, pelo fato de os usuários (estudantes) estarem, em princípio, trabalhando com conceitos que ainda não entendem bem

Embora alguns pesquisadores (MIZOGUCHI, 1990; HEGAZI & RADY, 1990) não considerem a interface como um componente distinto de STIs, sabe-se que uma boa interface é vital para o sucesso de qualquer sistema interativo, e STIs não constituem exceção (NORMAN & DRAPER, 1986).

Pelo contrário, pode-se dizer que a questão da interação cresce de importância nesta classe de sistemas (VICCARI & OLIVEIRA, 1992), pois é na interação que o sistema tutor exerce duas de suas principais funções:

- a) a apresentação do material instrucional, e
- b) a monitoração do progresso do estudante

Portanto, de acordo com alguns pesquisadores (WINKELS, 1989; ARUN KUMAR *et al.*, 1992; BARNARD *et al.*, 1990; FRYE *et al.*, 1988) é útil distinguir aspectos que dizem respeito exclusivamente a interação sistema tutor-estudante, identificando a interface como um componente distinto.

Na apresentação do material instrucional, é necessário evitar que o estudante se entedie, ou seja, é preciso riqueza de recursos durante a apresentação. Além disso, segundo Edwards² citado por RICKEL (1989), as pessoas retém aproximadamente 25% do que escutam, 45% do que vêem e escutam, e 70% do que vêem, escutam e fazem.

Assim, RICKEL (1989) conclui que as informações são melhor absorvidas se o estudante for um participante ativo no processo de aprendizado, e se a apresentação envolver vários dos sentidos do estudante.

São ainda objetivos a serem cumpridos pelo módulo da interface (VICCARI & OLIVEIRA, 1992):

- 1) facilitar o diálogo - o estudante deve poder intervir facilmente no discurso do sistema tutor, e vice-versa;
- 2) dar respostas dentro de limites de tempo aceitáveis;
- 3) realizar a monitoração o máximo possível em *background*, não onerando o estudante com questionários excessivos.

² EDWARDS, M. The Mercedes Benz of interactive video. *Hardcopy*, 14(5): 74-80, may 1985.

2.3. Outras arquiteturas

Arquiteturas semelhantes à arquitetura básica apresentada na seção 2.2 são muito encontradas. Algumas das arquiteturas que diferem da arquitetura básica são descritas abaixo.

2.3.1. Arquitetura de Anderson

Na arquitetura do STI *Advanced Computer Tutoring* (ACT), sugerida por ANDERSON *et al.* (1985), existem quatro componentes:

- a) o domínio especialista (modelo do estudante ideal): contém todas as regras corretas usadas para solucionar os problemas do domínio;
- b) o catálogo de *bugs*: uma biblioteca extensa com as *misconceptions* e erros mais comuns do domínio a ser ensinado;
- c) o módulo tutorial, e
- d) a interface com o estudante.

2.3.2. A arquitetura de Hartley e Sleeman

A arquitetura de Hartley e Sleeman³, citado por NWANA (1990), pode ser considerada como uma das propostas que mais se parecem com a arquitetura básica descrita anteriormente. Segundo eles, o STI deveria conter quatro bases de conhecimento distintos:

- a) conhecimento do domínio;
- b) conhecimento da pessoa que está sendo ensinada;
- c) conhecimento das estratégias de ensino, e
- d) conhecimento de como aplicar o conhecimento das estratégias de ensino para prover a individualização.

³ HARTLEY, J.R. & SLEEMAN, D.H. Towards more intelligent teaching systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., 5: 215-236, 1973.

2.3.3. A arquitetura de O'Shea

O'Shea⁴, citado por NWANA (1990), propôs um modelo de arquitetura de STI constituído de cinco anéis. Em sua proposta, a representação explícita do conhecimento do domínio e das *misconceptions* mais comuns desse domínio perdem força frente a representação das habilidades do ensino, consequência da introdução dos componentes Gerador e Administrador de ensino.

⁴ O'SHEA, T.; BORNAT, R.; DU BOULAY, B.; EISENSTADT, M.; PAGE, I. Tools for creating intelligent computers tutors. In: ELITHORN, A. & BARNEJI, R., eds. *Human and Artificial Intelligence*. London, Elsevier, 1984. p.181-99.

ANÁLISE CRÍTICA DE STIs

De acordo com RIDGWAY (1988, p.29) algumas vantagens dos sistemas computacionais de auxílio ao ensino são:

- "• the idea of injecting intelligent help into learning systems appears sensible; the development of systems which adapt to users' needs might plausibly be of benefit in education;*
- AI/CAI has a good track record in domains in which: money poses no problem for development, or for running costs; students are highly motivated; where domains are heavily factually based, and where these facts can be accreted in quantity;*
- ICAI is great fun, exciting, poses a range of intellectual challenges for researchers, irrespective of the inherent educational utility of these challenges, and*
- ICAI/AI has had a great influence on both psychology and computer science and has encouraged researchers to talk to each other, to build models of processes, and to be explicit about such terms as "knowledge representation", "heuristics", and the alike, in a way which was impossible before the advent of powerful computers."*

Por outro lado, RIDGWAY (1988) destaca que muitos dos STIs existentes atendem apenas à função de expor o material instrucional de diversas maneiras e fixar/praticar habilidades. Porém, isto já é predominante nas atividades de salas de aula, não apresentando nenhuma vantagem significativa.

Segundo LOVELL⁵, citado por NWANA (1988), a área da Matemática tem um papel fundamental na transição de CAI para STI. As principais razões são:

- a) a Matemática é altamente estruturada e seus algoritmos são bem definidos, e
- b) a Matemática é uma área educacional importante, pois sustenta muitas outras ciências e engenharias.

Segundo ROSENBERG (1987) e RIDGWAY (1988), algumas críticas feitas com relação aos vários STIs no processo de ensino-aprendizagem são:

- a) o desenvolvimento de STIs enfatiza o trabalho individual, ou seja, um estudante interagindo isoladamente com uma máquina. Isto tem muitas desvantagens, pois no processo de resolução de problemas há muita necessidade de trabalho colaborativo;
- b) a tarefa de correção dos problemas deveria ser de responsabilidade do estudante e não do sistema. O sistema não tem acesso ao processo de explicação do raciocínio dos estudantes sobre o respectivo método usado para resolver os problemas. Isto é considerado um aspecto essencial para o aprendizado;
- c) se o usuário (estudante) tiver que dar detalhes sobre como está resolvendo o problema, fatalmente enfrentará efeitos negativos. Perguntar a ele pode ser inócuo: ele pode fazer coisas sem saber explicar ou descrever como o fez. Diálogos livres com a máquina estão distantes e não substituem, por exemplo, um trabalho em grupo com outros colegas;
- d) o sistema separa os conceitos das possíveis aplicações do mundo da Matemática. Um determinado conceito não deveria ser visto como um tópico separado do pensamento matemático. O uso de algoritmos em situações reais é de um valor pedagógico indiscutível;

⁵ LOVELL, K. Intelligent teaching systems and the teaching of mathematics. *AISB Quarterly*, 38: 26-30, 1980.

- e) os STIs não possuem dentro da sua arquitetura um modelo verdadeiro destinado à aprendizagem dos estudantes. Eles estão mais motivados pela disponibilidade tecnológica (o uso de computadores na educação) do que pelas necessidades educacionais de um bom ensino. O modelo deveria coletar dados sobre situações atuais e reais de ensino. Deveria gastar uma grande quantidade de tempo com os especialistas (professores) e com os usuários (estudantes). O modelo deveria ser validado por professores e estudantes que utilizam o sistema. Porém, muitos pesquisadores não parecem preocupados com estas idéias;
- f) o conhecimento envolvido nos algoritmos de depuração dos erros do estudante revelam uma rica interconexão entre diferentes domínios da Matemática. Isto restringe o valor de escolher domínios simples para serem ensinados, e
- g) há ainda uma grande porcentagem de erros não explicados (30 a 40%) em muitos sistemas tutores.

De acordo com NWANA (1988), todas estas críticas feitas com relação ao uso de STIs no processo de ensino-aprendizagem são de fundamental importância. Isto mostra que esta área é muito polêmica e que é necessário ter cuidado quando se comenta os objetivos pelos quais os STIs são construídos.

O objetivo não é o de substituir o professor em uma sala de aula por um ou vários computadores, enfatizando somente o trabalho individual máquina-estudante. Pelo contrário, deseja-se que o computador fique disponível no ambiente de sala de aula para ser uma ferramenta de auxílio, complementação, aperfeiçoamento e de possível melhoria na qualidade do ensino (NUNES *et al.*, 1993b). EPSTEIN (1990, p.13), confirma esta idéia comentando que:

"... the key to successfully using computers in instruction is to clarify the roles of the students, the teacher, the computer, and the interactions among them. Our experience tells us that students and teachers must view the computer as an useful tool, not as either a threat or an impediment to good instruction."

EXEMPLOS DE SISTEMAS

De acordo com a pesquisa realizada, observamos que os domínios mais frequentemente tratados pelos STIs desenvolvidos são: mecânica, eletrônica, programação, diagnósticos médico, jogos, geografia e matemática. Experiências têm mostrado que a representação do conhecimento do domínio é muito difícil para outras áreas de conhecimento, tais como meteorologia (DIESSEL & LEHMANN, 1992; DILLENBOURG, 1989; WOOLF, 1988).

WOOLF & MCDONALD (1984) descrevem um STI, denominado Meno-Tutor, que ensina diversos domínios, como por exemplo programação em Pascal. O Meno-Tutor é um sistema que raciocina sobre a maneira de como se comunicar com o estudante. Os tópicos escolhidos são baseados nos objetivos do estudante, na complexidade do domínio e no histórico que ele possui do estudante.

O LISPITS, descrito por CORBERTT & ANDERSON (1992), é um STI que ajuda os estudantes a aprenderem programar na linguagem de programação LISP.

Outro sistema desenvolvido para ensinar a linguagem de programação LISP é o GIL - *Graphical Instruction in LISP* (REISER *et al.*, 1992). Este sistema possui um ambiente de programação gráfica que permite ao estudante construir um programa, conectando vários objetos que representam uma porção de código em LISP.

Desenvolvido por JOHNSON (1987), PROUST é um sistema que descobre os erros não sintáticos dos estudantes em programas escritos na linguagem de programação PASCAL. Ele avalia o programa completo feito pelo estudante, descobrindo erros nos mesmos.

GISOLFI *et al.* (1992) apresentam um sistema tutor para o ensino da linguagem de programação PASCAL.

O SORT EQUIVALENT FRACTIONS, descrito por DUGDALE (1992), é um sistema destinado a ensinar os estudantes a classificarem frações equivalentes, dentro de alguns conjuntos definidos pelo sistema. O sistema apresenta aos estudantes uma coleção de frações e o estudante tem a tarefa de classificar as frações dentro de seus correspondentes conjuntos de equivalência.

Segundo DUGDALE (1992), o sistema GREEN GLOBS fornece aos estudantes uma oportunidade para usar e desenvolver seus conhecimentos sobre equações matemáticas e suas representações gráficas.

Desenvolvido por ANDERSON *et al.* (1985), o GEOMETRY Tutor é um sistema destinado a ensinar conceitos de geometria. É constituído de um componente tutorial, uma interface e um conjunto de regras de erros, onde os erros dos estudantes são diagnosticados. Uma grande característica deste sistema é o uso de um diagrama de demonstração para comunicar ao estudante a estrutura lógica do processo de solução do problema pelo qual uma prova é gerada.

O sistema WEST, descrito por BURTON & BROWN (1979), é um jogo de computador desenvolvido originalmente pelo projeto PLATO. Oferece ao estudante treinamento e prática em conceitos relacionados à aritmética.

O sistema BUGGY (BROWN & BURTON, 1978) fornece uma experiência de ensino no diagnóstico de procedimentos incorretos em aritmética e uma prática na descoberta de causas de erros de estudantes. Ele pode reproduzir vários erros que deverão aparecer na solução de um problema de adição e subtração.

BURTON (1982) descreve duas outras versões do BUGGY: DEBUGGY e IDEBUGGY. O DEBUGGY é uma versão que pode gerar um conjunto de erros dinamicamente. O algoritmo utilizado para o diagnóstico é chamado de "gera e testa". O algoritmo gera um conjunto de diagnoses, encontra respostas para cada prognóstico, testa as respostas comparando-as com o do estudante e mantém aquelas que se adequam melhor.

O sistema IDEBUGGY é uma versão interativa que gera problemas para, sucessivamente, limitar o conjunto de diagnoses em consideração.

Desenvolvido por CLANCEY (1983), o sistema GUIDON tem o objetivo de ensinar a diagnose médica de problemas num determinado domínio. Utiliza as regras do

sistema especialista MYCIN, que é um programa projetado para auxiliar na determinação de tratamento de doenças infecciosas.

BROWN E BURTON (1982) desenvolveram os sistemas SOPHIE I, SOPHIE II e SOPHIE III. Estes sistemas são gerações sucessivas de um sistema projetado para auxiliar os estudantes a testarem e depurarem uma função hipotética em um circuito eletrônico simulado.

Um dos STIs mais antigos é o SCHOLAR. Foi desenvolvido com uma base de conhecimento sobre geografia da América do Sul. A base de conhecimento é representada em uma rede semântica de objetos ou conceitos (CARBONELL & COLLINS, 1973).

HOLLAN *et al.* (1987) desenvolveram o sistema STEAMER, que aborda o tema de engenharia de propulsão. Um dos pontos principais do sistema é a sua interface gráfica.

O SHERLOCK é um ambiente de treinamento e prática desenvolvido para a Força Aérea Norte Americana. Seu objetivo é aumentar o nível de conhecimento em descobrir falhas ou defeitos que podem ser encontrados nos caças F-15 (LESGOLD *et al.*, 1992).

PROJETOS EM DESENVOLVIMENTO

No Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos (ICMSC-USP) foi criado um grupo de pesquisa na área de STIs em 1992. Este grupo contém oito pesquisadores. Os projetos que estão em desenvolvimento são descritos abaixo.

Um trabalho tem como objetivo construir uma arquitetura em rede para STIs denominada ARQTEMA. Esta arquitetura tem a finalidade de auxiliar estudantes no aprendizado da matemática. A arquitetura proposta baseou-se no modelo de MICHENER (1978) que propõe uma representação de qualquer teoria da matemática através de redes envolvendo três categorias do conhecimento: conceitos, exemplos e resultados. Neste trabalho a pesquisadora estende este modelo introduzindo, para fins tutoriais, duas novas categorias: exercícios e catálogos de *bugs*. Além disso, o modelo possui um meta-nível que relaciona os conceitos de cada item curricular a ser apresentado para o estudante. O conhecimento do sistema está dividido em quatro módulos: módulo do domínio, modelo do estudante, módulo tutorial e módulo da interface (TAKEHARA, 1993; TAKEHARA *et al.*, 1993; TAKEHARA, 1994; NUNES *et al.*, 1993c).

Um segundo trabalho, tem como objetivo fornecer uma estrutura genérica para gerar explicações para STIs em Matemática que possuam a arquitetura baseada em redes proposta por TAKEHARA (1994), aumentando a funcionalidade destes no sentido de incluir explicações adaptadas. Esta estrutura genérica para gerar explicações constitui um módulo chamado INTEMA, que é mantido no módulo de interface do ARQTEMA. Através do INTEMA, os usuários podem fazer perguntas via menus, ou seja, o usuário seleciona um item

de um menu que corresponde à sua dúvida, enquanto que as explicações serão fornecidas pelo sistema de diferentes maneiras: através de textos pré-armazenados, através de *templates*, e através de algoritmos de geração de explicações a partir das fontes do sistema (MALTEMPI, 1993; MALTEMPI & HASEGAWA, 1993; MALTEMPI & NUNES, 1994).

Um terceiro projeto tem como objetivo construir uma ferramenta denominada TOOTEMA que permite ao professor analisar, navegar, inspecionar e manipular a estrutura do ARQTEMA sem a necessidade dos detalhes da implementação. Além disso, o TOOTEMA pré-processa as redes de conceitos e resultados, a partir da escolha dos tópicos, a fim de facilitar a tarefa de preparação dinâmica de uma sessão (aula). A arquitetura do TOOTEMA é constituída de quatro componentes principais: interface com o usuário, editor, *browser* e montador (HASEGAWA, 1993; MALTEMPI & HASEGAWA, 1993).

Os projetos ARQTEMA, INTEMA e TOOTEMA descritos acima estão sendo desenvolvidos em estação de trabalho Sun, utilizando o sistema Andrew Toolkit (BORENSTEIN, 1990; HANSEN, 1988).

Um outro projeto se insere no contexto de construir um sistema tutor denominado TEGRAM, cujo objetivo é auxiliar o processo de ensino-aprendizagem de conceitos relacionados à geometria plana para estudantes do 1º grau. No intuito de despertar a curiosidade e o interesse dos estudantes, fazendo com que eles se envolvam com as atividades e sintam-se estimulados em resolvê-las, todas as atividades do sistema baseiam-se num jogo chinês milenar chamado Tangram (GÜNGÖRDÜ & OFLAZER, 1991; SANTOS & IMENES, 1987). A arquitetura do sistema TEGRAM é baseada na arquitetura tradicional dos STIs: módulo do domínio, modelo do estudante, módulo tutorial e módulo de comunicação (TURINE, 1993; TURINE *et al.*, 1993; TURINE, 1994; MENDES *et al.*, 1994).

CONCLUSÃO

6.1. Avaliação geral

A utilização de computadores para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem é uma das áreas onde as aplicações de IA estão se desenvolvendo muito nos últimos tempos. A pesquisa em STIs é um exemplo concreto da utilização de computadores no ensino.

De acordo com a revisão bibliográfica realizada, nota-se que a pesquisa em STIs é recente, constituindo uma realidade experimental que ainda carece de uma fundamentação teórica. A literatura nesta área consiste, em sua maioria, de trabalhos descrevendo implementações e abordagens específicas. Evidentemente a falta de uma teoria geral dificulta em muito a avaliação, classificação e comparação dos STIs existentes. Isto mostra que área de pesquisa em STIs ainda pode ser muito explorada.

Devido a situação descrita acima, é importante se obter contribuições nesta área que caminhem a um ponto comum. Este ponto é a resposta (nada óbvia) a uma questão básica (VICCARI & OLIVEIRA, 1992, p.63):

"Que tipo de aprendizagem queremos - ou devemos ou podemos - oferecer às pessoas que desejam utilizar sistemas computacionais para ensinar/aprender?"

A modelagem do estudante constitui um dos principais desafios na construção de STIs sendo ainda uma das linhas de pesquisa que necessita de maior investigação. Além disso, existe um grande *gap* entre a teoria desenvolvida para o módulo da interface e as implementações existentes, mostrando a necessidade de pesquisas na área. Outro ponto importante para que os STIs alcancem seus objetivos é o controle da iniciativa mista, ou seja, em que momento o sistema deve interromper o estudante e por que?

Pesquisas em interfaces para STIs são recentes, tanto que muitos não a consideram um componente distinto dos STIs, e ainda não existe uma teoria coerente e útil sobre como desenvolver interfaces eficientes num contexto instrucional (HOOG *et al.*, 1991).

Nos países desenvolvidos foram observadas conquistas significativas nas diversas experiências que utilizam o computador como tecnologia educacional e, em particular, no ensino de conceitos relacionados à Matemática. Estudos feitos pelo EPIE⁷, citado por (PAPERT, 1980), identificaram mais de 7.000 pacotes de software educacional no mercado, sendo que 125 eram adicionados a cada mês, abrangendo, principalmente, as áreas de Matemática, Ciências, Leitura, Artes e Estudos Sociais. CUMMINGS (1989) também registrou que o uso de computadores na educação tem demonstrado ser mais eficiente nas áreas de Matemática e Leitura.

6.2. Análise da situação brasileira

A publicação de trabalhos sobre STIs no Brasil é quase inexistente. De acordo com a revisão descritiva realizada, foi observado que a pesquisa em STIs no Brasil concentra-se principalmente em São Carlos (USP), Porto Alegre (UFRGS), Brasília (UNB), Recife (UFPE), Campinas (UNICAMP) e Paraíba (UFPB).

Nos dois últimos Simpósios Brasileiros de Inteligência Artificial (1993 e 1994) foram apresentados 70 trabalhos. Deste total, apenas quatro trabalhos envolviam a pesquisa em STIs (OLIVEIRA *et al.*, 1993; TAKEHARA *et al.*, 1993; MALTEMPI & NUNES, 1994; OLIVEIRA *et al.*, 1994).

⁷ Educational Products Information Exchange (EPIE) Institute. Teachers College, Columbia University, New York, 1983.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- AIKEN, R.M. The impact of artificial intelligence on education: opening new windows. In: MARÍK, V.; STEPÁNKOVÁ, O. & ZDRÁHAL, Z., ed. *Lecture Notes in Artificial Intelligence: Artificial Intelligence in Higher Education*, nº451. Prague, Springer-Verlag, october 1989. p.1-13.
- ANDERSON, J.R. *The architerture of cognition*. Cambridge, Harvard University Press. Cambridge, 1983.
- ANDERSON, I.R.; BOYLE, C.F.; YOST, G. The Geometry Tutor. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE - IJCAI, Los Angeles, 1985. *Proceedings*. s.l., s.ed., s.d. p.1-7.
- ARUN KUMAR, B.; DURAI SWAMY, K.; SARUKESI, K. A new approach to machine learning systems and its application to the development of an ITS. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, s.l., 3: 51-61, 1992.
- BARNARD, Y.F.; EEKENS, G.; SANDBERG, J.A.C. Interaction in intelligent tutoring systems. *Journal of Structural Learning*, s.l., 10(3): 197-213, junc 1990.
- BARR, A. & FEIGENBAUM, E.A. Applications-oriented AI research. In: BARR, A. & FEIGENBAUM, E.A., ed. *The Handbook of Artificial Intelligence*. Addison-Wesley, Reading MA, 1982. v.2, cap.9, p.283-290.
- BORENSTEIN, N.S. *Multimedia applications development with the Andrew TollKit*. New Jersey, Prentice Hall, 1990. 310p.
- BRACHMAN, R.J. The basics of knowledge representation and reasoning. *AT&T Technical Journal*, s.l., 67(1): 7-24, jan/feb. 1988.

- BREUKER, J. Coaching in help systems. In: SELF, J., ed. *Artificial intelligence and human learning: intelligent computer-aided instruction*. London, Chapman and Hall Computing, 1988. cap.20, p.310-37.
- BROWN, J.S.; BURTON, R.B.; BELL, A. SOPHIE: A sophisticated instructional environment for teaching electronic troubleshooting (an example of AI in CAI). *BBN Report 2790*. Cambridge, Bolt Beranek and Newman Inc., 1974.
- BROWN, J.S. & BURTON, R.B. Multiple representation of knowledge for tutorial reasoning. In: BOBROW, D. e COLLINS, A., eds. *Representations and Understanding: Studies in Cognitive Science*. New York, Academic Press, 1975. p.311-349.
- BROWN, J.S.; BURTON, R.B.; BELL, A. SOPHIE: A step towards a reactive learning environment. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., **7**: 675-696, 1975.
- BROWN, J.S. & BURTON, R.B. Diagnostic models for procedural bugs in mathematical skills. *Cognitive Science*, s.l., **2**: 155-92, 1978.
- BROWN, J.S. & VANLEHN, K. Repair Theory: A generative theory of bugs in procedural skills. *Cognitive Science*, s.l., **4**: 379-426, 1980.
- BROWN, J.S.; BURTON, R. B; DEKLEER, J. Pedagogical natural language, and knowledge engineering techniques in SOPHIE I,II and III. In: SLEEMAN, D.H. & BROWN, J.S., ed. *Intelligent Tutoring Systems*. Orlando, Academic Press, 1982. p.227-282.
- BURGER, M. & DESOI, J. The cognitive apprenticeship analogue: a strategy for using ITS technology for the delivery of instruction and as a research tool for the study of teaching and learning. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., **36**: 775-95, september 1992.
- BURTON, R.B. & BROWN, J.S. A tutoring and student modelling paradigm for gaming environment. In: COLMAN, R. & LORTON, P., eds. *Computer Science and Education*. "s.l.", ACM SIGCSE Bulletin, 1977. v.8, nº1, p.236-46.
- BURTON, R.B. & BROWN, J.S. An investigation of computer coaching for informal learning activities. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., **11**: 5-24, 1979.

- BURTON, R.B. Diagnosing bugs in a simple procedural skill. In: SLEEMAN, D.H. & BROWN, J.S., ed. *Intelligent Tutoring Systems*. Orlando, Academic Press, 1982. p.157-83.
- CARBONELL, J.R. AI in CAI: an artificial intelligence approach to computer assisted instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, s.l., **11**(4): 190-202, december 1970.
- CARBONELL, J.R. & COLLINS, A. Natural semantics in artificial intelligence. In: THIRD INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE - IJCAI, Stanford, 1973. *Proceedings*. s.l., s.ed., s.d. p.344-51.
- CERCONE, N. Knowledge representation: an overview. *Indian Journal of Technology*, s.l., **25**: 521-43, december 1987.
- CLANCEY, W.J. Tutoring Rules for Guiding a Case Method Dialogue. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., **11**: 25-49, 1979.
- CLANCEY, W.J. GUIDON. *Journal of Computer-Based Instruction*, s.l., **10**(1-2): 8-15, Summer 1983.
- CLANCEY, W.J. The role of qualitative models in instruction. In: SELF, J., ed. *Artificial intelligence and human learning: intelligent computer-aided instruction*. London, Chapman and Hall Computing, 1988. cap.3, p.49-68.
- COLLINS, A.M. Process in acquiring knowledge. In: ANDERSON, R.C.; SPIRO, R. & MONTAGUE, W.E., eds. *Schooling and the Acquisition of Knowledge*. New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, 1977.
- CORBETT, A.T. & ANDERSON, J.R. Lisp intelligent tutoring system: research in skill acquisition. In: LARKIN, J.H. & CHABAY, R.W., ed. *Computer-Assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shared goals and complementary approaches*. London, Lawrence Erlbaum Associates, 1992. p.73-110.
- COSTA, E.; DUCHENOY, S.; KODRATOFF, Y. A resolution-based method for discovering students misconceptions. In: SELF, J., ed. *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer-Aided Instruction*. London, Chapman & Hall, 1988. p.156-64.

- CROWDER, N.A. Automatic tutoring by means of intrinsic programing. *Automatic Teaching: The State of the Art*, New York, p.109-16, 1959.
- CUMMINGS, J.B. Computers, the cutting edge of learning. *Computer & Graphics*, s.l., **13**(1): 111-13, 1989.
- DIESSEL, T. & LEHMANN, A. An ITS for engineering domains: concept, design and application. In: TOMEK, I., ed. *Lecture Notes in Computer Science: Computer Assisted Learning*. ICCAL'92, Canada, Springer-Verlag, June 1992. n°602, p.161-73.
- DILLENBOURG, P. Designing a self improving tutor: PROTO-TEG. *Instructional Science*, s.l., **18**: 193-216. 1989.
- DUCHASTEL, P.C. ICAI systems: issues in computer tutoring. *Computers in Education*, s.l., **13**(1): 95-100, 1989.
- DUCHASTEL, P.C. Discussion: formal and informal learning with hipermedia. In: JONASSEN, D.H. e MANDL, H., eds. *Designing hypermedia for learning*. NATO ASI Series, s.l., Springer-Verlag, 1990.
- DUGDALE, S. The design of computer-based mathematics instruction. In: LARKIN, J.H. & CHABAY, R.W., eds. *Computer-Assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shared goals and complementary approaches*. London, Lawrence Erlbaum Associates, 1992. p.11-45.
- ELSOM-COOK, M. Guided discovery tutoring and bounded user modelling. In: SELF, J., ed. *Artificial intelligence and human learning: intelligent computer-aided instruction*. London, Chapman and Hall Computing, 1988. cap.10, p.165-78.
- EPSTEIN, K. & HILLEGEIST, E. Intelligent instructional systems: teachers and computer-based intelligent tutoring systems. *Educational Technology*, s.l., (11): 13-19, november 1990.
- FRYE, D.; LITTMAN, D.C.; SOLOWAY, E. The next wave of problem in ITS: confronting the "user issues" of interface design and system evaluation. In: PSOTKA, J.; MASSEY, L.D.; MUTTER, S.A., eds. *Intelligent tutoring systems:*

lessons learned. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. cap.17, p.451-78.

GENESERETH, M. The role of plans in intelligent teaching systems. In: SELF, J., ed. *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer-aided Instruction*. London, Chapman & Hall, 1988. cap. 10, p.165-178.

GISOLFI, A.; BALZANO, W.; DATTOLO, A. Enhancing the Pascal language by a tutor written in Prolog. *Computer Education*, s.l., (72): 29-32, november 1992.

GOLDSTEIN, I.P. Overlays: A theory of modelling for computer-aided instruction. *AI MEMO 406*, Cambridge - MIT, february, 1977.

GOLDSTEIN, I.P. The genetic-graph: a representation for the evolution of procedural knowledge. In: SLEEMAN, D.H. & BROWN, J.S., eds. *Intelligent Tutoring Systems*. Orlando, Academic Press, 1982. p.51-77.

GRIGNETTI, M.; HAUSMAN, C.L.; GOULD, L. An intelligent on-line assistant and tutor: NLS-SCHOLAR. In: NATIONAL COMPUTER CONFERENCE, 1975. *Proceedings*. s.l., s.ed., s.d. p.775-81.

GÜNGÖRDÜ, Z. & OFLAZER, K. Solving tangram puzzles. In: BARAY, M. & OZGÜÇ, B., eds. *Computer and Information Sciences VI*. s.l., Elsevier Science Publishers B.V., 1991. p.691-702.

HAMMOND, N. Hypermedia and learning: who guides whom? In: GOOS, G. & HARTMANIS, J., eds. *Lecture Notes in Computer Science, Computer Assisted Learning - 2nd International Conference, ICCAL'89*. Dallas, Springer-Verlag, maio 1989. p.167-81.

HANSEN, W.J. The Andrew environment for development of educational computing. *Computer and Education*, s.l., 12(1): 231-39, 1988.

HASEGAWA, R. TOOTEMA: Uma ferramenta para a construção de sistemas tutores inteligentes. São Carlos, 1993. 48p. (Qualificação de Mestrado - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos/USP).

- HEGAZI, O.M. & RADY, H.A.K. Intelligent tutoring systems. *The Egyptian Computer Journal*, Egypt, **18**(2): 93-112, 1990.
- HOLLAN, J.D.; HUTCHINS, E.L.; WEITZMAN, L.M. STEAMER: An interactive inspectable simulation-based training system. In: KEARSLEY, G., ed. *Artificial intelligence and instruction: applications and methods*. California, Addison-Wesley Publishing Company, 1987. cap.6, p.113-34.
- HOOG, R.; JONG, T. & VRIES, F. Interfaces for instructional use of simulations. *Education & Computing*, s.l., **6**: 359-85, 1991.
- JOHNSON, W.L. & SOLOWAY, E. PROUST: Knowledge-based program debugging. In: SEVENTH INTERNATIONAL SOFTWARE ENGINEERING CONFERENCE, 1984. *Proceedings*. s.l., s.ed., s.d. p.369-80.
- JOHNSON, W.L. & SOLOWAY, E. PROUST: an automatic debugger for Pascal programs. In: KEARSLEY, G., ed. *Artificial Intelligence and Instruction: Applications and Methods*. California, Addison-Wesley, june 1987. p.49-67.
- JONASSEN, D.H. & GRABINGER, R.S. Problems and issues in designing hypertext/hypermedia for learning. In: JONASSEN, D.H. & MANDL, H., eds. *Designing hypermedia for learning*. NATO ASI Series, Springer-Verlag, 1990. cap.1, p.1.1-1.23.
- KEARSLEY, G. Overview. In: KEARSLEY, G., ed. *Artificial intelligence and instruction: applications and methods*. California, Addison-Wesley Publishing Company, 1987a. cap.1, p.3-10.
- KEARSLEY, G. Computer-Aided Instruction, Intelligent. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1987b. vol.1, p.154-59.
- KEMP, R.H. Intelligent computer assisted instruction: a knowledge-based perspective. *The Australian Computer Journal*, s.l., **24**(3): 121-129, november 1992.

- LARKIN, J.H. & CHABAY, R.W., eds. *Computer-assisted instruction and intelligent tutoring systems: shared goals and complementary approaches*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1992. 345p.
- LESGOLD, A. Education Applications. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1987. vol.1, p.267-72.
- LESGOLD, A.; LAJOIE, S.; BUNZO, M.; EGGAN, G. SHERLOCK: A coached practice environment for an electronics troubleshooting job. In: LARKIN, J.H. & CHABAY, R.W., eds. *Computer-assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shared Goals and Complementary Approaches*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1992. p.201-238.
- MALTEMPI, M.V. INTEMA: um gerador de explicações para sistemas tutores inteligentes. São Carlos, 1993. 66p. (Qualificação de Mestrado - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos/USP).
- MALTEMPI, M.V. & HASEGAWA, R. Um ambiente para a construção de sistemas tutores inteligentes em matemática. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO - SBIE93, Recife, 1993. *Anais*. s.n.t.
- MALTEMPI, M.V. & NUNES, M.G.V. INTEMA: An explanation generator for intelligent tutoring systems. In: XI BRAZILIAN SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE - SBIA94. *Proceedings*. Fortaleza, s.ed., outubro 1994. p.457-469.
- MANDL, H. & LESGOLD, A., eds. *Learning issues for intelligent tutoring systems*. New York, Springer-Verlag, 1988. 307p.
- MENDES, M.D.C.; NUNES, M.G.V.; TURINE, M.A.S. A tutoring system for discovering plane geometry using Tangran (a ser publicado) In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MATHEMATICS/SCIENCE EDUCATION AND TECHNOLOGY, San Diego, july 1994. *Anais*.
- MICHENER, E.R. Structuring mathematical knowledge. *Report*. Massachusetts, MIT - DM, p.A.1-A.24, 1978.

- MILLER, J.R. The role of human-computer interaction in intelligent tutoring systems. In: POLSON, M.C.; RICHARDSON, J.J., eds. *Foundations of intelligent tutoring systems*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. cap.6, p.143-89.
- MIZOGUCHI, R. Intelligent tutoring systems: the current state of the art. *The Transactions of the IEICE*, s.l., E73(3): 297-307, march 1990.
- NORMAN, D.A. & DRAPER, S.W. eds. *User centered system design: new perspectives on human-computer interaction*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1986. 526p.
- NUNES, M.G.V.; TURINE, M.A.S.; MALTEMPI, M.V.; HASEGAWA, R. Uso de hipertexto/ hipermissão em sistemas tutores inteligentes, *Notas Didáticas do Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - USP*, março de 1993a, 32p.
- NUNES, M.G.V.; MENDES, M.D.C.; ANDREUCCI, C.A. Some issues on learning mathematics through intelligent tutoring systems. In: SEVENTH INTERNATIONAL PEG CONFERENCE, Edinburgh, july 1993. *Proceedings*. Edinburgh, s.ed., july 1993b. vol.1, p.189-202.
- NUNES, M.G.V.; TAKEHARA, R.S.; MENDES, M.D.C. A network-based model for intelligente tutoring systems. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - SBIA93. *Anais*. Porto Alegre, s.ed., outubro 1993. p.277-288.
- NWANA, H.S. Intelligent tutoring systems: an overview. *Artificial Intelligence Review*, s.l., 4: 251-77, 1990.
- OBEREM, G.E.; MAYER, O.; MAKEDON, F. ILONA: an advanced CAI tutorial system for the fundamental of logic. *Education & Computer*, s.l., 8: 245-54, 1992.
- OHLSSON, S. Some principles of intelligent tutoring systems. In: LAWLER, R.W. & YAZDANI, M., eds. *Artificial Intelligence and Education*. Norwood, Ablex Publication, 1987. vol.1, p.203-38.
- OLIVEIRA, F.M.; VICCARI, R.M.; COELHO, H. Conceptual distance and equilibration in an intelligent tutoring situation. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

- INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - SBIA93. *Anais*. Porto Alegre, s.ed., outubro 1993. p.289-302.
- OLIVEIRA, F.M.; VICCARI, R.M.; COELHO, H. A topological approach to equilibration of concepts. In: XI BRAZILIAN SYMPOSIUM ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE - SBIA94. *Proceedings*. Fortaleza, s.ed., outubro 1994. p.507-521.
- PAPERT, S. *LOGO: computadores e educação*. São Paulo, Editora Brasiliense, 1980. 253p.
- PAPERT, S. Computers in education: conceptual issues. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. s.l., John Wiley & Sons - Interscience Publication, 1987. vol.1, p.181-185.
- PARRA, N. Instrução individualizada. In: PARRA, N., ed. *Didática para a escola de 1º e 2º graus*. s.l., s.ed., 1987. p.77-92.
- POLSON, M.C. & RICHARDSON, J.J., eds. *Foundations of intelligent tutoring systems*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. 280p.
- REISER, B.J.; ANDERSON, J.R.; FARRELL, R.G. Dynamic Student Modelling in an Intelligent Tutor for LISP programming. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE - IJCAI, Los Angeles, 1985. *Proceedings*. s.l., s.ed., s.d. p.8-14.
- REISER, B.J.; KIMBERG, D.Y.; LOVETT, M.C.; RANNEY, M. Knowledge representation and explanation in GIL, an intelligent tutor for programming. In: LARKIN, J.H. & CHABAY, R.W., ed. *Computer-Assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shared goals and complementary approaches*. London, Lawrence Erlbaum Associates, 1992. p.111-49.
- RICKEL, J.W. Intelligent computer-aided instruction: a survey organized around system components. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, s.l., 19(1): 40-57, jan/feb. 1989.

- RIDGWAY, J. Of course ICAI is impossible ... worse though, it might be seditious. In: SELF, J., ed. *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent Computer-Aided Instruction*. London, Chapman & Hall, 1988. p.28-48.
- ROSENBERG, R. A critical analysis of research on intelligent tutoring systems. *Educational Technology*, s.l., 27(11): 7-13, november 1987.
- SANTOS, C.H. & IMENES, L.M.P. TANGRAM: um antigo jogo chinês nas aulas de Matemática. *Revista do Ensino de Ciências*, s.l., (18): 42-9, agosto 1987.
- SELF, J.A. Student models in computer-aided instruction. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., 6: 261-76, 1974.
- SELF, J.A. A perspective on intelligent computer-aided learning. *Journal of Computer-Assisted Learning*, s.l., 1: 159-66, 1985.
- SELF, J.A. *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligente computer-aided instruction*. London, Chapman & Hall, 1988. p.432.
- SELF, J.A. Student models: what use are they? In: ERCOLI, P. & LEWIS, R., eds. *Artificial Intelligence Tools in Education*. Amsterdam, s.ed., 1988. p.73-86.
- SELF, J.A. Theoretical foundations for intelligent tutoring systems. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, s.l., 1(4): 3-14, summer 1990.
- SLEEMAN, D. & BROWN, J.S., eds. *Intelligent tutoring systems*. London, Academic Press, 1982. 345p.
- TAKEHARA, R.S. Um modelo em redes para um sistema tutor inteligente. São Carlos, 1993. 81p. (Qualificação de Mestrado - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos/USP).
- TAKEHARA, R.S.; MENDES, M.D.C.; NUNES, M.G.V. An evaluation strategy based on concepts network. In: SEVENTH INTERNATIONAL PEG CONFERENCE, Edinburgh, july 1993. *Proceedings*. Edinburgh, s.ed., july 1993. vol.2, p.661-70.

- TAKEHARA, R.S. ARQTEMA: um modelo genérico para sistemas tutores inteligentes em matemática. São Carlos, 1994. 117p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos/USP).
- TURINE, M.A.S. Um sistema tutor para o ensino de conceitos de geometria através de atividades apoiadas no tangram. São Carlos, 1993. 77p. (Qualificação de Mestrado - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos/USP).
- TURINE, M.A.S.; NUNES, M.G.V.N.; MENDES, M.D.C. Um sistema tutor para o ensino de geometria baseado no tangram. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO - SBIE93, Recife, 1993. *Anais*. s.n.t.
- TURINE, M.A.S. TEGRAM: um sistema tutor para explorar conceitos de geometria plana baseado no tangram. São Carlos, 1994. 119p. (Dissertação de Mestrado - Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos/USP).
- VALENTE, J.A. *Liberando a mente: computadores na educação especial*. NIED - Campinas, Gráfica Central da UNICAMP, 1991. 314p.
- VALENTE, J.A. *Computadores e conhecimento: repensando a educação*. NIED - Campinas, Gráfica Central UNICAMP, 1991. 418p.
- VANLEHN, K. Student modeling. In: POLSON, M.C.; RICHARDSON, J.J., eds. *Foundations of intelligent tutoring systems*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. cap.3, p.55-78.
- VASSILEVA, J. A classification and synthesis of student modelling techniques in intelligent computer-assisted instruction. In: NORRIE, D.H. & SIX, H-W., eds. *Lecture Notes in Computer Science, Computer Assisted Learning - 3rd International Conference, ICCAL'90*, Springer-Verlag, 1990.
- VICCARI, R.M. & MOUSSALLE, N. Tutores inteligentes para o ensino da linguagem Prolog. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, Rio de Janeiro, novembro de 1990. *Anais*. Rio de Janeiro, s.ed., 1990. p.203-20.
- VICCARI, R.M. & OLIVEIRA, F.M. *Sistemas tutores inteligentes*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, setembro de 1992, 68p.

- WENGER, E. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: computational and cognitive approaches to the communication of knowledge*. Los Altos, Morgan Kaufmann Publishers, january 1987. 486p.
- WINKELS, R. A new framework for describing and designing intelligent tutoring systems. *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Artificial Intelligence in higher education*, nº451, Springer-Verlag, p.230-243, 1989.
- WOOLF, B. & MCDONALD, D. Building a computer tutor: design issues. *IEEE Computer*, s.l., p.61-72, september 1984.
- WOOLF, B. Representating Complex Knowledge in an Intelligent Machine Tutor. In: SELF, J., ed. *Artificial Intelligence and Human Learning*. Londres, Chapman & Hall, 1988. cap.1, p.3-27.
- WRIGHT, P. Hypertexts as an interface for learners: some human factors issues. In: JONASSEN, D.H. & MANDL, H., eds. *Designing hypermedia for learning*. s.l., NATO ASI Series, Springer-Verlag, 1990. cap.10, p.10.1-10.16.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA E RECOMENDADA

BARRON, B. & KANTOR, R.J. Tools to enhance math education: the JASPER SERIES. *Communications of the ACM*, s.l., **36**(5): 52-4, may 1993.

BRAUN, L. Help for all the students. *Communications of the ACM*, s.l., **36**(5): 66-9, may 1993.

BIELAWSKI, L. & LEWAND, R. An overview of intelligent systems. In: BIELAWSKI, L. & LEWAND, R. *Intelligent systems design: integrating expert systems, hypermedia, and database technologies*. s.l., Wiley, 1991. cap.1, p.3-15.

CHANDRASEKARAH, B. & SWARTOUT, W. Explanations in knowledge systems: the role of explicit representation of design knowledge. *IEEE Expert*, s.l., **6**(3): 47-9, june 1991.

FAROOQ, M.U. & DOMINICK, W.D. A survey of formal tools and models for developing user interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., **29**: 479-96, 1988.

FORCHERI, P. & MOLFINO, M.T. Designing a knowledge-based learning environment for arithmetic concepts. *Computers in Education*, s.l., **16**(2): 143-51, 1991.

GILBERT, N. Explanation and dialogue. *The knowledge engineering review*, s.l., **4**(3): 235-47, 1989.

GRICE, H.P. Logic and conversation. In: COLE, P. & MORGAN, J.L., eds. *Syntax and semantics 3, speech acts*. New York, Academic Press, 1975. p.41-58.

- HARTLEY, J.R. & SMITH, M.J. Question answering and explanation giving in on-line help systems. In: SELF, J., ed. *Artificial intelligence and human learning: intelligent computer-aided instruction*. London, Chapman and Hall Computing, 1988. cap.21, p.338-60.
- HARTSON, H.R. & HIX, D. Human-computer interface development: concepts and systems for its management. *ACM Computing Surveys*, s.l., **21**(1): 5-92, march 1989.
- JACOB, R. Human-computer interaction. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. s.l., John Wiley & Sons, 1987. vol.1, p.383-88.
- JOHNSON, W.B. Pragmatics consideration in development and implementation of intelligent tutoring systems. *AFHRL Research Planning Forum for ITS Conference*, San Antonio, 1986.
- JOHNSON, W.L. & SOLOWAY, E. Intention-based diagnosis of programming errors. In: AMERICAN ASSOCIATION OF AI CONFERENCE, Los Altos, 1984. *Proceedings*. Los Altos, s.ed., 1984. p.162-68.
- JOHNSON, W.L. & SOLOWAY, E. PROUST: Knowledge-based understanding. *IEEE Transactions on Software Engineering*, s.l., **3**: 267-75, 1985.
- KIMBALL, R.A. A self-improving tutor for symbolic integration. In: SLEEMAN, D.H. & BROWN, J.S., eds. *Intelligent Tutoring Systems*. London, Academic Press, 1982. cap.12, 283-307.
- LANGLEY, P. & OHLSSON, S. Automated cognitive modeling. In: AMERICAN ASSOCIATION OF AI CONFERENCE, Los Altos, 1984. *Proceedings*. Los Altos, s.ed., 1984. p.193-97.
- LAUREL, B.K. Interface as mimesis. In: NORMAN, D.A. & DRAPER, S.W., eds. *User centered system design: new perspectives on human-computer interaction*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1986. cap.4, p.67-85.
- LIDTKE, P.K. & MOURSUND, D. Computers in schools: past, present, and how we can change the future. *Communications of the ACM*, **36**(5): 84-7, may 1993.

- LONDON, B. & CLANCEY, W. Plan recognition strategies in student modelling: prediction and description. In: NATIONAL CONFERENCE ON AI, Pittsburgh, 1982. *Proceedings*. Pittsburgh, s.ed., 1982. p.335-38.
- MARSH, S. Human-computer interaction: an operational definition. *SIGCHI Bulletin*, s.l., **22**(1): 16-22, july 1990.
- MORGAN, T. Competence and responsability in intelligent systems. *Artificial Intelligence Review*, s.l., **6**: 217-26, 1992.
- NEGRETE, J.M. Dos paradigmas de la inteligencia artificial en el juego del tangrama. *Revista Latina de Pensamiento y Lenguage*, s.l., **1**(1): 50-7, diciembre 1992.
- NILSSON, N.J. *Principles of Artificial Intelligence*. Los Altos - CA, Morgan Kayfmann Publishers Inc., 1993.
- OLIVEIRA, F.M. & VICARI, R.M. Concept Equilibration Process in Intelligent Tutoring Systems. Porto Alegre, 1992. (Proposta de tese de doutorado - Instituto de Informática/UFRGS).
- O'SHEA, T. A self-improving quadratic tutor. In: SLEEMAN, D.H. & BROWN, J.S., eds. *Intelligent Tutoring Systems*. Orlando, Academic Press, 1982. p.283-307.
- O'SHEA, T.; BORNAT, R.; DU BOULAY, B.; EISENSTADT, M.; PAGE, I. Tools for creating intelligent computers tutors. In: ELITHORN, A. & BARNEJI, R., eds. *Human and Artificial Intelligence*. London, Elsevier, 1984. p.181-199.
- PARK, O.; PEREZ, R.S. & SEIDEL, R.J. Intelligent CAI: old wine in new bottles, or a new vintage? In: KEARSLEY, G., ed. *Artificial intelligence and instruction: applications and methods*. California, Addison-Wesley Publishing Company, 1987. cap.2, p.11-45.
- PONDÉ, L. Inteligência artificial. *Revista de Ensino de Ciências*, s.l., (11): 41-3, dezembro 1984.
- PSOTKA, J.; MASSEY, L.D.; MUTHER, S.A., eds. *Intelligent tutoring systems: lessons learned*. London, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. 552p.

- PY, D. & NICOLAS, P. MENTONIEZH: a geometry ITS for figure drawing and proof setting. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, s.l., 1(3): 41-55, Spring 1990.
- RICH, E. User modelling via stereotypes. *Cognitive Science*, s.l., p.329-54, 1983.
- RUSSEL, D.M. Alexandria: a learning resources management architecture. In: JONASSEN, D.H. & MANDL, H., eds. *Designing Hypermedia for Learning*. s.l., NATO ASI Series, Springer Verlag, 1990. p.24.1-24.9.
- SACK, W. & SOLOWAY, E. From PROUST to CHIIRON: ITS design as iterative engineering: intermediate results are important! In: LARKIN, J.H. & CHABAY, R.W., eds. *Computer-Assisted Instruction and Intelligent Tutoring Systems: Shared goals and complementary approaches*. London, Lawrence Erlbaum Associates, 1992. p.239-74.
- SANTOS, V.M. A construção do conhecimento matemático. In: *PROJETO IPÊ. A criança e o conhecimento: retomando a proposta pedagógica do ciclo básico*. São Paulo, Secretaria do Estado da Educação, 1990. p.21-35.
- SHNEIDERMAN, B. *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Califórnia, Addison-Wesley Publishing Company, 1987. 448p.
- SLEEMAN, D.H. UMFE: a user modelling fornt-end subsystem. *International Journal of Man-Machine Studies*, s.l., 23: 71-88, 1985.
- SLEEMAN, D.H. PIXIE: a shell for developing intelligent tutoring systems. In: LAWLER, R. & YAZDANI, M., eds. *Artificial Intelligence and Education*. Norwood, Ablex, 1987. vol.1, p.239-65.
- SLEEMAN, D.; KELLY, A.E.; MARTINAK, R.; WARD, R.D.; MOORE, J.L. Studies of diagnosis and remediation with high school algebra students. *Cognitive Science*, s.l., 13: 551-68, 1989.
- STAHI, M.M. Software educacional: características dos tipos básicos. In: 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, Rio de Janeiro, 1990. *Anais*. Rio de Janeiro, 1990. p.34-46.

- STEVENS, A. & COLLINS, A. The goal structure of a socratic tutor. *BNN Report* 2518, s.l., BB & Newman Inc., s.d.
- STEVENS, A.; COLLINS, A.; GOLDIN, S. Misconceptions in students understanding. In: SLEEMAN, D.H. & BROWN, J.S., eds. *Intelligent Tutoring Systems*. London, Academic Press, 1982.
- SWARTOUT, J.D. & MOORE, J.D. Explanation in expert systems: a survey. *Information Sciences Institute - Research Report*, ISI/RR-88-228, p.1-55, december 1988.
- VADILLO, J.A.; DÍAZ DE ILARRAZA, A.; ELORRIAGA, J.A.; FERNÁNDEZ-CASTRO, I.; GUTIÉRREZ, J. Explanations for recovery errors in ITTs: a general architecture. In: SEVENTH INTERNATIONAL PEG CONFERENCE, Edinburgh, july 1993. *Proceedings*. Edinburgh, july 1993. vol.1, p.229-39.
- VYHANDU, P. Computer-aided instruction for the teaching list processing. *Education & Computing*, s.l., 6: 177-80, 1990.
- WANG, H. & KUSHNIRUK, A. The UNIX tutor. In: FRASSON, C.; GAUTHIER, G.; MCCALLA, G.I., eds. *Lecture Notes in Computer Science: Intelligent Tutoring Systems, ITS'92*, n.608. Canadá, Springer-Verlag, 1992. p.317-324.
- WEBBER, B.L. Questions, answers and responses: interacting with knowledge-base systems. In: BRODIE, M. & MYLOPOULOS, J., eds. *On knowledge based management systems*. s.l., Springer-Verlag, 1988. cap.26, p.365-404.
- WICK, M.R. Expert System explanation in retrospect: a case study in the evolution of expert system explanation. *Journal of Systems and Software*, s.l., 19: 159-69, 1992.
- WOOLF, B. & MURRAY, T. A framework for representing tutorial discourse. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE - X IJCAI 87, Milan, 1987. *Proceedings*. Milan - Italy, 1987. vol.1, p.189-92.
- WOOLF, B. Knowledge Tutors. In: TOMEK, I. ed. *Lecture Notes in Computer Science: Computer Assisted Learning - ICCAL92*, n. 602, Canada, Springer-Verlag, p.46-60, june 1992.

YIBIN, M. & JIANXIANG, L. Intelligent tutoring system for symbolic calculation. In: FRASSON, C.; GAUTHIER, G.; MCCALLA, G.I., eds. *Lecture Notes in Computer Science: Intelligent Tutoring Systems, ITS'92*, n.608. Canadá, Springer-Verlag, p.132-139, june 1992.

YOSHIKAWA, A.; SHINTANI, M.; OHBA, Y. Intelligent tutoring system for electric circuit exercising. *IEEE Transactions on Education*, s.l., 35(3): 222-25, august 1992.

GLOSSÁRIO

Base de crenças: "A base de crenças compreende os conhecimentos/crenças do agente sobre o domínio (ou domínios) da aplicação. Sua caracterização como crenças deriva naturalmente do fato de que todo aluno é definido como sendo capaz de aprendizagem, através de processos que, no caso mais geral, serão essencialmente não-monotônicos. Logo, toda informação representada na base de crenças é, em princípio, passível de revisão..." (VICCARI & OLIVEIRA, 1992).

Bug: "...em geral, um *bug* é alguma falha estrutural revelada por algum comportamento inesperado (defeituoso). Assim, o termo *bug* é usado para se referir a uma parte incorreta de um determinado procedimento..." (CLANCEY, 1988). "*Bugs are student misconceptions in declarative or procedural knowledge*" (POLSON & RICHARDSON, 1988).

Catálogo de bugs (*Bug Catalog*): "A set of well-analysed and carefully collected patterns of typical errors" (PSOTKA *et al.*, 1988).

Ciência cognitiva (*Cognitive Science*): "Cognitive Science can be defined as psychology which has been informed by developments in artificial intelligence (AI)" (McCLUSKEY & BAKER, 1988). "... is a multidisciplinary field concerned with (1) the mental representation of information, (2) the acquisition and mental manipulation of information, and (3) the transformation of mentally-represented information into action" (GILLAN, 1988). "The study of the principles by which intelligent entities interact with their environments (by its very nature this study transcends disciplinary boundaries" (PYLYSHYN, 1987).

Coach systems: "A form of student modelling in which the ITS intervenes only when it is fairly sure the student is doing something wrong. The intervention is with graduated hints and examples" (PSOTKA *et al.*, 1988).

Conhecimento declarativo (*Declarative knowledge*): "Knowledge represented as basic principles and facts of a domain. It is usually contrasted with knowing how to use facts, that is, procedural knowledge" (POLSON & RICHARDSON, 1988). "A form of knowledge representation distinct from procedural knowledge (although the distinction is not always useful) in which the knowledge is portrayed as static and structural; e.g., data structures, frames, productions, and semantic nets" (PSOTKA *et al.*, 1988). "Statements of fact. For example, voltage is symbolically represented as E. Current is presented as I. Resistance is represented by R" (TUTHIL, 1989).

Conhecimento procedimental (*Procedural knowledge*): "A form of knowledge representation distinct from declarative knowledge (although the distinction is not always useful) in which the knowledge is portrayed as active and functional; e.g., functions, objects, demons, and algorithms. Sometimes production systems are viewed as a procedural form of knowledge to distinguish them from the organized declarative structures of semantic networks" (PSOTKA *et al.*, 1988). "Knowledge about actions to be taken with facts and operations. For example, procedural knowledge would state the relationship between voltage, resistance and currents as $E=IR$ " (TUTHIL, 1989).

Frames: "A knowledge representation method. A scheme to organize knowledge about an object as a collection of attributes stored in slots. Frames contain the features of a concept or situation including the objects of the concept, their actual or default values, the rules that apply to the concept or situation, the relationships between the frame and other frames, instructions for use of the frame, and instructions for out-of-range occurrences. Information components stored within the frame reside in slots, each of which contains an information string" (TUTHIL, 1989).

Hipermídia (*Hypermedia*): "Data link in logical paths that produce knowledge; it includes the integration of text, pictures, sounds, data, and knowledge. Hypermedia is thus a highly sophisticated knowledge base" (TUTHIL, 1989).

Hipertexto (*Hypertext*): "A text-based system that goes beyond text to include graphics, video, and sound (hypermedia) as well as links, crossreferences, and hierarchical structures. It is interactive so that one word can be expanded on command into other media (hypermedia). The term was coined by Ted Nelson" (PSOTKA *et al.*, 1988).

Aprendizado de Máquina (*Machine-Learning*): "Machine Learning is an area of artificial intelligence research concerned with developing computational theories of learning processes and building machines which learn" (GILMORE & SELF, 1988). "A machine learning system (AI-type) uses sample data (training set) to generate an update basis for improved performance on subsequent data and also communicates its internal updates in explicit and operationally effective form" (MICHIE, 1990).

Mal-rule: "...é uma regra modificada do assunto a ser ensinado, capaz de gerar resultados incorretos. É normalmente usada para descobrir *bugs* e determinar quais são as *misconceptions* que os originam" (VASSILEVA, 1990).

Misconceptions: são diferenças entre o conhecimento do estudante e o conhecimento, representado no sistema, de um especialista. É um conhecimento adquirido pelo estudante que contém *bugs* (WEBBER, 1988).

Psicologia cognitiva (*Cognitive Psychology*): "...é a análise científica dos processos e estruturas mentais do ser humano, com o objetivo de compreender o comportamento destes" (KIERAS, 1987). "Algumas sub-áreas da psicologia cognitiva são: *perception*, *attention*, *memory*, *thinking* e *language*" (HOLYOAK, 1987). "Cognitive psychology is the study of human intelligence and thinking" (WALSH, 1989).

Regras de produção (*Production rules*): "A problem-solving system that contains a set of rules, a control strategy, and a knowledge base" (TUTHIL, 1989).

Redes Semânticas (*Semantic Networks*): "A method of knowledge representation that uses nodes to represent objects, concepts, and entities, and uses arcs to represent the links that describe the relationships between the nodes" (TUTHIL, 1989).

BIBLIOGRAFIA CITADA NO GLOSSÁRIO

- CLANCEY, W.J. The role of qualitative models in instruction. In: SELF, J., ed. *Artificial intelligence and human learning: intelligent computer-aided instruction*. London, Chapman and Hall Computing, 1988. cap.3, p.49-68.
- HOLYOAK, H.P. Cognitive psychology. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. s.l., John Wiley & Sons, 1987. vol.1, p.115-20.
- GILLAN, D. Cognitive science preparation for work in artificial intelligence. In: THE ISA/88 INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBIT, Houston, 1988. *Proceedings*. Houston - TX, s.ed., 1988. vol.43, pt 4, p.1503-508.
- GILMORE, D. & SELF, J. The application of machine learning to intelligent tutoring systems. In: SELF, J., ed. *Artificial Intelligence and Human Learning: Intelligent computer-aided instruction*. London, Chapman and Hall, 1988. p.179-96.
- KIERAS, D. Cognitive modeling. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. s.l., Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1987. vol.1, p.111-15.
- McCLUSKEY, F.B. & BAKER, P.L. Cognitive science [and philosophy]. *J. Comput. Small Coll*, USA, 4(2): 137-40, 1988.
- MICHIE, D. Human and Machine Learning of Descriptive Concepts. *Fifth Generation Computer Systems, ICOT Journal*. Institute for New Generation Computer Technology, (27): 2-19, 1990.

- POLSON, M.C. & RICHARDSON, J.J., eds. *Foundations of intelligent tutoring systems*. Hillsdale - NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. 280p.
- PSOTKA, J.; MASSEY, L.D.; MUTHER, S.A., eds. *Intelligent tutoring systems: lessons learned*. London, Lawrence Erlbaum Associates, 1988. 552p.
- PYLYSHYN, Z.W. Cognitive science. In: SHAPIRO, S.C.; ECKROTH, D.; VALLASI, G.A., eds. *Encyclopedia of Artificial Intelligence*. Wiley - Interscience Publication, John Wiley & Sons, 1987. vol.1, p.120-24.
- TUTHIL, S.G. ed. *Knowledge engineering - Concepts & Practices for knowledge based systems*, 1989. 372p.
- VASSILEVA, J. A classification and synthesis of student modelling techniques in intelligent computer-assisted instruction. In: NORRIE, D.H. & SIX, H-W., eds. *Lecture Notes in Computer Science, Computer Assisted Learning - 3rd International Conference, ICCAL'90*, Springer-Verlag, 1990.
- VICCARI, R.M. & OLIVEIRA, F.M. *Sistemas tutores inteligentes*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática, setembro de 1992, 68p.
- WALSH, S.H. The implication of cognitive psychology for computer-assisted instruction. *Methods Inf. Med.*, s.l., **28**(4): 324-26, 1989.
- WEBBER, B.L. Questions, answers and responses: interacting with knowledge-base systems. In: BRODIE, M. & MYLOPOULOS, J., eds. *On knowledge based management systems*. s.l., Springer-Verlag, 1988. cap.26, p.365-404.