

**Diferentes Abordagens de Computação
Afetiva em Sistemas Multiagentes e
Sistemas Tutores Inteligentes**

Edilson Pontarolo
Magda Bercht
Rosa Maria Vicari

**Different Affective Computing
Approachs in Multiagent and
Intelligent Tutoring Systems**

Resumo: Os resultados recentemente obtidos nas neurociências e ciências cognitivas apontam para novas explicações sobre o papel da emoção na aprendizagem e outros processos cognitivos. Esse entendimento influenciou, sobretudo a partir da década de 1990, a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas e ambientes computacionais de aprendizagem. Este artigo apresenta algumas abordagens de computação afetiva tal como vêm sendo adotadas por diferentes grupos de pesquisa, no formalismo simbólico de linguagens e raciocínio para o desenvolvimento de sistemas multiagentes e/ou de sistemas tutores inteligentes.

Palavras-chave: Computação afetiva. Sistemas multiagentes. Sistemas tutores inteligentes.

Abstract: The recently obtained results from neuro and cognitive sciences point to new explanations about the emotion role in learning and other cognitive processes. This understanding influenced, overall starting from the 1990 decade, the research on computer systems and learning environments. This paper presents some affective computing approaches as adopted by different research groups, on the symbolic formalism of languages and reasoning in multiagent and/or intelligent tutoring systems development.

Keywords: Affective computing. Multiagent systems. Intelligent tutoring systems.

PONTAROLO, Edilson; BERCHT, Magda; VICARI, Rosa Maria. Diferentes Abordagens de Computação Afetiva em Sistemas Multiagentes e Sistemas Tutores Inteligentes. *Informática na Educação: teoria & prática*, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 21-37, jul./dez. 2003.

1 Contexto da computação afetiva

Ao longo do século XX, observou-se o aprofundamento drástico do modelo de fragmentação do conhecimento, com vértices na ciência, na educação e na produção industrial tecnológica. Entretanto, na década de 1990, retomou-se a discussão de uma nova epistemologia que supere o modelo puramente racionalista, dualista e fragmentador em vigência (PRIGOGINE, 1996; MORIN, 1996).

Fortemente impregnadas pelo pensamento racionalista cartesiano, as ciências modernas entendem a emoção como algo totalmente a parte da razão (do raciocínio consciente). Entretanto, esse conceito passou a sofrer mudanças significativas quase que paralelamente ao surgimento das chamadas ciências cognitivas, embora inicialmente se admitisse o mecanismo emocional ainda que apenas como uma espécie de gerador de operações a serem decididas/selecionadas por outro mecanismo, puramente racional e independente do primeiro. Resultados recentemente obtidos, principalmente no campo da neurociência moderna (computacional), apontam uma forte ligação das emoções com quase todos os aspectos da cognição e com a origem do pensamento consciente na criança (DAMÁSIO, 1996). A noção de cognição inclusive passa a integrar também a emoção e afetividade para alguns pesquisadores (ORTON, CLORE e COLLINS, 1999). Esse novo entendimento das relações entre emoção, cognição e consciência começou a influenciar, sobretudo na última década, alguns projetos de sistemas computacionais em geral, assim como a pesquisa e o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem baseados no computador em particular.

As iniciativas da **computação afetiva** são exemplos de um passo nessa direção. Considere-se um significativo conjunto de técnicas de computação, adaptadas de áreas diversas como a Inteligência Artificial (IA) e a Engenharia de Software, agregadas de uma maneira menos fragmentada e coordenadas conjuntamente ao estudo, ao modelamento e à simulação da experiência emocional humana, como característica entremeadada e constituidora dos processos cognitivos. Todo esse aparato, orientado a aplicações em domínios bastante variados, passou a ser distinguido sob a denominação genérica (e ainda não plenamente sedimentada) de computação afetiva (PICARD, 1997). A grosso modo pode-se fazer uma distinção entre dois grandes grupos de sistemas relacionados à computação afetiva:

a) os que consideram a emoção do usuário; por exemplo, um ambiente computacional de ensino-aprendizagem que busca inferir, avaliar e tomar decisões sobre o estado cognitivo-afetivo do aprendente, a partir da observação da interação deste, ou por outro meio de monitoramento (sensores fisiológicos, por exemplo);

b) os que consideram a emoção do próprio sistema computacional (emoção de máquina); por exemplo, através da simulação de estados emocionais com o objetivo de regular as ações, a tomada de decisões e a aprendizagem de um sistema sobre o seu domínio de aplicação (aprendizagem de máquina).

Este trabalho apresenta e discute a introdução de características afetivas no projeto de sistemas que utilizam a tecnologia de agentes ou de multiagentes (SMA) e Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Faz-se essa distinção, porque embora um STI possa ser

projetado e implementado através da técnica de SMA, isto não é necessariamente uma regra. Além disso, há modelos interessantes de SMA cognitivo-afetivos em outros domínios de aplicação que não o do processo ensino-aprendizagem. Como metodologia expositiva serão apresentadas iniciativas e abordagens de alguns grupos de pesquisa que consideram a inclusão da emoção em SMA e/ou em STI, bem como alguns dos aspectos da fundamentação e da implementação prática (aspectos tecnológicos) desses sistemas.

2 Computação afetiva na Universidade de Memphis

Partindo de uma abordagem representacionista, o *Grupo de Pesquisa sobre Software Consciente do Laboratório de Ciência Cognitiva*¹ da Universidade de Memphis trabalha no estudo de representações da inteligência e da consciência humanas e na construção de artefatos computacionais (notadamente SMA) que expressem tais modelos. Bogner, Ramamurthy e Franklin (1999) apresentam o protótipo CMattie² (*“iConscious” Mattie*) como um agente de *software* “inconsciente”³, capaz de interagir, adaptar-se e aprender num ambiente social com agentes de seu tipo e/ou agentes humanos. CMattie possui um mecanismo emocional que influencia seu comportamento, sobretudo via regulação de seus *drives*.⁴

2.1 O Projeto CMattie

O projeto CMattie está fundamentado

na teoria psicológica da consciência conhecida como Espaço de Trabalho Global⁵ (ETG), de acordo com a qual a cognição humana é formada por um grande número de pequenos processos de propósitos especiais e individualmente inconscientes, a partir do pressuposto que o sistema nervoso é um sistema paralelo e distribuído com muitas unidades processadoras diferentes e especializadas (BAARS, 1988, 1997). Do ponto de vista prático, CMattie é a geração seguinte do projeto *Virtual Mattie* que é um SMA não “inconsciente” (FRANKLIN et al., 1996). Suas tarefas essenciais consistem em receber, filtrar, responder, reescrever e enviar, através de mensagens de *e-mail* escritas em linguagem natural, a divulgação de eventos científicos de um departamento, tais como seminários, *workshops* e defesas de tese. CMattie vive em um sistema computacional real baseado em UNIX, e suas unidades processadoras básicas são denominadas *codelets*.

2.1.1 Arquitetura emocional de CMattie

O projeto CMattie apresenta uma complexa estrutura modular, ilustrada na Figura 1. Cada módulo/mecanismo implementa um modelo/teoria de IA específica, conforme apresentado na Tabela 1. A implementação do ETG na arquitetura de CMattie é sustentada principalmente na Teoria do Pandemônio, inicialmente descrita (e aplicada apenas à percepção) por Selfridge (1959) e posteriormente estendida a outros aspectos por Jackson (1987).

1 <http://mnemosyne.csl.psyc.memphis.edu>

2 <http://www.mscl.memphis.edu/~cmattie>

3 Na concepção expressa por Bogner, Ramamurthy e Franklin (1999), um agente de *software* “inconsciente” é uma entidade que atua em um domínio específico e que implementa o ETG de Baars (1988, 1997). Os termos “consciência” e “inconsciente” foram mantidos entre aspas ao longo do texto, seguindo a mesma notação reducionista dos autores.

4 O termo *drive* pode ser entendido no contexto como vontade, desejo, um tipo de direcionamento das ações.

5 Tradução livre de *Global Workspace*, também citado na literatura como Espaço Operacional Global.

Essa arquitetura global ser abordada muito resumidamente, porque, neste trabalho, o mais importante é a arquitetura

do mecanismo emocional de CMattie, descrita detalhadamente por McCauley e Franklin (1998).

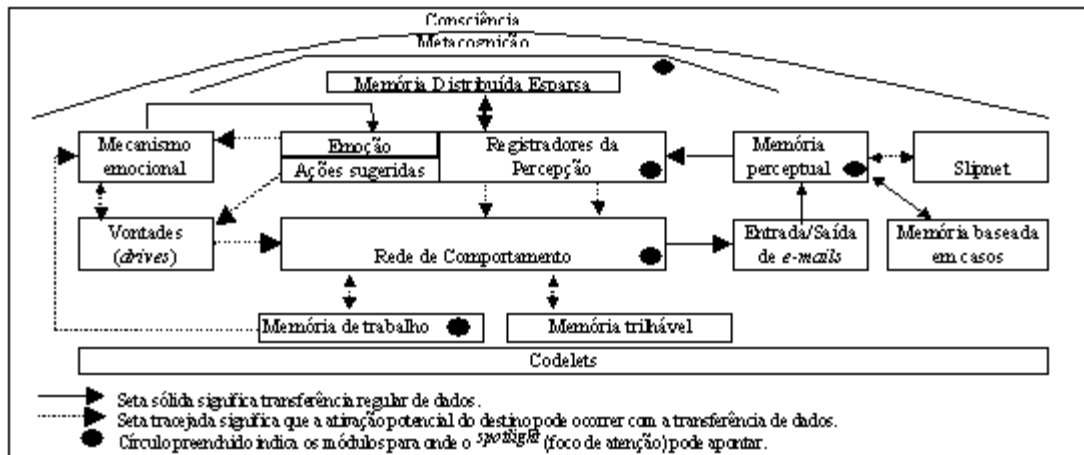


Figura 1 – Arquitetura do SMA CMattie (adaptado de BOGNER, RAMAMURTHY e FRANKLIN, 1999, p. 117).

Tabela 1 – Módulos e mecanismos de CMattie e teorias/modelos de IA associados.

Módulo/Mecanismo	Modelo de IA adotado
Percepção	Por analogia (MITCHELL, 1993)
Compreensão dos e-mails	Entendimento de Linguagem Natural (ALLEN, 1995)
Seleção de ações	Rede de Comportamento (MAES, 1990)
Memória associativa	Memória Distribuída Esparsa (KANERVA, 1988)
Memória episódica	Memória Baseada em Casos (KOLODNER, 1993)
Emoções	Teoria do Pandemônio (SELFRIDGE, 1959; JACKSON, 1987)
Metacognição	Classificador Difuso (HOLLAND, 1986)
Aprendizagem	Arquitetura Copycat (HOFSTADTER & MITCHELL, 1994), e Raciocínio Baseado em Casos (KOLODNER, 1993)
Geração de linguagem	Teoria do Pandemônio
Deliberação	Teoria do Pandemônio
"Consciência"	Teoria do Pandemônio

A arquitetura de CMattie apresenta diversos *drives* construídos explicitamente no SMA, que operam em paralelo. Cada *drive* ativa os fluxos de comportamento que o satisfazem. Alguns exemplos de *drives* são: entender cada mensagem recebida; agradecer cada mensagem recebida; manter informado completa sobre cada seminario em andamento; manter a lista de *e-mails* corrente. Em CMattie, a emoção tem dois papéis principais: a) afeta a intensidade dos diferentes *drives* e, por conseguinte, os níveis de ativação dos fluxos de comportamento ligados a estes *drives*; b) influencia as ações sugeridas pela Memória distribuída esparsa (Figura 1).

A emoção global de CMattie é representada por um vetor de ganho emocional, composto de quatro números reais análogos às quatro emoções básicas descritas por Izard (1993): **raiva, tristeza, felicidade e medo**. Existem *codelets* emocionais dinâmicos cujas ações resultam na atualização dos valores do ganho da emoção correspondente. Este processo consiste de duas etapas. Primeiro, são incluídas a valência, saturação e repetição na intensidade emocional do *codelet* dinâmico, ajustada pela fórmula:

$$a = v / (1 + e^{(-vx + x_0) / 1.5})$$

onde

a = intensidade emocional do *codelet* dinâmico;

x = intensidade inicial da emoção;

v = valência { 1, -1 };

x_0 = desloca a função para direita ou esquerda.

No segundo passo, cada *codelet* ativado deve criar uma instância *test-tica* de

si mesmo com a intensidade emocional ajustada, que será adicionada à intensidade global de uma determinada emoção, através da fórmula (adaptado de PICARD, 1997):

$$y = a e^{-b(t-t_0)}$$

onde

y = intensidade global de uma determinada emoção;

a = intensidade emocional ajustada no momento da criação do *codelet*;

b = taxa de declínio da emoção;

t = hora atual;

t_0 = hora da criação do *codelet*.

2.2 O Projeto *Intelligent Distribution Agent* (IDA)

CMattie representou uma evolução, em termos de arquitetura de SMA, em relação ao projeto VMattie. Entretanto, CMattie vem sendo sucedido pelo projeto IDA, um SMA que apresenta uma arquitetura emocional de vanguarda (MCCAULEY, FRANKLIN e BOGNER, 2000). A Tabela 2 traz um resumo das principais características mantidas entre os projetos CMattie e IDA, dentre as quais cabe ressaltar a arquitetura geral baseada no ETG, a forma de comunicação com o meio ambiente, o princípio de aprendizado e algumas características ligadas à emoção.

Influenciado pelo entendimento mais recente do mecanismo emocional humano, o projeto IDA incorpora a emoção como uma característica pervasiva da inteligência e, portanto, aderente e posicionada nos entremeios de todos os módulos cognitivos do SMA. A Tabela 3 apresenta as principais características de evolução de CMattie para

⁶ <http://www.msci.memphis.edu/~ida>

Tabela 2 Principais características que foram mantidas entre CMattie e IDA.

Característica	Descrição
Arquitetura geral	<i>Fundamentada na Teoria do ETG (BAARS, 1988, 1997).</i>
Comunicação externa	<i>Via e-mails em linguagem natural.</i>
Mecanismo de aprendizado	<i>Adota o princípio hebbiano, por reforço baseado na repetição e proximidade temporal dos eventos (HEBB, 1949).</i>
Aprendizado emocional	<i>Possibilita aprender sobre quais tipos de situações geram quais estados emocionais.</i>
Origem das emoções	<i>Ocorrem em resposta a estímulos externos e estados internos.</i>
Emoções básicas	<i>Assumem uma representação explícita, em um vetor dinâmico de quatro (CMattie) ou seis (IDA) valores reais.</i>
Estados emocionais complexos	<i>Assumem uma representação implícita, emergente da combinação dinâmica dos valores das emoções básicas.</i>

Tabela 3 Características que foram modificadas e/ou estendidas de CMattie para IDA.

Característica	CMattie	IDA
Domínio/Tarefa	<i>Preparar e enviar anúncios semanais de eventos científicos na Universidade de Memphis.</i>	<i>Trabalhar como "detailer" para a marinha dos EUA, ou seja, negociar a distribuição e o agendamento das atividades dos marinheiros.</i>
Seleção de ações	<i>Emoções afetam a escolha de determinado comportamento e avaliam os resultados dessas ações, gerando aprendizado.</i>	<i>Deve ser capaz de deliberar sobre vários cenários (planejamento) e negociar com humanos (estratégia).</i>
Influência da emoção no comportamento	<i>Emoção afeta o comportamento indiretamente, reforçando ou enfraquecendo os drives que regulam os fluxos de comportamento.</i>	<i>Emoção integrada no mecanismo da "consciência" e conectada bidirecionalmente às demais partes da arquitetura, funcionando como uma "moeda de troca" entre elas.</i>
Emoções básicas	<i>Raiva, tristeza, felicidade e medo.</i>	<i>Além das quatro foram acrescentadas desgosto e surpresa.</i>

IDA. Um fator determinante na adoção do novo modelo de emoção de um domínio de aplicação mais amplo que o anterior: fazer o papel de um *detailer* para a marinha norte-americana. Tal domínio exige ações de planejamento para diversos cenários possíveis e a adoção de estratégias de negociação com hu-

manos para atribuir missões aos marinheiros, respeitando as restrições de datas, horários, missões, família, legislação e situações de exceção. A complexidade das tarefas nesse domínio também justifica o modelamento explícito das emoções **desgosto** e **surpresa**, não adotadas em CMattie.

2.3 Computação afetiva e a IA rígida

Os projetos do *Grupo de Memphis* aqui relatados representam uma das principais iniciativas do primeiro tipo de abordagem de computação afetiva: a *incorporação da emoção no projeto de sistemas computacionais baseados em SMA cognitivos*. A pretensão de modelar representações da cognição, aprendizagem, emoção e consciência sobre um artefato computacional (máquina, algoritmo, SMA), ainda que em caráter assumidamente reducionista, acende (ou reacende) a discussão dos fundamentos sobre os limites da IA em relação à inteligência biológica. Essa abordagem representacionista é condizente com a chamada IA rígida, a qual sustenta que qualquer processo mental **A** nada mais é senão um processo **B** de IA (HORGAN, 1996, *apud* KOVICS, 1997) e recebe críticas de pesquisadores que buscam argumentos fenomenológicos: *o pensamento não seria formalizável* (DREYFUS, 1972, 1992); matemáticos e lógicos: *em geral baseados no Teorema da Incompletude de Gödel*⁷ por exemplo Kovics (1997); anti-behavioristas: *uma máquina (algoritmo) operaria no domínio sintático e nunca no domínio semântico* (SEARLE, 1980); além dos argumentos éticos: *a essência do humano não poderia ser reduzida ao paradigma do processamento de informações do Modelo Computacional da Mente*.⁸ Colocando-se em outro domínio de observação, a parte dos fundamentos da Fi-

losofia da Mente e dos argumentos favoráveis ou contrários à IA rígida, a adoção dessa abordagem mostrar resultados práticos promissores.⁹

Damasio (1996) propõe a evolução da consciência humana ao longo da história filogenética da espécie a partir de um tipo de emoção ancestral. De certa forma, esses projetos de SMA cognitivo-afetivos acompanham as mudanças no conceito da relação entre emoção, cognição e consciência. Na sucessão de VMattie para CMattie houve a incorporação da emoção, com efeitos indiretos sobre a tomada de decisões e outros aspectos cognitivos do SMA, através da regulação de seus *drives*. Dito de outra forma, em CMattie o mecanismo da emoção está relativamente isolado em um módulo, que tem papel importante, mas secundário. A evolução de CMattie para IDA ocorreu justamente pela ampliação do papel da emoção, que passa a entremear todas as funções cognitivas (por exemplo os vários tipos de memória e o processo de tomada de decisão) e, por conseguinte, todo o comportamento do agente. Soma-se a isso a ampliação do espectro de emoções básicas como estratégia para lidar com domínios de maior complexidade. Em resumo, no agente IDA, os módulos cognitivos se comunicam, trocando mensagens de conteúdo conceitual e afetivo.

7 O matemático Kurt Gödel demonstrou que nenhum sistema formal consistente é completo. Isso delimita a capacidade computacional de uma máquina algorítmica (NAGEL e NEWMAN, 1973, *apud* KOVICS, 1997). Em tempo, os limites do complexo mente/cérebro, embora aceitos, ainda não foram demonstrados.

8 Resumidamente, segundo o paradigma do Modelo Computacional da Mente, o cérebro funciona como um processador de informações e a mente seria uma espécie de *software* que rodaria no *hardware* do cérebro (sistema nervoso).

9 Os resultados de desempenho apresentados, tais como a precisão na geração e envio de anúncios de eventos, são relativos ao projeto VMattie. O projeto CMattie foi implementado em cerca de 40% até a publicação de Bogner, Ramamurthy e Franklin (1999). O projeto IDA está em fase de implantação e, até o momento, não há resultados publicados.

3 Computação afetiva no Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT)

Liderado por Rosalind Picard, o *Grupo de Pesquisa em Computação Afetiva*¹⁰ do *Laboratório de Mídia*¹¹ do MIT É o principal exemplo da adoção do conceito moderno da relação entre cognição e emoção no projeto de sistemas inteligentes. Entre suas linhas de investigação, estão a pesquisa sobre emoções humanas, sensoriamento de sinais afetivos humanos, reconhecimento de padrões de expressões afetivas, modelamento da experiência emocional, síntese de emoções em máquinas, aplicações de computação afetiva, interfaces com computadores afetivos, comunicação afetiva e computadores afetivos utilizáveis. Observa-se que o escopo de atuação do MIT É bastante mais extenso do que a simples incorporação de emoção a SMA ou a STI, embora isso ocorra nas aplicações de computação afetiva.

3.1. O projeto *Learning Companion*

Um projeto em desenvolvimento no *Grupo de Pesquisa em Computação Afetiva* do MIT, interessante sobretudo para aplicação em STI, refere-se a um assistente de aprendizagem (*Learning Companion*). Proposto por Kort, Reilly e Picard (2001), este projeto trata do modelamento de emoções possivelmente relevantes para aprendizagem e da posterior construção de um artefato computacional capaz de reagir adequadamente ao estado afetivo e cognitivo do aluno, através do ajuste imediato da estratégia de ensino. O projeto do assistente fundamenta-se na ideia de que diferentes emoções ou suas respostas conscientes, os sentimentos, são naturais ao processo de apren-

dizagem. Por exemplo, no desenvolvimento da ciência ou da tecnologia, os cientistas são submetidos ao erro e à frustração como parte do seu processo de aprendizado. Esses níveis de falha são parte do processo e podem ensinar como aprender melhor.

3.1.1 Arquitetura de emoção do *Learning Companion*

... importante ressaltar a preocupação deste projeto com o modelamento do estado afetivo-cognitivo do aprendiz. O assistente não necessariamente deve possuir ou expressar emoções, mas ser capaz de reagir satisfatoriamente à emoção do aluno. O conjunto de emoções candidatas a relevantes para a aprendizagem, em sua versão atualizada, descrita por Kort e Reilly (2002), É composto de seis eixos afetivos que apresentam graduações variáveis entre os pares de extremos mutuamente exclusivos: da ansiedade à confiança, da chateação à fascinação, da frustração à euforia, do desânimo ao encorajamento, do terror ao encantamento, da humilhação ao orgulho. Acredita-se que a primeira parte de cada par seja um afeto de valência negativa e a segunda parte, um afeto de valência positiva para o aprendiz. A representação proposta para correlação entre o estado afetivo e o estado cognitivo do aprendiz está ilustrada na Figura 2. O conhecimento emergiria em um plano ortogonal ao plano dos eixos de aprendizagem e afeto, e sua construção pelo aluno se daria, ao longo do tempo, de maneira cíclica e helicoidal, passando por fases afetivo-cognitivas positivas e negativas.

A validação empírica do modelo É feita através da filmagem de crianças de 6

¹⁰ http://affect.media.mit.edu/AC_affect.html

¹¹ <http://www.media.mit.edu>

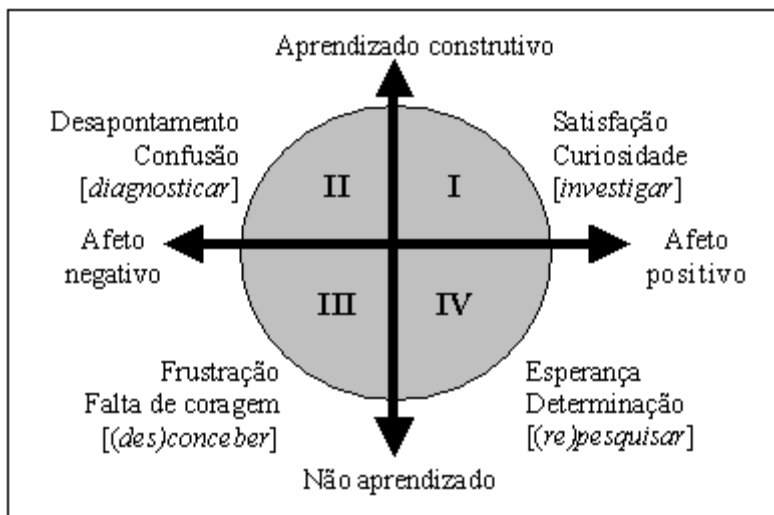


Figura 2 Modelo de eixos de relacionamento entre aprendizagem e emoção no *Learning Companion* e as ações mais representativas associadas a cada estado cognitivo-afetivo do aluno (adaptado de KORT e REILLY, 2002).

a 11 anos de idade, enquanto estas utilizam alguns jogos de computador. Uma câmera segue o movimento dos olhos da criança para determinar para onde ela está olhando em cada momento, enquanto outras câmeras capturam suas expressões faciais, posturais e gestuais. Os dados obtidos são utilizados para ajustar o modelo cognitivo-afetivo do aluno, através da correlação entre o estado emocional suposto, o comportamento ao nível de superfície e o estado ou tarefa do jogo no mesmo momento. Com base nesses resultados, pretende-se construir um artefato computacional capaz de reagir ajustando a estratégia de ensino de acordo com o estado afetivo-cognitivo do aluno. Até o momento não são conhecidos resultados publicados além desta etapa.

4 Computação afetiva na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

O Grupo de Pesquisa em Inteligência Artificial (GPIA) do Instituto de Informática da UFRGS tem se dedicado, entre outros projetos, à pesquisa e ao desenvolvimento de agentes pedagógicos inteligentes para aplicação em STI, por exemplo nos trabalhos de Moussale (1996), Giraffa (1999), Bercht (2001), Silveira (2001), Bocca (2003) e Jaques et al. (2003). Destaca-se o desenvolvimento recente de SMA cognitivos segundo a abordagem de estados mentais da arquitetura BDI,¹² por exemplo em Giraffa (1999) e Bercht (2001), através de um ambiente-base para construção de agentes cognitivos, denominado X-BDI, um modelo formal e executável descrito por Mûra (2000).

¹² Derivado da teoria do raciocínio prático (BRATMAN, 1987), o modelo de estados mentais BDI é baseado em Crenças, Desejos e Intenções (BDI *Beliefs, Desires, Intentions*) e aplicado no projeto de SMA.

A noção de agente pedagógico vai designar alguns dos diferentes sistemas aplicados à educação desenvolvidos com uso da tecnologia de agentes. O objetivo é auxiliar os alunos no processo de aprendizagem. Esses agentes podem ser modelados como (1) agentes que cooperam trabalhando na retaguarda como parte da arquitetura de um sistema educacional ou (2) agentes animados que interagem com o usuário através de um personagem. Por exemplo, pode-se adotar a figura de um personagem amigo ou de um personagem de um

criador de problemas, instigando e/ou dando dicas das tarefas a serem realizadas. Neste caso, tem-se o agente pedagógico como um elemento de um STI e as pesquisas do GPIA/UFRGS levaram ao desenvolvimento da personagem PAT (BOCCA, 2003), conforme ilustrado na Figura 3. Outra forma é a adoção do agente pedagógico atuando em todo o comportamento e interação do ambiente ou STI, sem aparecer ao aluno explicitamente como um personagem, conforme adotado no projeto de Bercht (2001).



Figura 3 Personagem PAT: representação do agente pedagógico animado descrito por Bocca (2003).

Daí a necessidade de trazer o raciocínio sobre afetividade ao projeto de agentes pedagógicos. De modo a haver sintonia e credibilidade, esses agentes pedagógicos atores devem responder com faculdades afetivas, tal como através de expressões faciais que reflitam o estado emocional necessário às ocasiões. Mas, o que se está advogando é uma preocupação em pesquisas sobre as necessidades dos agentes pedagógicos em melhorar suas atuações (flexibilizações de suas estratégias), de maneira a impactar positivamente o modo do aluno perceber a situação de aprendizagem. Uma

das propostas é a inserção da afetividade envolvida na situação como parte do raciocínio das ações que o agente deve conduzir.

4.1 Agentes pedagógicos com dimensões afetivas

Bercht (2001) descreve uma arquitetura de STI, que apresenta um módulo de percepção composto por agentes especializados integrados com a interface do tutor, para rastrear a interação do aluno durante a tutoria. Os dados coletados pela Percepção permitem compor um histórico e fazer inferências sobre o comportamento do

aluno, tanto no que concerne ao seu desempenho (relativo ao domínio) quanto aos seus aspectos afetivos e motivacionais. O modelo adotado é composto de duas dimensões: Esquemas Intelectuais e Esquemas Afetivos (Figura 4), gerados por inferência do tutor (ação do *kernel* cognitivo) sobre as características (*observáveis*) surgidas durante a interação. Por exemplo,

um dos agentes da Percepção, projetado por Bercht (2001) identifica fatores motivacionais do aluno, tais como a persistência (esforço), a independência e a confiança demonstradas durante a interação. Estes esquemas são representados como estados mentais do aluno, como um conjunto de Crenças no ambiente de desenvolvimento X-BDI.

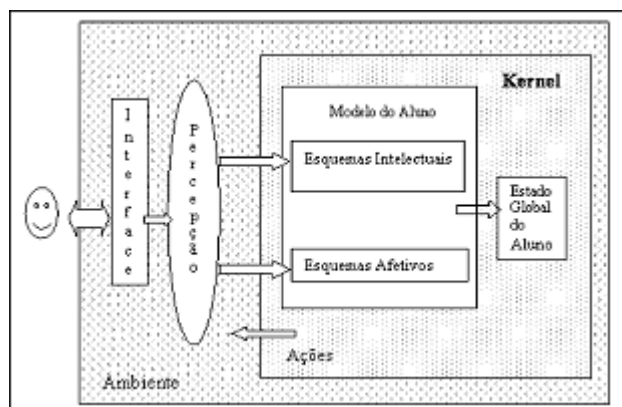


Figura 4 Modelo do aluno com fatores intelectuais e afetivos integrados (reproduzido do original de BERCHT, 2001).

O modelo do aluno é implementado como crenças do tutor sobre o estudante, armazenadas no módulo de representação interna de cada aluno em interação. O esquema intelectual contém as informações sobre as condições do desempenho do aluno na execução de tarefas e o outro re-

tém as informações sobre as características afetivas. Um exemplo da modelagem de um fator motivacional considerado é **confiança** é descrito nas regras da Tabela 4. A confiança do aluno pode ser representada como um valor que varia entre -2 e +2.

Tabela 4 Modelo do nível de confiança do aluno, segundo as regras adotadas por Bercht (2001).

Situação	Estado de Suporte	Confiança
No tentativa	Ask assistance	-1
Succeed	With assistance	+1
Succeed	Without assistance	+2
Failure	Without assistance	-1
Failure	With assistance	-2

Estes três fatores (esforço, confiança e independência) referem-se ao modelo de motivação aparente e observável do aluno. A motivação do aluno se altera durante o processo de interação com o sistema, afetada por diversas causas e determinando a sensação ou emoção de desgosto. O estado afetivo de desgosto pode determinar decréscimo da motivação do aluno. Assim, este trabalho realiza uma previsão do estado afetivo do aluno atra-

vés da teoria de avaliação cognitiva OCC de Ortony, Clore e Collins (1999).

Esses modelos foram testados através do Eletrotutor III, uma instância produzida no *JADE Environment* (SILVEIRA, 2001). Na Figura 5 está ilustrada a interface do Eletrotutor. Na parte inferior, à direita, é possível visualizar o grau dos estados afetivos esforço (E), confiança (C) e independência (I) do estudante, os quais foram detectados pelo agente.

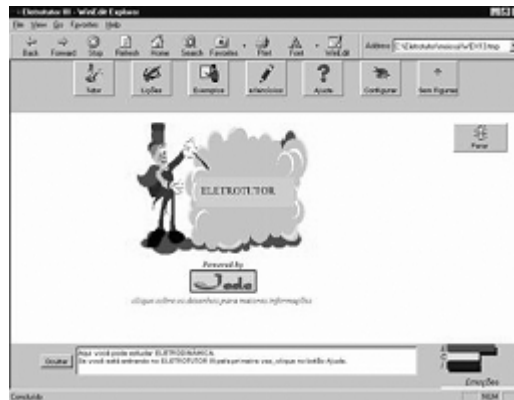


Figura 5 Interface do Eletrotutor III melhorada com a modelagem afetiva do estudante.

5 Considerações finais

Os resultados recentes na pesquisa sobre as emoções humanas vêm causando mudanças no entendimento do papel dos fatores afetivos no processo racional consciente. Aos poucos, essa evolução vem se refletindo na pesquisa e no desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes, tais como SMA e STI.

Embora tema relativamente recente, não se objetiva aqui esgotar as iniciativas

que consideram a emoção no projeto de SMA e STI. Cabe destacar algumas iniciativas importantes que não foram detalhadas anteriormente. O projeto AutoTutor¹³ (GRAESSER et al., 2001) propõe um agente pedagógico que utiliza a estratégia da conversação e, para tanto, apresenta emoções e procura interpretar o estado emocional do aluno através de diálogos escritos. O STI, descrito como um agente credível por Abou-Jaoude e Frasson (1998), em adapta-

¹³ <http://www.autotutor.org>

Á,,o do modelo proposto por Elliott (1997), apresenta um conjunto de emoÁies b-sicas. E o projeto de integraÁ,,o de computaÁ,,o afetiva em agentes tutores liderado por Clark Elliott¹⁴, James C. Lester¹⁵ e Jeff Rickel¹⁶. Certamente tambÈm mereceriam espaÁo, em um levantamento mais minucioso, tanto o raciocinador afetivo de Elliott (1992) e sua vers,,o adaptada para STI (1997), quanto o sistema *Cathexis* (VEL;SQUEZ, 1997), que modela a emoÁ,,o em agentes atravÈs de tÈcnicas de redes neurais.

Observa-se, na maioria dos trabalhos de computaÁ,,o afetiva sobre SMA e/ou STI, a adoÁ,,o de emoÁies b-sicas conforme os conjuntos propostos por Ekman (1992), Izard (1993) e Picard (1997), ou suas variaÁies destes. Entretanto, a forma como essas emoÁies b-sicas s,,o processadas e interpreta-das varia significativamente em funÁ,,o do contexto. Em STI pode ser mais importante modelar, inferir e decidir sobre o estado afetivo do aluno do que necessariamente o sistema possuir ou expressar emoÁies. Em SMA aplicados a outros domínios de interaÁ,,o, o agente apresentar, possuir e/ou expressar emoÁies pode ser mais importante do que a capacidade de inferir o estado emocional de quem interage com o sistema.

Os projetos CMattie e IDA do *Grupo de Memphis*, SMA com um modelo de ìconsciênciã que integra aprendizagem e emoÁ,,o, assim como outros modelos inspirados na interconex,,o maciÁa que ocorre no cÈrebro, tendem a apresentar uma sobrecarga no mecanismo de troca de mensagens, o que geralmente se reflete em um custo computacional alto.

Destaca-se, no trabalho de Bercht (2001) do PGIA/UFRGS, o uso de agentes especializados que permitem a modelagem do aluno a partir de observ-veis durante a interaÁ,,o, atravÈs de uma representaÁ,,o de alto nÍvel que integra os fatores cognitivos e afetivos do aluno, na forma de CrenÁas em X-BDI.

Diferentemente, a lÙgica que permeia o Projeto *Learning Companion* do MIT È a validaÁ,,o empÌrica *a priori* de estratÈgias de ensino correlacionadas com o estado afetivo-cognitivo do aluno. Estado este inferido a partir de observ-veis do comportamento global do aluno. A aplicaÁ,,o de tal modelo exige o monitoramento do aluno atravÈs de c,meras e pressupõe a existênciã de um padr,,o genÈrico de correlaÁ,,o afetivo-cognitiva. Destaca-se a proposiÁ,,o de um modelo que assume o papel e a import,n-cia de estados emocionais ìpositivos e negativos sobre a aprendizagem.

14 <http://condor.depaul.edu/~elliott>

15 <http://multimedia.ncsu.edu/imedia>

16 <http://www.isi.edu/isd/VET/vet.html>

Referências

- ABOU-JAUDE, S.; FRASSON, C. Emotion Computing in Competitive Learning Environments. In: PEDAGOGICAL AGENTS, INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, 4., 1998, San Antonio. **Proceedings...** San Antonio, 1998. P. 33-39.
- ALLEN, J. **Natural Language Understanding**. Redwood City, CA : The Benjamin Cummings Publishing Company, 1995.
- BAARS, B. **A Cognitive Theory of Consciousness**. New York: Cambridge University Press, 1988.
- _____. **In the Theater of Consciousness**. New York: Oxford University Press, 1997.
- BERCHT, M. **Em Direção a Agentes Pedagógicos com Dimensões Afetivas**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. Tese de Doutorado em Ciência da Computação, Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- BOCCA, E. **Modelagem e Implementação da Interface para Apresentação de Comportamentos Animados e Emotivos de um Agente Pedagógico Animado**. 2003. 152 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- BOGNER, M.; RAMAMURTHY, U.; FRANKLIN, S. **Consciousness and Conceptual Learning in a Socially Situated Agent**. In: DAUTENHAHN, K. (Ed.). **Human Cognition and Social Agent Technology**. Amsterdam: John Benjamins Publishing, 1999.
- BRATMAN, M. E. **Intention, Plans and Practical Reason**. Cambridge: Harvard University Press, 1987.
- DAMÍASIO, A. R. **O Erro de Descartes: Emoção, Razão e o Cérebro Humano**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- DREYFUS, H. L. **What Computers can't do**. MIT Press, 1972.
- _____. **What Computers still can't do: A critique of artificial reason**. MIT Press, 1992.
- EKMAN, P. An Argument for Basic Emotions. In: STEIN, N. L.; OATLEY, K. (Eds.) **Basic emotions**. Hove, UK: Lawrence Erlbaum, 1992.
- ELLIOTT, C. **The affective Reasoner: a process model of emotions in a multi-agent system**. 1992. Tese (Doutorado em Educação) - Institute for The Learning Sciences, Northwestern University, Chicago, 1992.
- _____. **Affective Reasoner Personality Models for Automated Tutoring Systems**. In: WORLD CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION, 8., 1997, Kobe, Japan. **Proceedings** Kobe: 1997.
- ELLIOTT, C.; RICKEL, J.; LESTER, J. C. Integrating affective computing into animated tutoring agents. In: IJCAI WORKSHOP ON ANIMATED INTERFACE AGENTS: MAKING THEM INTELLIGENT, 1997, Nagoya, Japan. **Proceedings** Nagoya, 1997. P. 113-121.
- FRANKLIN, S. et al. Virtual Mattie - an Intelligent Clerical Agent. In: AAAI SYMPOSIUM ON EMBODIED COGNITION AND ACTION. 1996, Cambridge, MA. **Proceedings...** Cambridge, 1996.
- GIRAFFA, L.M.M. **Uma arquitetura de tutor utilizando estados mentais**. 1999. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- GRAESSER, A. C. et al. Intelligent Tutoring Systems With Conversational Dialogue. **AI Magazine**, n. 22, p. 39-51, 2001.

- HEBB, D. **The Organization of Behavior**. New York: Wiley, 1949.
- HOFSTADTER, D.; MITCHELL, M. The Copycat Project: A model of mental fluidity and analogy making. In: HOLOYAK, K.; BARDEN, J. **Advances in Connectionist and Neural Computation Theory**, 2. Norwood, NJ: Ablex, 1994.
- HOLLAND, J. H. A Mathematical Framework for Studying Learning in Classifier Systems. In: FARMER, D. et. al. (Eds.) **Evolution, Games and Learning: Models for Adaptation in Machine and Nature**. Amsterdam: North-Holland, 1986.
- HORGAN, J. **The End of Science**. Addison Wesley, 1996.
- IZARD, C. Four Systems for Emotion Activation: cognitive and noncognitive processes. **Psychological Review**, v. 1, n. 100, p. 68-90, 1993.
- JACKSON, J. Idea for a Mind. **Siggart Newsletter**, n. 101, p. 23-26, 1987.
- JAQUES, P. A. et al. Cognitive Reasoning to Respond Affectively to the Student. In: THE IASTED INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND ADVANCED TECHNOLOGY IN EDUCATION, 2003, Rhodes, Greece. **Proceedings...** Calgary: ACTA Press, 2003. P. 57-62.
- KANERVA, P. **Sparse Distributed Memory**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1988.
- KOLODNER, J. **Case-based Reasoning**. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann Publishers, 1993.
- KORT, B.; REILLY, R. Theories for Deep Change in Affect-sensitive Cognitive Machines: a constructivist model. **Educational Technology & Society**, v. 4, n. 5, 2002.
- KORT, B.; REILLY, R.; PICARD, R. W. An Affective Model of Interplay Between Emotions and Learning: reengineering educational pedagogy ó building a learning companion. In: OKAMOTO, T. et al. **Advanced Learning Technology: issues, achievements and challenges**. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 2001.
- KOVİCS, Z. L. **O Cérebro e a sua Mente: uma introdução à neurociência computacional**. São Paulo: Editora Acadêmica, 1997.
- MAES, P. **How to do the Right Thing**. Cambridge, MA: Connection Science, 1990.
- MCCAULEY, L.; FRANKLIN, S. An architecture for emotion. In: AAAI FALL SYMPOSIUM EMOTIONAL AND INTELLIGENT: THE TANGLED KNOT OF COGNITION, 1998, Menlo Park, CA. **Proceedings** Menlo Park: AAAI Press, 1998, p. 122-128.
- MCCAULEY, L.; FRANKLIN, S.; BOGNER, M. An Emotion-Based íConsciousí Software Agent Architecture. In: PAIVA, A. **Affective Interactions**. Lecture Notes on Artificial Intelligence. v. 1814, Berlin: Springer, 2000.
- MITCHELL, M. **Analogy Making as Perception**. Cambridge, MA: MIT Press, 1993.
- MORA, M. **Um Modelo de Agente Executável**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- MORIN, E. Epistemologia da Complexidade. In: SCHNITMAN, D. F. (Org.). **Novos Paradigmas, Cultura e Subjetividade**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.
- MOUSSALE, N. **Interações Tutor-aluno Analisadas Através de seus Estados Mentais**. 1996. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- NAGEL, E.; NEWMAN, J. **Prova de Gödel**. S.l.: Editora Perspectiva, 1973.

ORTONY, A; CLORE, G; COLLINS, A. **The Cognitive Structure of Emotions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

PICARD, R. **Affective Computing**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1997.

PRIGOGINE, I. O Fim da ciência? In: SCHNITMAN, D. F. (Org.). **Novos Paradigmas, Cultura e Subjetividade**. Porto Alegre: Artes MÈdicas, 1996.

SEARLE, J. Minds, Brains, and Programs. **Behavioral and Brain Sciences**, n. 3, p. 417-424, 1980.

SELFRIDGE, O. G. Pandemonium: a paradigm for learning. In: SYMPOSIUM ON MECHANIZATION OF THOUGHT PROCESSES, 1959, London. **Proceedings...** London: National Physics Lab. / HM Stationery Office, 1959, p. 513-526.

SILVEIRA, R. A. **Modelagem Orientada a Agentes Aplicada a Ambientes Inteligentes Distribuídos de Ensino: JADE** (Java Agent framework for Distance learning Environments). 2001. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) ã Instituto de Inform-tica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

VELÍSQUEZ, J. Modeling Emotions and Other Motivations in Synthetic Agents. In: NATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE, 14., 1997, Menlo Park, CA. **Proceedings...** Menlo Park: AAAI Press, 1997.

Aceito para publicaÁ,õ em 2003/2

Edilson Pontarolo

Mestre em Engenharia ElÈtrica e Inform-tica Industrial (CPGEIãCEFET/PR), professor do CEFET/PR Unidade de Pato Branco, professor visitante na Escola TÈcnica da UFRGS.

E-mail: edi@etcom.ufrgs.br

Magda Bercht

Doutora em Ciência da Computação (CPGCCãUFRGS), professora do Instituto de Inform-tica da UFRGS e da disciplina iComputação Afetivaã do PGIE/UFRGS.

E-mail: bercht@inf.ufrgs.br

Rosa Maria Vicari

Doutora em Inform-tica (Universidade de Coimbra), professora do Instituto de Inform-tica da UFRGS e da disciplina iComputação Afetivaã do PGIE/UFRGS.

E-mail: rosa@inf.ufrgs.br