



Representação de Conhecimentos Centrada em Modelos para o Uso em Ambientes Complexos de Aprendizagem

Tatiano Pianezzola – PPGA/UFRGS - tpianezzola@yahoo.com.br

Mauricio Grazziotin Mondadori - PPGA/UFRGS - mgmondadori@ea.ufrgs.br

Marcos Feier Froés – PPGA/UFRGS - marcos-froes@pge.rs.gov.br

Eduardo Ribas Santos – PPGA/UFRGS – ersantos@ea.ufrgs.br

Resumo: As técnicas de Inteligência Artificial têm sido largamente empregadas na educação, especialmente para o desenvolvimento de sistemas tutores inteligentes. Estes sistemas têm sido, entretanto, objeto de crítica por parte dos pedagogos por não se enquadrarem na orientação construtivista. Neste ensaio parte-se deste aspecto fundamental em busca de uma formulação para o problema da representação dos conhecimentos no âmbito dos ambientes complexos de aprendizagem. Propõe-se uma estrutura para a representação de conhecimentos centrada em modelos. Um exemplo ilustra o processo de aprendizagem baseado na estrutura proposta, que compreende a elucidação progressiva do problema através da confrontação de conhecimentos pessoais com conhecimentos teóricos e técnicos. A abordagem desenvolvida tem como objetivo a construção de ambientes efetivos de aprendizagem em Administração.

Abstract: Artificial Intelligence has been widely applied in education for the development of learning systems. However, intelligent tutoring systems have been the object of criticism due to the difficulty encountered in satisfying the demands of constructivism. The main criticism is motivated by the current fact that in such systems the learning strategies are previously programmed. In this paper is presented a framework for knowledge representation that leads to digital learning systems where no strategy for the learning process is previously established. To the student is offered the opportunity of exploring multi-level problem contexts, confronting personal experiences with theoretical knowledge in a progressive elicitation process. The main objective of the proposed framework is to facilitate the construction of effective business complex learning environments.

Palavras-chave: ambientes de aprendizagem, sistemas tutores inteligentes, construtivismo

Keywords: learning environments, intelligent tutoring systems, constructivism

1. Introdução

Nas duas últimas décadas, os chamados Sistemas Tutores Inteligentes (STI) têm-se apresentado como promissoras ferramentas de apoio ao processo de aprendizagem. Dentre os sistemas projetados poucos, entretanto, tiveram um desenvolvimento prosseguido. Apontam-se na literatura duas razões principais. Uma está relacionada ao fato de que o desenvolvimento de um STI é difícil, demorado e custoso (El-Sheikh e Sticklen, 2002). A segunda refere-se à carência de um STI genérico, onde os seus componentes possam ser reutilizados para diferentes bases de conhecimento (Murray, 1999; Bruzilovsky, 1994; Clancey e Joerger, 1988). Por outro lado, embora uma alta interatividade entre alunos, tutores e professores seja encontrada nestes sistemas, alega-se a falta de uma metodologia abrangente para a tutoria inteligente virtual (Lima, 2001).

Alguns STI inserem-se nos chamados ambientes complexos de aprendizagem, que têm suas origens nos campos da psicologia cognitiva e do design instrucional. Estes ambientes têm em comum a organização de temas de aprendizado inter-relacionados geralmente através de um problema a ser resolvido ou meta a ser atingida, o emprego de tecnologia multimídia e o foco no estudante, onde este assume um papel ativo no aprendizado (Pellegrino, 2004; Achtenhagen, 2001). Os ambientes de aprendizagem suportados pela tecnologia procuram simular alguns aspectos do ambiente natural, de maneira que o aprendizado ocorra de maneira “autêntica”, envolvendo os estudantes em atividades que tenham alguma conexão com problemas que existam no mundo “real” (Winn, 2002). Este movimento tem por base o surgimento de novas abordagens pedagógicas baseadas no construtivismo.

É neste contexto que as principais questões citadas, relacionadas aos problemas no desenvolvimento de STI, assumem especial relevância. A questão comum, e que aparentemente permeia todas as abordagens para a tutoria inteligente nos ambientes complexos de aprendizagem, está diretamente relacionada ao paradigma pedagógico vigente, ou seja, o paradigma construtivista. Conforme Akhras e Self (2002), em uma perspectiva construtivista, qualquer estratégia instrucional pré-estabelecida não seria autorizada. Deduz-se naturalmente que é no aluno, portanto, que devem estar presentes os processos que envolvem a lide com o material de aprendizagem, e não em qualquer tipo de tutor externo.

Neste artigo parte-se destes aspectos fundamentais para a busca de uma formulação para o problema da representação dos conhecimentos no âmbito dos ambientes complexos de aprendizagem. Acredita-se que os problemas relacionados ao custo de desenvolvimento estejam estreitamente ligados ao problema de modularidade e reusabilidade e que estes, por sua vez, dependam fundamentalmente da perspectiva em que abordamos a função do tutor no processo instrucional. A questão metodológica emerge, assim, naturalmente, e compreende decisões a respeito de qual função atribuir ao tutor e de como abordar o conhecimento a ser representado, de maneira a favorecer o aluno nos seus processos para uma aquisição efetiva dos conhecimentos.

Na próxima seção é apresentada uma revisão bibliográfica relacionada às principais arquiteturas utilizadas para a concepção e o desenvolvimento de STI e na seção 3 são apresentados, resumidamente, os principais formalismos utilizados para a representação do conhecimento. Nas seções 4 e 5 abordam-se os princípios construtivistas e propõe-se uma estrutura para a representação de conhecimentos centrada em modelos. Acreditamos que a estrutura proposta favoreça a concepção de sistemas complexos de aprendizagem com orientação construtivista, com inclusão de tecnologia de inteligência artificial.

2. Sistemas tutores inteligentes

Sistemas Tutores Inteligentes (STI) são sistemas que utilizam o computador para aquisição, transmissão e disseminação do conhecimento, adotando técnicas computacionais e princípios da psicologia cognitiva. Na literatura encontramos inúmeras definições de STI. Abaixo são apresentadas algumas definições:

“... constituem uma evolução dos sistemas CAI (Computer-Assisted Instruction), aperfeiçoados através do emprego de técnicas de Inteligência Artificial. Visam auxiliar o processo de aprendizagem através de um tutor artificial. Este último deve adaptar-se ao aprendiz, contrapondo os métodos tradicionais” (Marietto, 2000).

“... são sistemas de aprendizado baseados em computador, compostos por uma base de conhecimentos, um componente para conteúdo instrucional, um conjunto de estratégias de aprendizado, e equipados com um mecanismo para inferências sobre o conhecimento do aluno” (Murray, 1998).

“... são programas que, interagindo com o aluno, modificam suas bases de conhecimentos, percebem as intervenções do aluno, e aprendem e adaptam as estratégias de ensino de acordo com o desenrolar do diálogo com o aluno. Para ser inteligente, um tutor deve ser flexível, isto é, deve ter a capacidade de aprender com o meio ambiente e de atualizar seu conhecimento” (Viccari e Giraffa, 1996).

Um STI pode ser construído sob duas perspectivas. Na perspectiva modular, também chamada de abordagem tradicional, a arquitetura do sistema é centrada em uma composição de elementos com função dedicada e que implementam os procedimentos necessários ao processo instrucional. Na abordagem por agentes, a arquitetura modular é substituída por uma sociedade de agentes que trabalham de forma cooperativa. Nesta abordagem, os procedimentos instrucionais são aplicados a partir de contextos que se definem no processo de interação entre os agentes.

2.1. Abordagem tradicional

A arquitetura de um STI, conforme a abordagem tradicional, compreende as relações entre 4 componentes principais: um módulo do aluno, um módulo tutor ou de controle, um módulo especialista e um módulo de interface ou de comunicação (Murray, 1999). O módulo do aluno tem como principal função monitorar as ações efetuadas pelo aluno no sistema, inferindo o estado de conhecimento do aluno. Este módulo encarrega-se, portanto, de diagnosticar o conhecimento e as habilidades cognitivas do aluno em um dado momento, em função do material didático manipulado (Bruzilovsky, 1994). O módulo tutor ou de controle tem como principal função disponibilizar o conteúdo para o processo de aprendizagem, baseando-se na interpretação do estado de conhecimento do aluno em um dado momento (Viccari e Giraffa, 1996). Outra função deste módulo é a de monitorar o aluno, apresentando ao mesmo diversas informações relacionadas às suas ações. Essencialmente, o módulo tutor gerencia todas as transações relacionadas à operacionalização do conhecimento pedagógico instrucional (Lima, 2001). No módulo especialista, por outro lado, está armazenada a base de conhecimentos (do especialista), que contém as relações entre os conteúdos pertinentes ao processo de aprendizagem (El-Sheikh e Sticklen, 1998). O módulo de interface ou de comunicação tem como principal função apresentar (interativamente) ao aluno o material didático.

2.2. Abordagem por agentes

Outra abordagem para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem inteligentes é apresentada pelos sistemas cooperativos multiagentes, próprios da Inteligência Artificial Distribuída (IAD) (Viccari e Giraffa, 2003). Estes sistemas foram concebidos para serem flexíveis, aproximando-se aos ambientes reais de ensino

(Pozzebon et al., 2005). STIs modelados através de sociedades de agentes permitem, por exemplo, que as tarefas relacionadas à tutoria sejam tratadas a partir de diversas entidades independentes e que interagem em função de respostas determinadas pelo ambiente de aprendizagem como um todo.

Os agentes desenvolvidos para ambientes de ensino-aprendizagem são designados como agentes pedagógicos. Estes agentes podem atuar como tutores virtuais, alunos virtuais ou colegas virtuais, que auxiliam no processo de aprendizagem. Os comportamentos possíveis para um tutor desenvolvido conforme a abordagem por agentes, segundo Viccari e Giraffa (2003), resumem-se a:

- **Guia:** o agente intervém normativamente, monitorando o aluno durante todo o processo de interação para a resolução do problema;
- **Assistente:** o agente é menos diretivo, porém monitora o aluno durante todo o processo de interação, intervindo através do emprego de procedimentos heurísticos para o auxílio na resolução do problema;
- **Facilitador:** o agente monitora o aluno durante todo o processo de interação, porém não é diretivo. Ele apenas dá dicas para a solução do problema e somente intervém quando solicitado pelo aluno.

Self (1999), baseado na arquitetura clássica, desenvolveu uma arquitetura multiagente, constituída por três módulos-agentes. A partir do módulo domínio, instâncias do conhecimento, contextualizadas em função das interações do aluno com o sistema, podem ser criadas. As estratégias instrucionais, que no módulo especialista da arquitetura clássica encontravam-se programadas na base de conhecimentos, são geradas a partir da interação do sistema com o aluno.

3. Representação do conhecimento

A sistematização do conhecimento pedagógico consiste na tarefa mais complexa no desenvolvimento de um STI. A seguir apresentam-se os principais formalismos encontrados na literatura para a representação do conhecimento em um STI.

- **Raciocínio baseado em casos (RBC).** Segundo Riesbeck e Schanck (1989), é um formalismo que busca resolver problemas a partir de soluções anteriores. Uma base de conhecimentos estruturada a partir do RBC é composta por casos que representam situações reais anteriores. A exposição ao aluno a casos favorece a resolução de novos problemas pelo mesmo (Shiri et al., 1998).
- **Sistemas baseados em regras (SBR).** A base de conhecimentos é composta por um conjunto de regras encadeadas do tipo “se <condição> então <ação>”. A teoria ACT (Atomic Component of Thought) (Anderson et al., 1987) constitui um exemplo da aplicação do SBR em sistemas tutores inteligentes. Nos sistemas baseados na teoria ACT três memórias são definidas: uma memória de trabalho, uma memória de produção e uma memória declarativa.
- **Tarefas Genéricas (TG).** Constituem representações do processo de resolução de problemas (Chandrasekaran, 1986). Propõe-se, nesta abordagem, que um problema complexo seja decomposto em problemas mais específicos. O formalismo inclui operações de construção de tarefas a partir de outras tarefas (como, por exemplo, a composição de duas ou mais tarefas), ou a especialização de uma tarefa (com a decomposição da mesma em sub-tarefas), em uma representação hierárquica.
- **Redes Bayesianas.** São constituídas por uma parte qualitativa (relações de dependência entre variáveis) representada na estrutura de um grafo

(conjunto de nós interligados por arcos direcionados), e uma parte quantitativa constituída por distribuições de probabilidades associadas a cada uma das variáveis (nós) do grafo (Agosta, 2004).

- Lógica difusa. É caracterizada como um eficiente método para tratar informações inexatas ou incompletas, utilizando uma abordagem sistêmica. O principal aspecto da lógica difusa é a captura clara e concisa de vários conceitos utilizados por humanos em um raciocínio convencional (Zadeh, 1973).

4. Construtivismo em ambientes complexos de aprendizagem

A popularidade da abordagem construtivista, fundamentada no trabalho de Piaget, favoreceu a criação de programas mais abertos, em que o aluno explora o conhecimento de uma forma mais pessoal. Na visão construtivista é fundamental que o professor conceba o conhecimento sob a ótica levantada por Piaget: todo e qualquer desenvolvimento cognitivo só é efetivo se for baseado em uma interação muito forte entre o sujeito e o objeto. É imprescindível que se compreenda que com uma atitude do objeto que perturbe as estruturas do sujeito, este não tentará acomodar-se à situação, criando uma futura assimilação do objeto, dando origem às sucessivas adaptações do sujeito ao meio, com o constante desenvolvimento de seu cognitivismo (Lajonquiere, 1997).

Embora muito progresso tenha sido obtido na concepção dos STI, restam ainda inúmeros aspectos a serem resolvidos, dentre os quais destacam-se aqueles relacionados à visão construtivista. As abordagens para a construção de STI apresentadas são objeto de forte crítica por alguns pesquisadores. Sob uma perspectiva construtivista, estes sistemas são considerados demasiadamente intrusivos (Murray, 1999).

Dentre as características apresentadas pelas abordagens para o desenvolvimento de STI, aquela que constitui o maior alvo das críticas refere-se ao fato das estratégias instrucionais serem pré-estabelecidas e programadas, mesmo que em alguns sistemas possam adaptar-se a particularidades expostas pelo aluno (Self, 1999). Note-se também que, tanto na abordagem por agentes como na abordagem clássica para o projeto de um STI, assume-se que um dado estado cognitivo do aluno é aquele definido pelo sistema. Esta particularidade tem seus fundamentos na visão objetivista do ensino, onde o professor (tutor) é o centro do processo instrucional.

Akhras e Self (2002) argumentam que a estrutura padrão dos STI não é apropriada para uma aplicação construtivista. Isto se deve a três fatores que diferenciam a visão construtivista da objetivista, na qual, segundo os autores, os STI são baseados. Em um ambiente construtivista, o domínio dos conhecimentos deve ser modelado em termos de situações e não de estruturas de conhecimento. Também, a avaliação da aprendizagem deve focar no processo de aprendizagem e não no seu produto. Por fim, as oportunidades de aprendizagem devem emergir de situações vivenciadas e não geradas a partir de estratégias de ensino.

Por outro lado, outras abordagens, onde não é dada tanta importância aos procedimentos que operacionalizam as funções do tutor, enfatizam a simulação de aspectos do ambiente natural de aprendizagem (Achtenhagen, 2001). Mais especificamente, nestes ambientes procura-se disponibilizar ao estudante um acervo de elementos pedagógicos que favoreçam o processo construtivista. É neste contexto que se insere a questão da recuperação contextualizada da informação, e parece-nos claro que é essencialmente em função deste problema que se pensaram as abordagens para os STI apresentadas.

Vistas sob esta perspectiva, as críticas referem-se mais à abordagem tecnológica empregada para a construção dos sistemas do que aos propósitos para eles definidos. Sua própria designação – sistemas tutores inteligentes – revela que a tecnologia que os permeia compreende a representação do raciocínio de um tutor que procura orientar o aluno, e não uma tecnologia que, independentemente das intenções ou boas vontades do tutor especialista, facilite ao aluno a realização de atividades essenciais ao seu processo de aprendizagem, tais como a contextualização de problemas, a elaboração de conceitos, a instanciação de idéias, dentre muitas outras.

Esta forma de abordar o conhecimento a representar em ambientes de aprendizagem encontra-se definida nos chamados ambientes de aprendizagem centrados em modelos. Nestes programas instrucionais, os exemplos que esclarecem os conceitos são precedidos por modelos conceituais relacionados. O paradigma da instrução centrada em modelos relaciona-se ao progresso dos modelos mentais, progresso este que deve se dar no decorrer do processo de aprendizagem. Mais especificamente, a instrução centrada em modelos é definida a partir de um processo que inclui uma espécie de transição entre pré-conceitos (por exemplo, os estados presentes no início do processo de aprendizagem) e explicações causais (por exemplo, os estados finais desejados, decorrentes do processo de aprendizagem) (Seel e Dijkstra, 2004).

Pode-se, portanto, abordar o problema sob a perspectiva da natureza do formalismo empregado para a representação dos conhecimentos. Através de uma abordagem centrada em modelos não é a representação do raciocínio que está em questão, como na abordagem tradicional de sistemas tutores inteligentes, mas sim a estruturação do conhecimento sob o ponto de vista do domínio do conteúdo e das situações em que o domínio se insere, conforme salientam Akhras e Self (2002).

Na seção seguinte propõe-se uma nova abordagem para o problema da representação de conhecimentos em ambientes complexos de aprendizagem com orientação construtivista.

5. Uma proposta para a representação de conhecimentos centrada em modelos

Piaget, em sua conhecida obra *A Linguagem e o Pensamento da Criança* (Piaget, 1999), identifica dois tipos de raciocínio nas crianças que, segundo ele, são aqueles que nos guiam no resto de nossas vidas em intensidades que variam. Um deles refere-se àquele que empregamos a partir de nossas “teorias” pessoais, raciocínios que são livres, que independem de validação externa, e que são chamados de pensamento pré-causal. É a partir destas teorias que o pensamento, que Piaget designa como “lógico” ou “socializado”, se forma no decorrer dos anos, especialmente a partir dos cinco anos de idade. Procuramos elaborar raciocínios que sejam aceitos pelos outros, que nos permitam uma inserção social satisfatória. Pelo fato de serem aceitos, são comunicáveis, e assim podem ser formulados de maneira explícita.

Em uma aprendizagem baseada em modelos, a manipulação de conceitos formalizados só resultará em ganho de conhecimentos, se ocorrer em situações que possamos associar a problemas que nos desafiaram ou que nos desafiam. O processo envolve o confronto de situações-problema que inicialmente não podemos comunicar, ou seja, não podemos justificar plausivelmente para outros, com estruturas onde a relação entre os elementos presentes (no problema) assumem um significado “lógico”, comunicável.

Na abordagem proposta¹, parte-se da premissa de que é a imaginação do aluno, quando se encontra em situações onde a relação entre os fatos lhe instiga a busca de uma explicação plausível para a elucidação do problema, o elemento propulsor do processo de aprendizado. O processo se dá através do emprego pelo aluno de teorias

pré-causais (individuais) para o tratamento de situações falhas, que acreditamos refletir as situações vivenciadas no cotidiano. Idéia semelhante é apresentada por Schank (1999).

Os elementos e suas relações representados na Figura 1 constituem uma base para que o aluno recupere informações. Dentre estes elementos (e suas relações), os que estão incluídos no âmbito da situação vivenciada constituem o que designamos como modelo. Neste modelo estão representados os aspectos relacionados ao “funcionamento” de um sistema qualquer e, principalmente, os aspectos que levam ao seu “não” ou “mal” funcionamento. Para que os processos envolvidos no funcionamento (e no “não” ou “mal” funcionamento) do sistema possam ser contextualizados, uma representação hierárquica dos subsistemas e de suas propriedades funcionais é necessária. Estas propriedades indexam tanto a situação relacionada aos processos onde os fenômenos são relevantes, como o problema percebido. Fatos associados à situação e ao problema são necessários para que a recuperação dos cenários (de funcionamento ou de “não” ou “mal” funcionamento do sistema) seja possível. O domínio de conteúdo compõe-se de uma base de conceitos teóricos e de fenômenos também teóricos. A indexação dos conceitos e fenômenos a uma dada situação é possível através da indexação entre os conceitos e fenômenos.

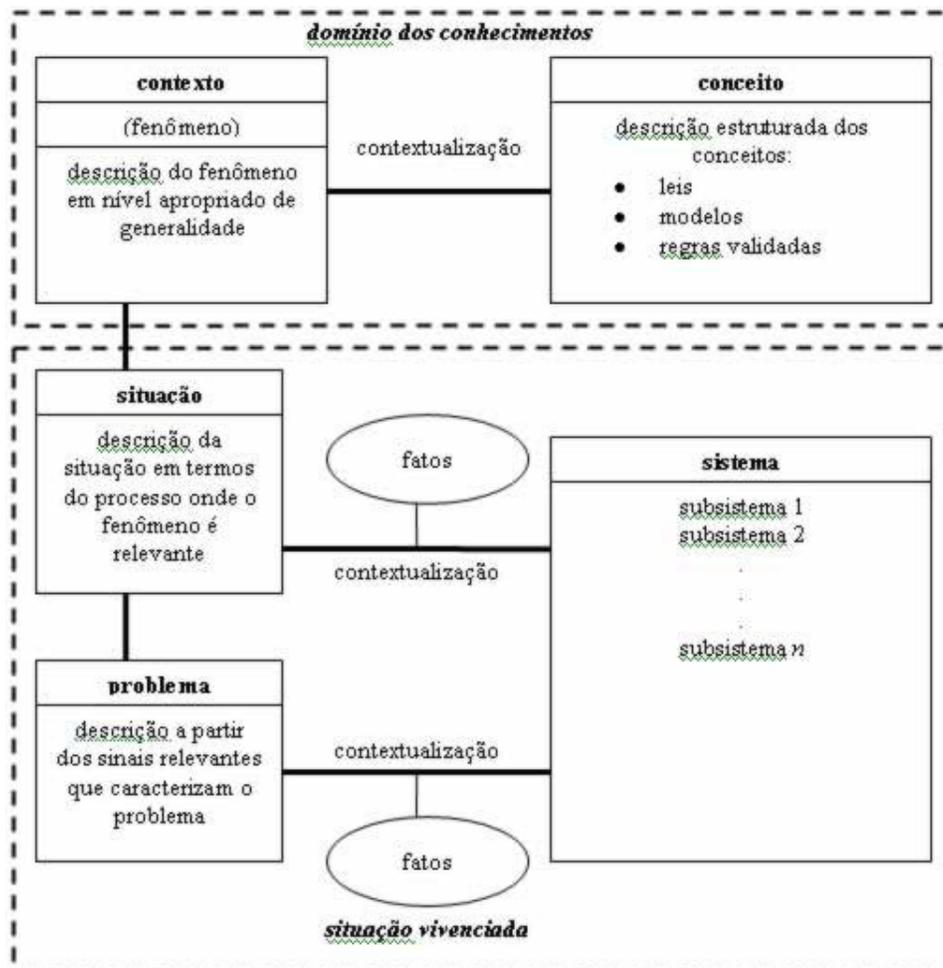


Figura 1 – Abordagem proposta para a representação de conhecimentos centrada em modelos

Os conceitos e fenômenos teóricos compõem o que designamos como domínio dos conhecimentos, devido à consideração de que o conhecimento formal, ou lógico, ou socializado constitui um resultado bastante delimitado e definido do processo de aprendizagem. Por outro lado, os elementos e relações no âmbito do que designamos como situação vivenciada constituem um manancial de proposições bem formadas que se confunde com elementos pertencentes ao imaginário do aluno. Mais especificamente, as causalidades representadas no modelo só se tornam explícitas (justificáveis por argumentos socialmente plausíveis), quando elucidadas por teorias aceitas. Caso contrário, justificam-se através de analogias presentes no imaginário de cada um. A exploração pelo aluno dos elementos e relações presentes no modelo e no domínio dos conhecimentos propostos o leva a testar progressivamente suas teorias pessoais.

A fim de ilustrar a proposta, apresenta-se a seguir uma instanciação da estrutura baseada em uma situação vivenciada por um dos autores (Figura 2).

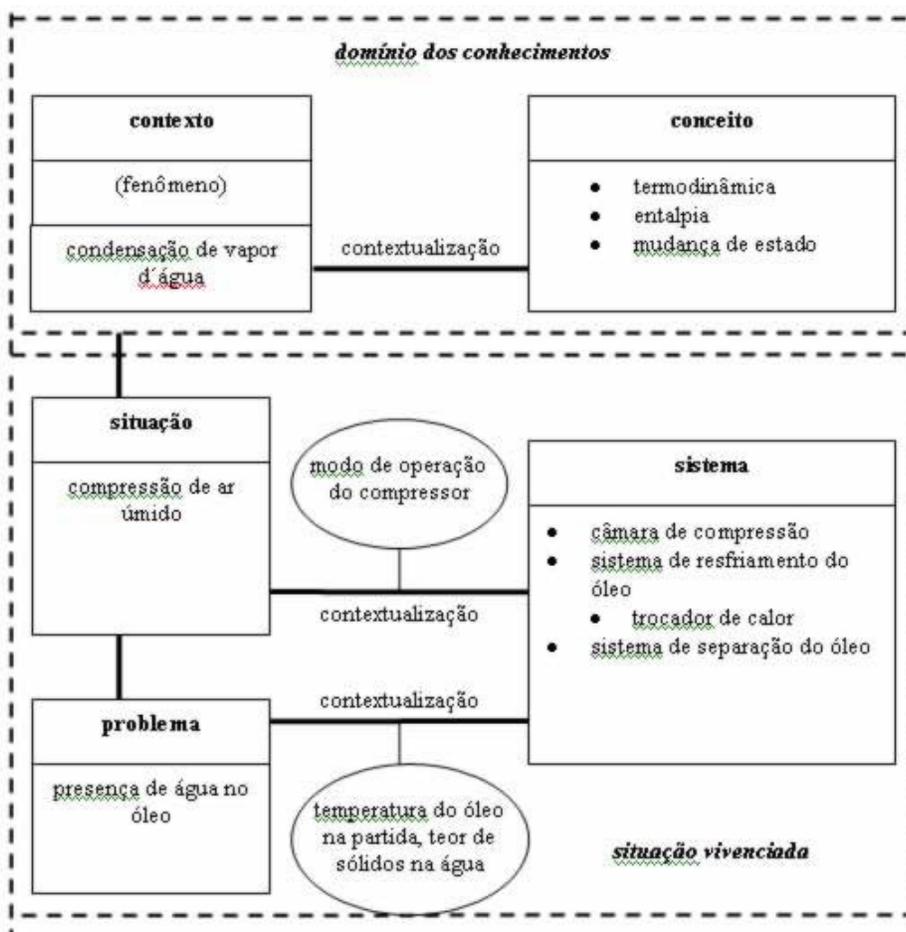


Figura 2 – Ilustração da abordagem através de um exemplo

Em uma plataforma marítima de petróleo, após alguns meses de operação sem problemas, o sistema de compressores começou a apresentar problemas mecânicos relacionados ao atrito dos elementos compressores com sua carcaça de metal. Face a este tipo de avaria, duas hipóteses foram imediatamente formuladas: falta ou ausência de circulação do óleo lubrificante ou temperatura excessiva do mesmo. Além da avaria dos compressores, verificou-se também uma anormalidade relacionada à verificação de

contaminação do óleo com água. As duas hipóteses foram imediatamente descartadas, devido à constatação do dispositivo automático de desligamento do sistema não ter sido acionado por temperatura anormal no ar comprimido. Os compressores foram reparados e postos novamente em operação. Em pouco tempo ocorreram novamente as mesmas avarias. Neste decurso, a repetida verificação de presença de água no óleo passou a constituir uma informação relevante, uma vez que evidenciava uma anomalia em algum subsistema do sistema de compressão, fisicamente distante do local onde as avarias mecânicas encontravam-se. Após inúmeras investidas procurando problemas nos subsistemas, descobriu-se que no manual de operação dos compressores havia uma recomendação para que, na partida dos compressores, o fluxo de água de refrigeração do óleo lubrificante fosse gradualmente aumentado, de maneira que a temperatura do ar não fosse nunca inferior a um determinado valor. Conhecimentos de termodinâmica elucidam o problema: a temperatura deve permanecer acima de um patamar de maneira a evitar-se a condensação da umidade do ar provocada por uma elevação do ponto de orvalho que, por sua vez, deve-se à elevação da pressão do ar. O óleo (misturado ao ar) em temperatura abaixo do ponto de orvalho leva à condensação da umidade do ar.

Enquanto não se fez uma análise do teor de sólidos da água presente no óleo, não se elucidou o problema. Uma vez verificado que a água era proveniente do ar e não do mar, com a qual eram refrigerados os compressores, o problema foi resolvido com a inclusão de um dispositivo automático para a regulação do resfriamento do óleo durante a partida dos compressores.

O exemplo ilustra o processo de elucidação progressiva do problema através da confrontação de conhecimentos pessoais com conhecimentos teóricos e técnicos. Uma aprendizagem efetiva oportunizou o aperfeiçoamento do sistema.

6. Conclusões

Justificadamente, a concepção e o desenvolvimento dos sistemas tutores inteligentes representam uma parcela considerável dos esforços na pesquisa em inteligência artificial, não só pelo valor que tal instrumento representa para a sociedade, mas também por sua relevante contribuição às áreas afins. Este ensaio proporcionou aos autores uma reflexão mais aprofundada sobre os inúmeros aspectos relacionados ao problema. Nesta proposta o tutor perde seu papel diretivo, uma vez que ao aluno é oferecido um espaço de navegação onde nele próprio encontram-se implícitas as oportunidades e motivações para aprender. Além das questões tecnológicas relacionadas à modularidade e à reusabilidade, de grande peso econômico, apresenta-se uma estrutura que acreditamos favorecer uma perspectiva para a concepção de sistemas complexos de aprendizagem com abordagem construtivista e dotados de tecnologia de inteligência artificial. Embora a proposta encontre-se ilustrada com um caso que envolve engenharia de manutenção, a estrutura é dotada de flexibilidade suficiente para acomodar conhecimentos relacionados ao ensino em Administração ou em outras áreas.

¹ A abordagem proposta está implementada no software BIACS (Santos, Borenstein e Jorge, 1998)

Referências bibliográficas

- ACHTENHAGEN, F. Criteria for the development of complex teaching-learning environments. **Instructional Science**, v. 29, p. 361-380, 2001.
- AGOSTA, J. M. Bayes Network Smart Diagnostics. **Intel Technology Journal**, v.8, n.4, 2004.
- AKHRAS, FN; SELF, J.A. Beyond intelligent tutoring systems: Situations, interactions, processes and affordances. **Instructional Science**, v. 30, p. 1-30, 2002.



- ANDERSON, J. R.; BOYLE, C. F.; FARRELL, R.; REISER, B. J. Cognitive principles in the design of computer tutors. In: MORRIS, P. (Ed.), **Modelling Cognition**, NY: John Wiley, 1987.
- BRUZILOVSKY, P. The construction and application of student models in intelligent tutoring systems. **Journal of Computer and System Sciences International**, v.32, n.1, p. 70-89, 1994.
- CHANDRASEKARAN, B. Generic tasks in knowledge-based reasoning: high-level building blocks for expert system design. **IEEE Expert** v.1, n.3, p. 23-30, 1986.
- CLANCEY, W.; JOERGER K. A Practical Authoring Shell for Apprenticeship Learning. In: **Proc. of ITS'88: First International Conference on ITSs**, Montreal, Canada, 1988.
- EL-SHEIKH, E., STICKLEN J. A Framework for Developing Intelligent Tutoring Systems Incorporating Reusability. **IEA/AIE**, v.1, p.558-567, 1998.
- EL-SHEIKH, E., STICKLEN J. Generating Intelligent Tutoring System from Reusable Components, In: **6th International Conference ITS 2002**, 2002.
- LAJONQUIERE, L. Piaget: Notas para uma Teoria Construtivista da Inteligência. **Psicologia USP**, v.8, n.1, p. 131-142, 1997.
- LIMA, D. R. **Proposta para Desenvolvimento de um Sistema Tutor Inteligente aplicado em um Ambiente Virtual de Ensino Aprendizagem**. Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- MARIETTO, M. G. **Definição Dinâmica de Estratégias Instrucionais em Sistema de Tutoria Inteligente: Uma Abordagem Multiagentes na WWW**. São José dos Campos: ITA, 2000, Tese de Doutorado.
- MURRAY, T. Authoring Knowledge-Based Tutors: Tools for Content, Instructional Strategy, Student Model, and Interface Design. **The Journal of the Learning Sciences**. v.7, n.1, p. 5-64, 1998.
- MURRAY, T. Authoring Intelligent Systems: An Analysis of the State of the Art. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v.10, p. 98-129, 1999.
- PELLEGRINO, J. Complex learning environments: Connecting learning theory, Instructional Design, and Technology. In: Seel, N.; Dijkstra, S. (Eds.). **Curriculum, Plans, and Processes in Instructional Design**. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2004.
- PIAGET, J. **A linguagem e o Pensamento da Criança**. Martins Fontes, 1999.
- POZZEBON E.; CARDOSO J.; BITTENCOURT G. Uma Arquitetura Multiagente para Suporte ao Aprendizado em Grupo em Sistemas Tutores Inteligentes. In: **SBIE'2005 XV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**, 2005.
- RIESBECK, C.K.; SCHANK, R. **Inside Case-based Reasoning**. Lawrence Erlbaum Associates, 1989.
- SANTOS, E. R.; BORENSTEIN, D; JORGE, L. .A qualitative methodology for fault diagnosis and supervision . In: **3rd IFAC Workshop on On Line Fault Detection and Supervision in The Chemical Process Industries**, Lyon, 1998.
- SCHANK, R. **Dynamic Memory Revisited**. Cambridge University Press, 1999.
- SEEL, N.; DIJKSTRA, S. (Eds.). **Curriculum, Plans, and Processes in Instructional Design. International Perspectives**. Londres: Lawrence Erlbaum Associates, 2004.
- SELF, J. The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITS care, precisely. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 10, p. 350-364, 1999.



SHIRI, M., AIMEUR, E., FRASSON, C.: Student Modelling by Case Based Reasoning. Fourth International conference on intelligent tutoring systems, In: **Proc. of ITS'88: First International Conference on ITSs**, 1998.

VICCARI, R., GIRAFFA, L.M.M. Sistemas Tutores Inteligentes: abordagem tradicional x abordagem de agentes. In: **XIII SBIA Simpósio Brasileiro de Inteligência Artificial**. 1996.

VICCARI, R., GIRAFFA, L.M.M. **Fundamentos dos Sistemas Tutores Inteligentes, in Sociedades Artificiais: A Nova Fronteira da Inteligência nas Máquinas**. Bookman, 2003.

WINN, W. Current trends in educational technology research: the study of learning environments. **Educational Psychology Review**, v. 14, n. 2, p. 331-251, 2002.

ZADEH, L.: A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v.3, n.1, 1973.