SISTEMA TUTOR INTELIGENTE PARA APOIO AO ENSINO DE PROJETOS DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho[1], Fernando Schnaid[2], Rosa Maria Vicari[3]

Abstract *— This work analyzes the Intelligent Tutoring Systems (ITS) and applications of Artificial Intelligence (AI) in education, highlighting its importance to a) provide individualized instruction, b) to characterize the object of a multidisciplinary research, to pinpoint and analyze the specific requirements of students, teachers and the specific content in question. Briefly describes the planning and implementation of an ITS for teaching Geotechnical Engineering, relating this description to the features proposed in the literature for this type of application, as well as the technical solutions implemented in each module of the system with those necessities of teaching (teacher), of learning (student) and the domain (content), inter-related in the educational setting established by the STI.*

Index Terms — Engineering Education, Intelligent Tutoring System, Artificial Intelligence, Computer in Education.

INTRODUÇÃO

A área de Geotecnia, em particular a Engenharia de Fundações, é uma área do conhecimento que envolve conceituação teórica associada à intuição e experiência no encaminhamento de soluções práticas. Na tarefa de escolher os tipos de fundações tecnicamente adequados às condições impostas, freqüentemente o engenheiro de fundações trabalha com dados incompletos e/ou imprecisos, fazendo com que a resolução de um problema de projeto de fundação seja de natureza complexa. O desenvolvimento de um projeto envolve várias fases como: determinação do carregamento ou solicitações; caracterização da estrutura que será suportada pelas fundações; determinação do comportamento do solo a partir da investigação do subsolo; escolha do tipo de fundação mais adequado; e o dimensionamento dos elementos de fundação.

A escolha do tipo de fundação, etapa do processo de um projeto de fundações, segundo [1], é, das fases, a mais crítica, por envolver avaliação e julgamento do profissional, fundamentado principalmente na experiência em casos anteriores, e envolvendo considerável risco durante sua implementação. Esta fase conta ainda, segundo [16], com aspectos como custos, prazos e confiabilidade da solução. Envolve, portanto, conhecimento heurístico, regras práticas, atalhos e estratégias de raciocínio obtidos na observação, comparação e análise com situações semelhantes ocorridas no passado. Não existem aqui soluções determinísticas, algorítmicas. Conhecimento e experiência, são ambos fundamentais ao correto exercício profissional.

A solução de um problema geotécnico, através da estratégia de elaboração de projeto, envolvendo tipos de edificação, caracterização do solo e suas propriedades, influência da água no solo, impacto ambiental e a consideração das diversas opções tecnológicas de solução, implica um nível de complexidade que favorece o uso de STIs como ferramenta de apoio ao aprendizado, uma vez que se tem um modelo de domínio fundamentado em um sistema de regras que simula o conhecimento do especialista, podendo confrontá-lo com o desempenho do aluno na solução de um dado problema. Em conseqüência desta comparação, pode-se adotar uma estratégia pedagógica que vise diminuir a distância entre o conhecimento do aluno e do especialista, na elaboração de um projeto de fundações.

Embora a elaboração de projetos seja uma área fértil para a pesquisa sobre ensino de Engenharia, ainda não estão presentes, no Brasil, o conhecimento da natureza e possibilidades de uso de STIs como ferramenta de pesquisa nesta área.

Além disso, o uso da estratégia educacional de elaboração de projeto, fundamentada na solução de problemas baseados em ocorrências reais da prática da engenharia de fundações, segundo [18], p.9, caracteriza "[...] um contexto integrado de conceitos teóricos, atividades práticas, tomadas de decisão e vivências que deverão constituir um apoio à consolidação da memória de longa duração dos alunos, e, por conseguinte, de seu aprendizado [...]", e traz a possibilidade de se trabalhar com elementos da estrutura cognitiva do aluno de engenharia, como raciocínios e operações mentais, com a possibilidade de compreender os aspectos e variáveis inerentes ao ensino de Engenharia.

CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA EDUCAÇÃO

Inteligência artificial (IA) é um domínio extenso de pesquisa e desenvolvimento de soluções em hardware e softwares, para quase todas as áreas do conhecimento. A área inclui disciplinas como Redes Neurais, Algoritmos Genéticos, Àrvores de Decisão, Sistemas de Frames, Sistemas Especialistas e Sistemas Tutores Inteligentes (STI), dentre outras, que procuram de alguma maneira modelar e

1 Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho, Doutor, Programa de Pós-graduação em Informática na Educação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, paka@ufrgs.br
2 Fernando Schnaid, Doutor, Programa de Pós-graduação em Informática na Educação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, fernando@ufrgs.br
3 Rosa Maria Vicari, Doutor, Programa de Pós-graduação em Informática na Educação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, rosa@inf.ufrgs.br

emular alguns dos processos mentais humanos mais sofisticados, como raciocínios, inferências, estratégias de tomadas de decisão, identificação e interpretação de informações (sinais elétricos, luminosos, paramétricos de faces, etc.). De acordo com Kurzweil (1992), as máquinas usam a IA para executar funções que exigem o uso de algum tipo de inteligência, funções que normalmente são executadas por seres humanos. Segundo [14], p.3, a IA "[...] sistematiza e automatiza tarefas intelectuais [...]" e para [13], p.3, o objetivo da IA é "[...] capacitar o computador a executar funções que são desempenhadas pelo ser humano usando conhecimento e raciocínio". Para [3], IA é o ramo da Ciência da Computação voltado para o estudo das faculdades mentais através do uso de modelos computacionais.

Possivelmente, todas as definições são variações que orbitam em torno do sentido original da expressão Inteligência Artificial sugerida por [10]. Nesse contexto [8]-[10]-[13]-[14], fica evidente que é necessária a incorporação de conhecimento para o desenvolvimento de sistemas inteligentes (computacionais ou mecânicos). Para representar e manusear este conhecimento necessário à atuação inteligente dos sistemas, a IA apóia-se na chamada Engenharia do Conhecimento, que trata da eliciação , modelagem e implementação de um determinado conhecimento, em um sistema computacional. Supondo-se, portanto, de forma simplificada, que a inteligência artificial seja a implementação, em máquinas ou softwares, de habilidades ou capacidades humanas, de maior ou menor nível de inteligência, o primeiro desafio de implementação de qualquer sistema será exatamente estruturar o conhecimento envolvido nessa atividade, através da Engenharia desse conhecimento, ou seja, de sua eliciação e modelagem . Isso vale tanto para a implementação do funcionamento de um braço mecânico, ou para a emulação da operação mecânica ou virtual com base em alguma competência intelectual, ou afetiva. No primeiro caso, do braço mecânico, o conhecimento eliciado será relativo, por exemplo, aos tipos de movimento viáveis, em duas ou três dimensões. E no caso da competência intelectual ou afetiva, será necessário modelar os estados possíveis a serem reconhecidos pela máquina ou software, sobre os quais o sistema poderá inferir a ação a ser executada.

No caso da IA aplicada a ambientes educacionais, a rigor há várias camadas de conhecimentos, cuja eliciação e modelagem implicam em ações inteligentes, relacionadas à situação de ensino-aprendizagem, em sua complexidade e sua multiplicidade, as mais visíveis sendo a engenharia do conhecimento referente ao domínio (o conteúdo), à atividade do professor (ensino) e à do aluno (aprendizagem). Ressalte-se que a questão da aprendizagem é crucial para a IA, não apenas pelas questões educacionais propriamente ditas, mas por que está afeita a todos os desafios de implementação produzir desenvolvimentos - em maiores ou menores níveis de autonomia em relação à programação inicial - em máquinas e softwares. Além disso, em função da crescente interface entre os estudos sobre o funcionamento do cérebro humano e os modelos computacionais, as questões de ensino e de aprendizagem são temas que catalisaram intenções e esforços de professores, filósofos, psicólogos, neurocientistas, pedagogos e cientistas da computação, entre outros profissionais que apontam, cada um, para um dos múltiplos aspectos da questão, permitindo recortes e sínteses de vários níveis, como as que se fará no presente artigo, ao contextualizar, apresentar e analisar um caso de IA aplicado ao ensino de engenharia civil, que constitui objeto de tese de doutorado junto ao Programa de Pós-graduação em Informática na Educação (PGIE) na UFRGS.

A área da IA que trata especificamente das questões de ensino, aprendizagem e todas as referidas interfaces psicológicas e cognitivas, é a de Sistemas Tutores Inteligentes (STI). É por esta área que se inicia formalmente a contextualização do trabalho.

SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Um STI é uma aplicação de IA à área educacional, que se caracteriza por viabilizar a representação separada das já referidas camadas de conhecimento mais relevantes nas situações de ensino-aprendizagem: a matéria, ou o conteúdo que se quer ensinar (módulo do domínio); as estratégias escolhidas pelo professor para ensinar este conteúdo (módulo pedagógico); e um modelo pressuposto de aluno (módulo do aluno, que supõe os passos necessários à construção endógena do conhecimento, ou seja, os passos para a construção, pelo aluno, de um modelo mental sobre o conteúdo proposto). O objetivo dessa aplicação é identificar as necessidades de cada uma dessas inteligências, que constituem um sistema integrado, para, com isso, potencializar cada uma delas, através do sistema computacional e, no limite, obter um ensino-aprendizagem individualizado, rico em estímulos relativos tanto à apresentação quanto aos desafios pedagógicos propostos sobre o conteúdo. Outra característica marcante dos SITs é a necessidade de uma interface de comunicação com o aluno, a qual precisa obedecer às melhores práticas da usabilidade e constituir um módulo ergonomicamente bem planejado, de fácil manuseio e que favoreça o processo de comunicação tutor-aluno [11]-[19]-[20]-[22].

Segundo [2], o que diferencia os STIs dos outros softwares educacionais é o foco na personalização da instrução. Esta diferenciação está relacionada, em especial, às necessidades de aprendizado individuais e à possibilidade de ofertar ao aluno diferentes níveis de conhecimento e habilidades referentes a um determinado domínio, bem como uma multiplicidade de formatos de apresentação do conteúdo, facilitadas pela disseminação da tecnologia de multimídia. Estes requerimentos normalmente são tratados pelo modelo do aluno, que desempenha um papel central para o sucesso de um STI, de forma integrada ao que [4] descreveu como a simulação do instrutor perfeito (modelo do professor). Isto significa que o sistema deve ser capaz de

equacionar várias funções do professor, como, por exemplo, estruturar múltiplas formas de apresentação do conteúdo, respeitando e referindo-se ao conhecimento prévio dos alunos e, posteriormente, interpretar a mente de cada aluno (avaliação), inferindo seu modelo mental sobre cada etapa do conteúdo. A partir dessa interpretação, o professor ideal – ou o sistema - deve ter a capacidade de propor uma estratégia sob medida para cada necessidade individual, seja dirigindo o aluno a uma forma diferente de apresentação do conteúdo (para atender às formas preferenciais de processamento de informações de cada um, orais, visuais, matemáticas, gráficas, etc.), seja propondo novos desafios ou aplicações sobre o conteúdo apresentado. No caso dos STI, para poderem ser implementadas computacionalmente, as estratégias selecionadas precisam ser estruturadas na forma de situações de erros e acertos, baseadas em alguma regra conhecida pelo sistema, como parte do modelo já eliciado do domínio [4].

A descrição das funções do professor e sua emulação nos STI são bem sintetizadas em relatório técnico do Congresso Norte-Americano:

> Os STI são projetados, tendo eles o propósito de conduzir o aprendizado humano, para detectar o conhecimento prévio do aluno e compará-lo com o conteúdo que deve ser aprendido, criar uma trajetória de aprendizado otimizada para o aluno, reconhecer padrões nos erros dos alunos e prover ações ou respostas personalizadas [20].

Corroborando as descrições de características dos STIs, [12], p.3, comenta:

> O STI modela o entendimento do estudante sobre um tópico e à medida que ele realiza determinadas tarefas no sistema (ou seja, ele interage com o sistema realizando tarefas colocadas por este) compara o conhecimento do estudante com o modelo que ele tem de um especialista do domínio. Se existir uma diferença, o sistema pode usar o seu modelo de domínio para gerar uma explicação que vai auxiliar o estudante a compreender o que ficou mal entendido. Além disso, o sistema pode também ajustar os níveis e estilos de aprendizagem do estudante e apresentar a informação, os testes e o 'feedback' que são mais apropriados.

Integrando as várias descrições, propõe-se que esta categoria de sistema computacional tenta simular a tutoria humana, implementando estratégias instrucionais através do uso de técnicas da IA, com o propósito de guiar o aprendizado, combinando representação do conhecimento de um domínio com a avaliação do desempenho do aluno no sistema e subseqüente encaminhamento de novas ações do aluno, com base nesta avaliação. A técnica implementada em um STI exige diagnóstico, acompanhamento e avaliação da desempenho do aluno [19], o que deve ser feito através de comparação dessa desempenho com o modelo de conhecimento e heurística relativos ao domínio, eliciados previamente de um especialista Assim, repostas e inferências dos alunos, ao longo do processo de aprendizado, podem ser interpretados em relação à solução do problema dada pelo especialista, cujo conhecimento está modelado no STI.

Por isso, mais do que simplesmente dispor um conhecimento de forma interativa, um STI oferece ao instrutor a oportunidade de avaliar o desempenho do aluno, não simplesmente pela análise de respostas corretas e incorretas, mas – e principalmente - pela seqüência de inferências feitas por ele, para resolver o problema proposto, as quais podem revelar o nível de informação, o raciocínio e a capacidade do aluno aplicar os conhecimentos construídos, sobre o domínio estudado. Pelo acompanhamento das inferências dos alunos, o STI pode customizar a trajetória de aprendizado a partir do diagnóstico de erros, fornecendo feedbacks específicos para cada erro detectado, que podem ser erros de interpretação do problema proposto, erros conceituais ou qualquer deficiência do aluno detectada pelo sistema [20]. Nesse sentido, além de constituir uma poderosa ferramenta didática, de apoio a atividades docentes de qualquer nível, os STIs traduzem de forma minuciosa e integrada, a dinâmica da relação professor-aluno, permitindo que se localizem competências e necessidades específicas nesse processo, que dizem respeito a um e outro dos atores dessa relação, tanto quanto às especificidades do conteúdo em pauta, com toda a sua complexidade. Estruturam-se, portanto, também como objetos de pesquisa educacional, prestando-se a exercícios de implantação, de observação e de estudo sobre as variáveis complexas e dinâmicas dos projetos didático-pedagógicos, de qualquer nível e área do conhecimento.

Do ponto de vista das necessidades de desenvolvimento e implantação, refere-se novamente o relatório técnico do Congresso Norte-americano [21], no sentido de salientar tópicos obrigatórios num STI, pela visão do órgão do governo dos Estados Unidos:

- Entendimento de como alunos e especialistas solucionam problemas, a fim de desenvolver um mecanismo que permita ao STI gerar o modelo de aluno e personalizar a instrução;
- Definição de estratégias baseadas na tutoria humana, ou seja, habilitar o STI a intervir na ação do aluno (quando interromper, quando explanar, quando apresentar conteúdo complementar ou quando apresentar outro problema);
- Representação de sistemas reais onde os alunos poderão manusiar, explorar e testar hipóteses;
- Desenvolvimento de interface que facilite a interação entre o STI e o aluno;
- Estudo de como o conteúdo do domínio pode ser adaptado ao aluno.

Na seqüência, serão abordados sucintamente os itens relativos à arquitetura dos STIs, consolidando o contexto onde será relatado o caso de desenvolvimento de um STI para ensino de Engenharia.

ARQUITETURA DO STI PROPOSTO

O principal objetivo dos Sistemas Tutores Inteligentes é proporcionar um ensino adaptado a cada aluno, tentando se

aproximar ao comportamento de um professor humano na sala de aula. A arquitetura dos STIs varia entre implementações. Mesmo assim, estes sistemas se baseiam em uma arquitetura básica composta por quatro componentes [9]-[11]-[22]. Esta arquitetura tradicional pode ser visualizada na **FIGURA 1**, e é constituída por:

- Módulo do aluno: neste módulo estão armazenadas/modeladas as características individuais do aluno;
- Módulo do tutor: possui o conhecimento sobre as estratégias e táticas para selecioná-las em função das características do aluno (representadas no Modelo do aluno);
- Módulo do domínio: armazena o conhecimento sobre domínio, no formato de regras de produção, frames ou outra forma de representação de conhecimento;
- Módulo da Interface: intermedia a interação entre o sistema e o aluno.

Embora a arquitetura básica seja, em essência, a que foi apresentada, ocorre variação na nomenclatura usada pelos autores. Ora usa-se modelo, ora usa-se módulo. Em algumas referências encontra-se **módulo especialista** como sinônimo de **módulo do domínio**, assim como **módulo tutor** é usado com o mesmo significado de **modelo pedagógico** ou **estratégia de ensino**. O mesmo ocorre com os conceitos **modelo do aluno** e **módulo do estudante**. Os termos e conceitos que serão adotados neste trabalho serão definidos após a apresentação das principais propostas de arquiteturas, com base nos trabalhos dos pesquisadores da área de STI.

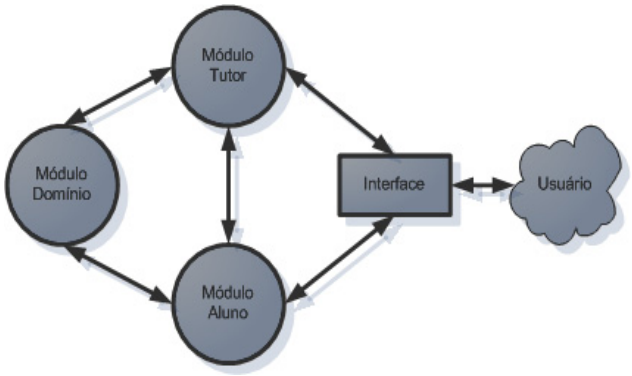

FIGURA 1.
ARQUITETURA CLÁSSICA DE UM STI

Apesar das variações de nomes, as funções exercidas por cada componente de um STI coincide com a descrição para os módulos do aluno, do domínio, do tutor e da interface. E para todos os efeitos, neste trabalho, será adotada a seguinte nomenclatura para os quatro componentes de um STI: modelo do aluno, modelo do tutor, modelo do domínio e interface.

Uma vez definida a estratégia educacional como sendo a Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP) - item 1 - e o plano de instrução como sendo a escolha do tipo de fundação para os problemas de projeto apresentados no STI, parte-se para as particularizações da estrutura e dos requisitos do sistema que viabilizam as ações do aluno e permitem o acompanhamento e tutoria do sistema.

A arquitetura adotada para construir o STI foi a clássica (ver **FIGURA 1**), onde o modelo do aluno baseou-se na técnica de overlay, o modelo do domínio baseou-se nas regras do Sistema Especialista de [1] e no repositório de Objetos Educacionais para Engenharia de Fundações de [7] e o modelo de tutor foi fundamentado na ABP e na experiência docente do Professor Doutor Fernando Schnaid, orientador da tese.

Interface com o Aluno

A interface apresenta dois aspectos importantes. Primeiro, como o aluno interage com o ITS. Segundo, como o aluno interage com o domínio. No que diz respeito ao primeiro aspecto, a interface tem que dar conta das ações que usuário pode executar no sistema. No que diz respeito ao segundo aspecto, o aluno trabalha em um conjunto de problemas nos quais, para resolvê-los, tem que explicitar o seu raciocínio através do mesmo formalismo usado para a representação do conhecimento do especialista, antes de definir a solução de um dado problema.

A construção da interface derivou-se dos pressupostos identificados nesses dois aspectos, sendo que as proposições foram definidas a partir de uma análise de requisitos que estabeleceu o funcionamento geral do sistema.

Modelo do Domínio

O modelo do domínio é o oposto da interface, pelo ponto de vista topológico. É a camada mais interna da aplicação e corresponde à camada de modelo de dados. Contudo, este componente também é responsável pelo armazenamento do conhecimento do especialista. Para essa tarefa usou-se regras de produção, técnica de representação do conhecimento do tipo procedural e declarativo que contém a perícia do especialista humano. O modelo do domínio ainda conta com uma estrutura de dados composta por um acervo de recursos educacionais. Esse repositório cumpre a função enciclopédica a respeito do domínio do conhecimento abordado no STI e é utilizado pelo modelo do tutor para oferecer conteúdo ao aluno.

Os recursos educacionais são compostos por quatro livros eletrônicos, um conjunto de dezoito vídeos, aproximadamente quatrocentas imagens, cinqüenta artigos e cinco animações, produzidos a partir de outros projetos do qual o autor foi integrante [5]-[6]-[16]-[17] e de sua dissertação de mestrado [7]. Estes recursos estão dispostos em pastas na arquitetura da aplicação e são descritos e mapeados através de metadados estruturados em um banco de dados relacional.

Técnica de Overlay e o Modelo do Aluno

A técnica de Overlay fica caracterizada pelo registro do raciocínio intermediário do aluno explicitado por regras que utilizam o mesmo conjunto de variáveis (e valores) e o mesmo formalismo usado para representar o conhecimento do especialista.

O modelo do aluno vai sendo construído na medida em que ele vai interagindo com o STI no processo de solução dos problemas propostos. O fim desse processo se dá com a definição dos tipos de fundações escolhidos como solução e a justificativa das escolhas. Contudo, a representação do raciocínio intermediário e a solução escolhida são os elementos fundamentais para a construção do modelo do aluno pelo STI.

Modelo do Tutor

A implementação do modelo do tutor contém os aspectos centrais do funcionamento do STI. Esse componente é responsável por gerar as reações do sistema para as ações que o usuário executa na interface. Quando o aluno faz uma requisição ao STI, o tutor é responsável por: consultar os dados no modelo do aluno e aplicar as táticas associadas à estratégia pedagógica (apresentação de conteúdo ainda não visto, sugestão de problema a ser resolvido ou ajuda sobre o problema atual, etc.).

Na Tese, adotou-se a pedagogia de Aprendizagem Baseada em Projetos, cuja a natureza das atividades encontra equivalência, em alguns aspectos, com as estratégias denominadas Aprender-Fazendo (Learning-by-Doing) e Resolução de Problemas. Contudo, as técnicas empregadas no presente trabalho contornam uma limitação da Resolução de Problemas, onde o sistema somente exibe sua concordância, ou não, com as soluções do aluno ou fornece dicas para induzí-lo a corrigir seus erros.

As técnicas computacionais empregadas permitem que se obtenha informações que habilitam o STI inferir sobre aspectos cognitivos do raciocínio que leva o aluno à definição de uma determinada solução. O intuito é valer-se desses recursos criando condições para o sistema aplicar as táticas de ensino implementadas para dirigir e orientar a aprendizagem do aluno. A estratégia e as táticas levam em conta a natureza do ensino, do aprendizado e do domínio da Engenharia.

Os subterfúgios relacionados às táticas dão conta do uso dos conceitos em diferentes contextos e em diferentes níveis de dificuldades. Essa característica explora o conhecimento do aluno a respeito do domínio, incluindo-se experiência pessoal, processos, técnicas e ferramentas que fazem parte do cotidiano do engenheiro de fundações. Assim, o tutor adapta a instrução ao aluno (sugestão de exercício, de conteúdo, diálogos e comparação com resultados do especialista) com base nas táticas de ensino do STI que buscam emular a didática do professor humano.

Em síntese, para alcançar o objetivo de personalização da instrução o STI leva em consideração o imbricamento entre estratégia pedagógica e táticas de ensino, das quais emerge um comportamento que emula a didática. A relação entre esses conceitos é apresentada na Figura 2.

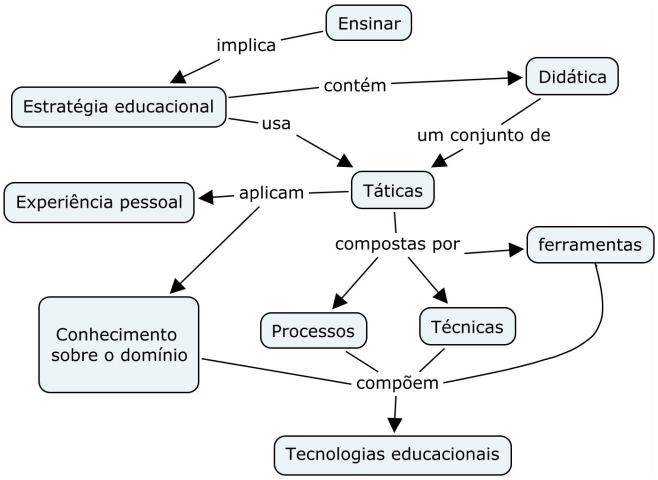

FIGURA 2.
MAPA CONCEITUAL SOBRE O VÍNCULO ENTRE ESTRATÉGIA EDUCACIONAL E DIDÁTICA

CONCLUSÕES

Desenvolveu-se um STI capaz de abordar problemas cognitivos e pedagógicos relativos ao ensino de Engenharia, particularizado paro o domínio da Engenharia de Fundações. Este objetivo representa uma contribuição expressiva deste trabalho, uma vez que não há referência disponível na literatura da aplicação de STIs à Engenharia Civil, Geotécnica ou Fundações.

A implementação da estratégia pedagógica fundamentada no modelo cognitivo do engenheiro e baseada em elaboração didática de projeto, sugere que o STI favorece o desenvolvimento de habilidades desejáveis para o futuro profissional de Engenharia, pois é composto de uma estrutura que viabiliza a redução da diferença entre o desempenho dos alunos e do especialista (implementado no modelo do domínio) na solução de problemas de projeto de fundações. A estratégia fundamenta-se em uma pedagogia ativa, interativa e faz a convergência entre teoria e prática.

Com base no desenvolvimento realizado, é possível tecer algumas considerações de caráter mais geral, que são fruto da experiência do autor. Estas reflexões podem auxiliar o processo de tomada de decisão com relação a futuras pesquisas:

- O desenvolvimento de STI tem um alto custo agregado. Os pesquisadores são compelidos a projetar toda a arquitetura e a implementar todos os componentes de seus sistemas, desenvolver a representação de conhecimentos e os mecanismos de raciocínio e definir as estratégias e técnicas pedagógicas mais adequadas para o domínio do conhecimento abordado. Os aspectos relativos a estratégia pedagógica e as informações do

modelo do aluno são particularmente importantes devem ter atenção especial dos desenvolvedores;

- O desenvolvimento e implementação das técnicas de IA são de grande complexidade, fato que dificulta o desenvolvimento;
- A integração das técnicas de IA é tarefa pesada. O desenvolvimento e manutenção de sistemas híbridos de IA exigem tempo e esforço.

Esses pontos merecem atenção especial dos pesquisadores e do grupo de desenvolvedores. Fica evidente a necessidade de trabalho em grupos de pesquisa com abrangência nas áreas vinculadas ao desenovolvimento do STI. No caso dessa Tese, a Engenharia, a Computação e Educação.

REFERENCIAS

[1] AZEVEDO, S. L. Desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista para escolha do tipo de fundações, 1999. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS, Brasil, 1999.

[2] BRUCE, C. et al. Transforming IT education: promoting a culture of excellence. Santa Rosa, CA, USA: Informing Science Press, 2006.

[3] CHARNIAK, E.; MCDERMOTT, D. Introduction to artificial intelligence. Wokingham, UK: Addison-Wesley, 1985.

[4] FENRICH, P. Creating instructional multimedia solutions: pratical guidelines for the real world. Santa Rosa, CA, USA: Informing Science Press, 2005.

[5] FERREIRA FILHO, R. C. M. et al. Produção de Material Educacional: Objetos Educacionais e Padrão Dublin Core. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA: Avaliação: compromisso com a qualidade e resultados, 11., 2004, Salvador. Proceedings. Disponível em: <http://www.abed.org.br/congresso2004/por/gradetc.htm>. Acesso em Dez. de 2004-a.

[6] FERREIRA FILHO, R. C. M. et al. Artificial intelligence, learning objects and Dublin Core standards. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS, 7., 2004, Maceió - AL. Proceedings. Berlin - Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2004-b. Suplemento Workshop Distance Learning Environments for Digital Graphic Representation.

[7] FERREIRA FILHO, R. C. M. Contribuições ao uso de novas tecnologias da informação e comunicação no ensino de engenharia, 2005. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre – RS, Brasil, 2005.

[8] KURZWEIL, R. The age of intelligent machines. Cambridge: MIT Press, 1992.

[9] MA, Z. Web-based intelligent e-learning systems: technologies and applications. London, UK: Information Science Press, 2006.

[10] MCCARTHY, J.; MINSKY, M. L.; ROCHESTER, N.; SHANNON, C.E. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. Dartmouth College, Hanover, New Hampshire. Originalmente publicado em 1955. Disponível em: < http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> Acesso em: 07 de Jan. de 2007.

[11] POLSON, M. C.; RICHARDSON, J. J. Foundations of intelligent tutoring systems. Hillsdale, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.

[12] POZZEBON, E; BARRETO, J. Inteligência artificial no ensino com tutores inteligentes. Revista de divulgação científica e cultural, Editora da UNIPLAC, v. 5, number 1, page 141-162, ISSN 1415-7896, december, 2002.

[13] REZENDE, S. O. Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações. Baruerí, São Paulo: Manole, 2003.

[14] RUSSEL, S.; NORVIG, P. Inteligência artificial. Tradução da 2ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

[15] SCHNAID, F. et al. Multimídia e aulas interativas a distância: experiências de aplicação no ensino de Engenharia Civil. In: VI WORKSHOP INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO: epistemologia e pedagogia da educação a distância, 6., 2002, CINTED, UFRGS, Porto Alegre. 2002.

[16] SCHNAID, F.; NACCI, D.; MILITITSKY, J. Aeroporto Internacional Salgado Filho: infra-estruturacivil e geotécnica. 1ª ed. Porto Alegre: Editora Sagra-Luzzato, 2001.SELF, J. The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITSs care, precisely. International journal of artificial intelligence in education (1999), AIED, Glasgow, Scotland, UK, v.10, p.350-364. 1999.

[17] TIMM, M. I. et. al. Tecnologia educacional: mídias e suas linguagens. Revista Novas Tecnologias da Educação, Porto Alegre, v. Vol I, n. N° 1, 2003.

[18] TIMM, M. I. Elaboração de projetos como estratégia pedagógica para o ensino de Engenharia (curso à distância de projeto no modelo e-learning-by-doing). 2005. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Informática na Educação. Porto Alegre, RS, Brasil, 2005.

[19] U.S. CONGRESS. Office of Technology Assessment. Testing in american schools: asking the right questions. Technical Report. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1992.

[20] U.S. CONGRESS. Office of Technology Assessment. Learning to work: making the transition from school to work. Technical Report. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1995.

[21] U.S. CONGRESS. Office of Technology Assessment. Power on!: new tools for teaching and learning. Technical Report. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1988.

[22] VICARI, R. M.; GIRAFFA, L. M. M. Fundamentos dos sistemas tutores inteligentes. In: BARONE, D. A. C. Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas. Porto Alegre: Bookman, 2003.