

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

RAYMUNDO CARLOS MACHADO FERREIRA FILHO

**Estratégia de elaboração de projetos de Engenharia em
Sistema Tutor Inteligente**

Porto Alegre, RS, Brasil

2008

RAYMUNDO CARLOS MACHADO FERREIRA FILHO

Estratégia de elaboração de projetos de Engenharia em Sistema Tutor Inteligente

Tese apresentada ao PPGIE para obtenção do título de Doutor na linha de pesquisa “Paradigmas para a pesquisa sobre o ensino científico e tecnológico”.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Schnaid

Co-orientador: Profa. Dra. Rosa Maria Vicari

Linha de Pesquisa: Paradigmas Para a Pesquisa sobre o Ensino Científico e Tecnológico

Porto Alegre, RS, Brasil

2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. José Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do CINTED: Profa. Rosa Maria Vicari

Coordenador do PPGIE: Prof. José Valdeni de Lima

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

F383 Ferreira Filho, Raymundo Carlos Machado

Estratégia de elaboração de projetos de engenharia em sistema tutor inteligente / Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho ; orientador: Fernando Schnaid, co-orientadora: Rosa Maria Vicari. - 2008.

125 f.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, 2008, Porto Alegre, BR-RS.

1. Sistemas tutores inteligentes. 2. Engenharia – Ensino. 3. Inteligência artificial. 4. Informática na educação. 5. Projetos - Elaboração. I. Schnaid, Fernando. II. Vicari, Rosa Maria. III. Título

CDD – 371.39445

Bibliotecária responsável: Elise Coser – CRB 10/1577

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho. Porto Alegre: PPGIE/UFRGS, 2008.

RAYMUNDO CARLOS MACHADO FERREIRA FILHO

Estratégia de elaboração de projetos de Engenharia em Sistema Tutor Inteligente

Tese apresentada ao PPGIE para obtenção do título de Doutor na linha de pesquisa “Paradigmas para a pesquisa sobre o ensino científico e tecnológico”.

Aprovada em 28 de Agosto de 2008

Prof. Dr. Fernando Schnaid - orientador

Profa. Dr. Rosa Maria Vicari - coorientadora

Prof. Dr. Demetrio Arturo Ovalle Carranza (GIDIA/UNAL)

Prof. Dr. Ricardo Azambuja Silveira (PPGI/UFSC)

Prof. Dr. Fernando Gonçalves Amaral (PPGEP/UFRGS)

Profa. Dra Margarete Axt (PPGIE/UFRGS)

RESUMO

Este trabalho aborda o desenvolvimento e implementação de um Sistema Tutor Inteligente (STI), disciplina da Inteligência Artificial, disponibilizado para acesso pela *World Wide Web* e modelado para o domínio da Engenharia de Fundações. No planejamento desse STI optou-se pela implementação da estratégia pedagógica baseada em elaboração de projeto (*Project-Based Learning* - PBL), atividade que, supõe-se, contém a síntese das habilidades desejadas para o profissional da área das Engenharias. A elaboração de projetos pressupõe o diagnóstico das condições iniciais do problema a ser resolvido, o equacionamento e a síntese de conhecimento necessária para propor soluções viáveis, características que evidenciam a complexidade da ação de projetar e vêm ao encontro das necessidades complexas do ensino de Engenharia. Este tema integra o *framework* teórico desta Tese. Nele contextualiza-se o problema da formação do engenheiro contemporâneo, destacando-se as estratégias de raciocínio necessárias para a análise, equacionamento e proposição de soluções para problemas rotineiros no exercício profissional. Estes pressupostos são estruturados em um STI que envolve o uso de recursos computacionais com a intenção de simular a tutoria humana. O propósito do desenvolvimento e implementação de um STI é mediar o aprendizado humano, avaliando o desempenho dos alunos e adaptando-se às suas necessidades. Para cumprir esta função, o sistema incorpora algumas características julgadas indispensáveis: um modelo do domínio robusto, que represente o conhecimento de um especialista humano e que permita que o sistema atue neste domínio, um meio de abstrair o que o aluno conhece sobre o domínio do conhecimento e um conjunto de estratégias que tenha por objetivo melhorar o desempenho do aluno na solução de problemas, com base no conhecimento do especialista. O sistema é composto de uma área integrada por um conjunto de problemas e uma base de dados sobre o domínio. Os problemas, abordando a solução de projetos de fundações, foram modelados com graus de dificuldade diferenciados, de forma que o aluno tenha que identificar as variáveis de projeto necessárias para cada caso e, então, resolvê-los. A base de dados é composta por um conjunto de recursos multimídia, que pode ser consultada pelo sistema para oferecer auxílio ao aluno durante as etapas de solução do problema. A estrutura interna do STI, bem como a interface, foram desenvolvidas para que o sistema tivesse condições de acompanhar o aluno durante a solução dos problemas propostos e, desta forma, inferir sobre o nível de conhecimento e aspectos do raciocínio do aluno, habilitando o sistema a agir de acordo com as estratégias implementadas.

Palavras-chave: Sistemas Tutores Inteligentes, Ensino de Engenharia, Inteligência Artificial, Informática na Educação, Paradigmas para o Ensino, Ciências Cognitivas Aplicadas.

ABSTRACT

The present work aims at developing and implementing a Intelligent Tutoring System in the field of Foundation Engineering, (ITS), a subject of Artificial Intelligence, available from *World Wide Web*. In the design of this system, a pedagogical strategy defined as *Project-Based Learning* (PBL) was adopted as a framework given the fact that it is thought to encompass all needs that are necessary in the Engineering profession. Engineering design comprises diagnosis of the boundary conditions of a problem, equation of all the intervenient factors affects its performance and a synthesis of all theoretical concepts related to the Field of knowledge, a set of characteristics that highlight the complexity associated to engineering science that should be necessarily incorporated to engineering learning and education. This frame of reference has been incorporated in the ITS, in a computation environment structured to emulate human tutorial experience. To enhance learning, the system incorporates a number of essential features: a robust model of domain that represents the knowledge of an specialist in foundation engineering, an interface capable of emulating a learning environment that relates the student to this background knowledge, a set of pedagogical schemes that are able to identify the student understanding at every step taken during the solution of case studies. A database containing a variety of multimedia sources on the subject can be accessed at any time to help students in receiving theoretical and practical information required to the solution of the problem. The ITS contains a series of case studies constructed in various levels of complexity implement to enforce students to identify the variables that are associated to each design problem. The internal structure of the system and its interface have been conceived to allow a continuous interaction with the student, capturing his understanding, identifying his needs and given assessment to theoretical information, all in line with the knowledge of the specialist and within the pedagogical implemented strategies.

Keywords: Intelligent Tutoring Systems, Engineering Education, Artificial Intelligence, Informatics on Education, Paradigms to Education, Cognitive Sciences.

LISTA DE SIGLAS

ABENG - Associação Brasileira de Ensino de Engenharia

ABP - Aprendizagem Baseada em Projetos

ASCE - *American Society of Civil Engineers*

CAI - *Computer-Aided Instruction*

CASE - *Computer Aided Software Engineering*

DCMI - *Dublin Core Metadata Initiative*

DOI - *Digital Object Identifier*

ENGEO - Aplicativo Web para Ensino de Engenharia Geotécnica

ER - diagramas Entidade-Relacionamento

HTML - *Hypertext Markup Language*

IA - Inteligência Artificial

ITS – *Intelligent Tutoring System*

ISBN - *International Standard Book Number*

ISO - *International Organization for Standardization*

JSP - *Java Server Pages*

JESS - *Java Expert System Shell*

LHS - *Left Hand Side*

LISP - *LISt Processing*

MVC - *Model-View-Controller*

N_{SPT} - Índice de Resistência à Penetração

ORM - *Object-Relational Mapping*

PBL - *Project-Based Learning*

RFC - *Request for Comments*

RHS - *Right Hand Side*

SE - Sistema Especialista

STI - Sistema Tutor Inteligente

SPT - Standard Penetration Test

TIC - Tecnologias de Informação e Comunicação

UML - *Unified Modeling Language*

UFJF - Universidade Federal de Juiz de Fora

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

URI - *Uniform Resource Identifier*

URL – *Uniform Resource Locator*

WWW- *World Wide Web*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inserção do engenheiro na sociedade tecnológica. Fonte: Schnaid (2006, p.15).....	23
Figura 2: Mapa conceitual descrevendo características e estratégias cognitivas que compõem a atividade profissional do engenheiro. Fonte: Timm (2005, p.178)	40
Figura 3: Mapa conceitual representando os componentes envolvidos na atividade de elaboração de projeto. Fonte: Timm (2005, p.178)	42
Figura 4: Arquitetura clássica de um STI.....	50
Figura 5: Arquitetura proposta por Self (1999).....	51
Figura 6: Arquitetura adotada por Pozzebon (2002), Vicari e Giraffa (2003), McTargget (2001), Curilem e Azevedo (2001), Murray (1999), Sherman et. al. (1999) e Nakabayashi et. al. (1997).....	51
Figura 7: Representação gráfica do modelo de superposição. Adaptado de Beck et. al. (2007)	53
Figura 8: Representação gráfica do modelo de perturbação. Adaptado de Beck et al. (2007).	54
Figura 9: Gráfico comparativo dos resultados da busca no Portal de Pesquisa CAPES	66
Figura 10: exemplo de informação de projeto relativo a carga média aplicada em pilares.	71
Figura 11: representação do modelo do subsolo	72
Figura 12: perfil de sondagem SPT	74
Figura 13: processo de escolha do tipo de fundação. Adaptado de Azevedo (1999, p.121)	75
Figura 14: Visão geral do STI na Web, usando a máquina de inferência JESS.....	77
Figura 15: Diagrama de requisitos funcionais da interface e suas relações.	80
Figura 16: Diagrama de Casos de Uso.	81
Figura 17: Correspondência do padrão MVC com a arquitetura do STI.....	82
Figura 18: Diagrama de seqüência para o caso de uso Realizar Login.	83
Figura 19: Diagrama de seqüência para o caso de uso Escolher Problema.....	84
Figura 20: Diagrama de seqüência para o caso de uso Resolver Problema.	85
Figura 21: Diagrama de seqüência para o caso de uso Anotar e Consultar Informações.....	86
Figura 22: Diagrama de seqüência para o caso de uso Solicitar Material de Apoio	86
Figura 23: Representação gráfica parcial do modelo do domínio.	88
Figura 24: Diagrama explicitando as classes pertencentes ao modelo do domínio.....	89
Figura 25: Detalhe de funcionamento do JESS.	90
Figura 26: Visão geral do STI mostrando os componentes do modelo do domínio.	91
Figura 27: Tabelas do banco de dados relacional referentes ao modelo do domínio e do	

aluno.	93
Figura 28: Representação gráfica da técnica de <i>Overlay</i>	95
Figura 29: Representação dos elementos condicionais que representam os aspectos do raciocínio do especialista e do aluno.	96
Figura 30: Mapa conceitual sobre o vínculo entre estratégia educacional e didática.....	98
Figura 31: Representação gráfica dos passos que o aluno deve percorrer até propor a solução de um problema, segundo a abordagem de elaboração de projetos.....	99
Figura 32: Fases da escolha do tipo de fundação e etapas da estratégia baseada na elaboração de projetos, referentes à Figura 31, adaptado de Azevedo (1999, p.121).	99
Figura 33: Diagrama de classes da camada de controle e suas relações com as classes do modelo do domínio (Figura 24).....	101
Figura 34: Tela de login no STI.....	103
Figura 35: Tela inicial do simulador de projetos, com o conjunto de problemas a serem resolvidos.	104
Figura 36: Área de resolução de um problema específico, com a definição do problema e ferramentas para operar sobre o domínio.	105
Figura 37: Resultado da busca para a pesquisa sobre o nível de carregamento.	106
Figura 38: Gráfico de descrição da estratigrafia do solo proveniente da busca por informações do subsolo.	107
Figura 39: Gráfico apresentando perfil de sondagem SPT proveniente da busca por informações do subsolo.	107
Figura 40: Imagem de satélite proveniente da busca pelo local de execução da obra.	108
Figura 41: Acesso à caderneta de campo e anotações gravadas.....	109
Figura 42: Janela na camada inferior mostrando a intervenção do tutor em função da avaliação do desempenho do aluno. Na janela sobreposta encontra-se o conteúdo sugerido para o aluno estudar.....	110
Figura 43: Conjunto completo de variáveis disponíveis no sistema.	110
Figura 44: Atribuição de valores às variáveis relacionadas ao problema em questão.	111
Figura 45: Etapa final de solução do problema.	112
Figura 46: Resultado apresentando regra criada pelo aluno e a possibilidade de aluno comparar a sua solução com a do especialista.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: CAI X STI (VICARI; GIRAFFA, 2003, p.163).....	45
Tabela 2: Resultados da busca avançada no Portal de Pesquisa da CAPES.	66
Tabela 3: classificação das cargas em função do valor médio	71
Tabela 4: Descrição textual dos requisitos da interface.	79
Tabela 5: Registro dos casos de uso e seu detalhamento textual.....	81
Tabela 6: Tabela com descrição das variáveis consideradas para montagem das regras do aluno.	94

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	PROBLEMA DA PESQUISA.....	15
1.2	HIPÓTESES	15
1.3	JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	16
1.4	OBJETIVOS DA PESQUISA	17
1.4.1	Objetivo Geral.....	17
1.4.2	Objetivos Específicos.....	17
1.5	ESTRUTURA DA TESE	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	ENGENHARIA E O PERFIL DO ENGENHEIRO.....	20
2.1.1	Ensino de Engenharia e a Formação do Engenheiro	25
2.1.2	O papel do Professor e do Aluno no Processo de Ensino e Aprendizado.....	30
2.1.3	O Projeto como Ferramenta Pedagógica.....	35
2.1.3.1	Conceituação de Projeto e da Atividade de Projetar	35
2.1.3.2	Perspectiva Histórica do Projeto.....	37
2.1.3.3	O Processo de Ensino-Aprendizagem Baseado em Projeto	37
2.2	STIs COMO TECNOLOGIA PARA ENSINO DE ENGENHARIA.....	43
2.2.1	Perspectiva Histórica dos Sistemas Tutores Inteligentes.....	45
2.2.2	Características dos Sistemas Tutores Inteligentes.....	46
2.2.3	Arquitetura dos Sistemas Tutores Inteligentes.....	49
2.2.3.1	Modelo do Aluno.....	52
2.2.3.2	Modelo do Domínio.....	57
2.2.3.3	Modelo do Tutor.....	58
2.2.3.4	Interface.....	63
2.3	USO DE STIs NO ENSINO DE ENGENHARIA	65
3	MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO.....	67
3.1	APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO CONTEXTO DA ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES.....	68
3.2	VISÃO GERAL DA ARQUITETURA ADOTADA.....	76
3.2.1	Implementação da Interface	78
3.2.2	Implementação do Modelo do Domínio.....	87

3.2.3	Implementação do Modelo do Aluno	91
3.2.4	Implementação do Modelo do Tutor	96
4	DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO	103
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS DE TRABALHO	114
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho se destina a fundamentar pesquisa de doutorado na área de Informática na Educação, buscando atender necessidades do ensino de Engenharia e da formação do engenheiro contemporâneo. Por conveniência acadêmica o trabalho é particularizado para o domínio da Engenharia de Fundações, disciplina que tem como exigência pedagógica a aplicação de conhecimentos teóricos a problemas concretos, baseados na realidade prática, de grande complexidade e risco. Porém, considera-se que a abordagem proposta, na sua natureza tecnológica e pedagógica, pode ser extensiva a outras áreas de conhecimento no campo das Engenharias e do ensino tecnológico.

Tendo como tema o ensino de Engenharia, buscou-se desenvolver uma ferramenta computacional capaz de atender as necessidades de uma área que abrange ciência e tecnologia e, ao mesmo tempo, oferecer conhecimento estruturado específico relacionado ao tópico de fundações, além da possibilidade de motivar os alunos para a resolução de problemas práticos, baseados na realidade da profissão, através da interação permanente com um ambiente virtual rico, inteligente e desafiador.

A ferramenta computacional, proposta no presente trabalho, apóia-se nas técnicas de Inteligência Artificial (IA) usadas no desenvolvimento de Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) e na *World Wide Web* (Web). O aplicativo decorrente desta implementação é uma ferramenta de apoio à prática docente, seja presencial, semi-presencial ou à distância, ou de apoio ao estudo autônomo.

A introdução de STIs como ferramenta de apoio ao processo de ensino-aprendizagem de Engenharia, independentemente da estratégia de uso, propicia aos alunos acessibilidade, flexibilidade e disponibilidade das informações e dos recursos educacionais. Da mesma forma, a adoção destes sistemas, auxilia o professor na estruturação e organização do conhecimento envolvido no domínio de aplicação.

Os recursos, disponibilizados pelo STI, agregam valor ao trabalho docente, uma vez que otimizam a produção, utilização e re-utilização do conteúdo, o qual ficará acessível para ser usado em situações diversas, para públicos, níveis e necessidades diferenciadas. Contudo, é importante ressaltar que a existência de uma plataforma tecnológica baseada na Web para

disponibilização de conteúdo, informações e conhecimento de um domínio, isoladamente, não representa uma melhoria na qualidade do ensino. Aponta, isto sim, para um caminho de modernização e atualização da plataforma tecnológica onde o processo educacional pode ocorrer.

A solução proposta, portanto, é o desenvolvimento de um STI¹, que associa:

1. Uma base de conhecimentos sobre Engenharia de Fundações, a qual teve como ponto de partida um Sistema Especialista desenvolvido em caráter experimental (AZEVEDO, 1999), baseado no conhecimento de um especialista da área², denominado modelo de domínio;
2. Um conjunto de problemas, baseados em situações reais, relacionados à escolha de tipos de fundação, os quais são utilizados para oferecer desafios didático-pedagógicos aos alunos da área de Engenharia de Fundações;
3. Um modelo de tutor (cujo desenvolvimento permite a experimentação da estratégia pedagógica de aprendizagem por elaboração de projeto);
4. Um modelo computacional de aluno (desenvolvido com base na solução dos problemas apresentados), denominado modelo do aluno.

Espera-se que o STI seja uma ferramenta pedagógica para uso individual ou acompanhado pelo professor, suficientemente robusta para oferecer conhecimento estruturado e, simultaneamente, viabilizar o envolvimento direto do aluno com as questões práticas, emuladas do exercício profissional, evidenciando a capacidade do usuário de fazer a síntese dos conhecimentos teóricos necessários para resolver problemas de escolha do tipo de fundações. Esta aplicação tem a função de oferecer suporte ao estudo do conteúdo referente ao domínio da Engenharia Geotécnica, em especial da disciplina Fundações da grade curricular dos cursos de graduação e pós-graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Este STI foi implementado a partir do aplicativo ENGEO (FERREIRA FILHO, 2005) que constitui um sistema de gestão de conteúdo, composto de uma base de informações multimídia.

¹ Encontra-se, na bibliografia, o termo ITS para designar Sistemas Tutores Inteligentes. Este termo provém do inglês *Intelligent Tutoring System*.

² O especialista utilizado foi o Professor Eng^o Jarbas Milititsky, PhD. A base de conhecimento gerada para o Sistema Especialista foi validada na tese de Azevedo (1999).

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

O problema da pesquisa consiste em desenvolver um STI, a partir da identificação da arquitetura mais adequada e da melhor técnica de implementação de cada módulo desta arquitetura, levando-se em conta as necessidades do ensino de Engenharia e as especificidades cognitivas e pedagógicas desta área.

1.2 HIPÓTESES

Levando-se em conta a suposição de que o desenvolvimento didático-pedagógico de projetos é uma estratégia adequada para ensino de Engenharia, por viabilizar raciocínios e tomadas de decisão desejáveis no profissional dessa área, formulam-se neste trabalho as seguintes hipóteses:

- a) A estratégia educacional de elaboração de projetos através de um STI desenvolve habilidades cognitivas desejáveis no perfil do profissional de Engenharia, além de permitir uma pedagogia ativa;
- b) A pedagogia ativa, em que o aluno irá aprender fazendo, é viabilizada pelo STI com a oferta de um conjunto de problemas que simulam a atividade de projetos de Engenharia;
- c) É possível obter informações que representem aspectos do raciocínio do aluno aplicados à solução de problemas de Engenharia e representar estes aspectos utilizando-se a técnica de raciocínio baseado em regras;
- d) A representação do conhecimento utilizando-se raciocínio baseado em regras permite que o STI compare o desempenho do aluno e do especialista na solução dos problemas e defina uma ação de tutoria ao aluno, de acordo com a estratégia educacional implementada;
- e) A estruturação de um conjunto de recursos educacionais de múltiplas mídias, incluindo vídeos, figuras, imagens, textos, animações e simulações, vinculados às etapas de elaboração de projeto torna possível a oferta de conteúdo específico ao aluno. A vinculação, através de base de dados, permite localizar os recursos educacionais relevantes a serem utilizados para guiar o aluno durante o aprendizado.

1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

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 Azevedo (1999), é, das fases, a mais crítica, por requerer avaliação e julgamento do profissional, fundamentado principalmente na experiência em casos anteriores, envolvendo considerável risco durante sua implementação. Esta fase conta ainda, segundo Schnaid, Nacci e Milititsky (2001), 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 consequência 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 Timm (2005, 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.

1.4 OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo desta Tese está situado no âmbito de projetos de pesquisa e desenvolvimento, com foco na inserção de tecnologias informatizadas e técnicas de IA aplicadas ao ensino de Engenharia.

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta Tese consiste em desenvolver um modelo para STI aplicado ao ensino de Engenharia, e em particular de Engenharia de Fundações, baseado em técnicas da IA, que viabilize a integração de conceitos teóricos à sua aplicação prática a problemas reais através de estratégia pedagógica de elaboração de projetos, em sintonia com as representações cognitivas relacionadas à atividade do engenheiro. Pretende-se alcançar este objetivo adotando-se um sistema interativo, composto de uma base de conhecimento sobre Engenharia de Fundações, uma representação do conhecimento do aluno e um conjunto de recursos que permitam que o sistema emule o comportamento de um professor de engenharia, tutorando o aprendizado do aluno.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente trabalho, visando planejar, desenvolver e implementar um protótipo de STI, com acesso via Web, para o domínio da Engenharia Geotécnica, particularizado para Engenharia de Fundações, são:

1. Concepção, desenvolvimento e implementação de um STI capaz de abordar problemas cognitivos e pedagógicos relativos ao ensino de Engenharia, particularizado para o domínio da Engenharia de Fundações. Este objetivo representa uma contribuição deste trabalho, uma vez que não há referência disponível na literatura da aplicação de STIs à Engenharia Civil, Geotécnica ou de Fundações;
2. Implementar estratégia pedagógica fundamentada no modelo cognitivo do engenheiro e baseada em elaboração didática de projeto, destinada ao desenvolvimento de habilidades desejáveis para o futuro profissional de Engenharia, bem como para reduzir a 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;
3. Implementar um modelo de domínio composto de um conjunto de recursos educacionais multimídia e do conhecimento e perícia de um especialista humano sobre Engenharia de Fundações;
4. Vincular os recursos educacionais às etapas de concepção de obras de fundação, de forma a associá-los ao conhecimento do especialista e do aluno, permitindo que o sistema faça sugestões relevantes de conteúdos durante a atividade de resolução de problemas. Este objetivo representa igualmente uma das contribuições deste trabalho;
5. Utilizar a técnica de *Overlay* para representar o conhecimento e aspectos do raciocínio do aluno. A técnica permite a comparação com as regras definidas a partir do conhecimento do especialista, sendo inédita nesta área de conhecimento;
6. Conceber e desenvolver uma interface Web que torne possível a implementação da estratégia proposta, que permita que os alunos interajam com o domínio a partir de um conjunto de problemas sobre Engenharia de Fundações, que comporte a visualização dos recursos educacionais do repositório sempre que necessário ou que o aluno desejar, e que forneça *feedback* ao aluno, interativamente, na forma de dicas, sugestões e questionamentos.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

A organização desta Tese segue a seguinte disposição: o primeiro Capítulo apresenta uma

contextualização da pesquisa bem como o problema, as hipóteses e as contribuições esperadas. No Capítulo 2 é apresentado o *framework* teórico onde contextualiza-se o problema da formação do engenheiro contemporâneo, destacando-se as estratégias de raciocínio necessárias para análise, equacionamento e proposição de soluções para problemas rotineiros no exercício profissional e a estratégia pedagógica de aprendizagem baseada em projetos, que supõe-se potencializar o desenvolvimento das habilidades cognitivas desejadas no perfil do engenheiro contemporâneo. Na fundamentação teórica também se faz uma revisão sobre as características de uma classe de software chamada Sistemas Tutores Inteligentes (STI), que julga-se ser a mais adequada como apoio ao processo de ensino-aprendizagem no campo das Engenharias e do ensino tecnológico. No Capítulo 3 expõe-se a metodologia utilizada para desenvolvimento e implementação do STI, particularizado para o domínio da Engenharia de Fundações, bem como os particularidades acerca dessa implementação. No Capítulo 4 se tem a descrição do software do ponto de vista do usuário. As considerações finais e perspectivas futuras de trabalho são delineadas no Capítulo 5 e no Capítulo 6 apresenta-se as referências bibliográficas utilizadas. Nos apêndices e anexos se tem conteúdo complementar para a compreensão de alguns aspectos do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura está dividida em dois temas. O primeiro abrange a contextualização do Ensino de Engenharia e as necessidades complexas inerentes ao processo de ensino-aprendizado. O segundo cobre o uso de STIs para treinamento em geral, posteriormente focado no ensino-aprendizagem de Engenharia e uma avaliação dos sistemas existentes, relatando experiências no Brasil e no exterior.

2.1 ENGENHARIA E O PERFIL DO ENGENHEIRO

Conforme Ferreira (2004), Engenharia é a arte de aplicar conhecimentos científicos e empíricos e certas habilidades específicas à criação de estruturas, dispositivos e processos que se utilizam para converter recursos naturais em formas adequadas ao atendimento das necessidades humanas. É também reconhecida como a ciência que utiliza os conhecimentos especializados (científicos) de um domínio com a sua viabilidade técnico-econômica, para produzir novas utilidades e/ou transformar o meio, em consonância com idéias planejadas.

Uma outra definição é proposta por Smith (1983, apud SCHNAID e outros, 2006, p.44) que define que “Engenharia é a arte profissional de aplicação da ciência para a conversão ótima dos recursos naturais para o benefício do homem.” Pode-se dizer que Engenharia é a aplicação prática de conhecimentos especializados aliados aos conhecimentos empíricos e ao bom-senso. Fisher (2002) apud Timm (2005, p.171), define a prática de Engenharia como uma atividade de projetar sob limitações: de custo, de segurança, de impacto ambiental, de ergonomia, de manufaturabilidade, de manutenção, da realidade e da natureza.

Para Bazzo e Pereira (2007, p.70), a Engenharia, contextualizada nos tempos modernos, “[...] se caracteriza por uma forte aplicação de conhecimentos científicos à solução de problemas”. A Engenharia, portanto, é a atividade profissional que aplica conhecimentos científicos e técnicos associados a experiência prática para exploração dos recursos naturais, para o projeto, construção e operação de objetos úteis e para o planejamento urbano e ambiental.

A palavra Engenharia está ligada ao termo latino *ingenium*, que significa engenhosidade ou habilidade. A característica representada por esses termos está ligada à capacidade humana

de produzir utensílios, ferramentas e outros artefatos com os quais os homens operam sobre o ambiente, construindo habitações, artefatos, ferramentas, etc. (BAZZO; PEREIRA, 2007; TIMM, 2005; FERREIRA, 2004). Note que o termo engenhoso é utilizado com o significado de inventividade, talento, habilidade e destreza, e remete ao *homo herectus*, que especula-se que produziu as primeiras ferramentas de que se tem notícia, utilizando-se de pontas de pedras, couro, cascas de ovos e de árvores, para usá-las como martelos e enxadas rudimentares, constituindo a chamada “indústria de Olduvai”, na África (HAAF, 1979, apud TIMM, 2005, p.76). A engenhosidade do homem produziu artefatos a partir das demandas de cada período histórico, levando-se em conta os contextos social e cultural.

O aparecimento das cidades e a especialização profissional trouxeram de arrasto o crescimento da metalurgia. As cidades mostraram a necessidade da fabricação de novos artigos, alguns utilitários, outros artísticos. Paralelamente ao uso da cerâmica, a especialização permitiu que a cadeia produtiva necessária à produção de artigos metálicos pudesse ser implantada: prospectadores, mineiros, forjadores, transportadores e finalmente os artesãos. [...] Desde então, a evolução da engenharia tem seguido a evolução da ciência: estradas, pontes, barragens, edificações, engenhos de guerra, canalizações de água e esgoto e muitas outras obras de engenharia foram construídas baseadas nos conhecimentos ainda empíricos disponíveis aos engenheiros das diversas épocas. Algumas destas obras ainda desafiam os pesquisadores pela dificuldade de relacionar seu porte com o ferramental técnico e científico disponível a seus projetistas. Entre estas podemos citar as pirâmides que se desenvolveram em diferentes e longínquas civilizações. [...] A geometria desenvolvida em algumas escolas filosóficas gregas proporcionou grande desenvolvimento à mecânica, trazendo como conseqüência a diminuição da necessidade do trabalho manual. Engenhos mecânicos, como as roldanas e o moinho giratório, facilitaram a realização de tarefas que até então empregavam grande número de animais de tração ou mesmo seres humanos. (SCHNAID e et al., 2006)

Schnaid e outros (2006) refletiram sobre uma característica desejável no perfil do engenheiro e sobre a compatibilidade desse perfil com a engenhosidade associada com a atividade hoje conhecida como Engenharia: o espírito prático. Segundo os autores, uma característica que pode ser observada bem antes da constituição formal da profissão.

É possível imaginar que entre os lascadores primitivos havia algum que provavelmente percebia, de forma rudimentar, a diferença entre a dureza das várias pedras que lascava. É possível também que percebesse a necessidade de opor pedras de graus de dureza variados, para obter uma lasca um pouco mais afiada... Talvez fosse aquele que observasse a lasca produzida acidentalmente a partir da pedra quebrada e identificasse nela um lado mais afiado, útil para quebrar ou raspar a casca do fruto, por exemplo. Essa capacidade de observação, mesmo empírica, baseada na experiência de quem realizava a operação, poderia ser o diferencial na hora de um enfrentamento do grupo com a necessidade de abater um animal, ou de acessar sua carne, por exemplo, ou mesmo no enfrentamento com outro grupo, interessado em dividir com o nosso engenhoso ser pré-histórico o mesmo alimento. Note-se aqui que o termo “engenheiro” não significa a engenharia sistematizada e apoiada em cálculos matemáticos e considerações científicas. Significa uma postura, um olhar curioso e uma ação, uma intervenção nas condições concretas, pela modificação ou uso de materiais que estão à sua disposição. Pode ter sido essa capacidade de observação que guiou empiricamente alguns homens pré-históricos na

escolha das pedras mais resistentes – sílex - , o que garantiu a sobrevivência de instrumentos rudimentares, por milhares de anos, permitindo que os estudiosos reconstituam o tipo de vida e o conhecimento existente entre os membros dos grupos humanos da Idade da Pedra. (SCHNAID et al., 2006)

No Século XVIII tem início o desenvolvimento de áreas como a siderurgia e a metalurgia, atividades que, como a construção civil, até então eram realizadas pelos homens engenhosos, ou seja, práticos, que baseavam seu trabalho nas estratégias de erros e acertos e no conhecimento estruturado ao longo de suas próprias experiências pessoais. Nesse aspecto, a Engenharia exerceu desde os primórdios da expressão cultural humana uma espécie de mediação entre o homem e a natureza. Em seu constante relacionamento com a natureza, o homem foi aprendendo a desfrutá-la, a modificá-la e a corrigi-la, segundo suas necessidades.

Tradicionalmente, talvez pela evolução histórica desta atividade, a Engenharia é vinculada com objetos concretos. Contudo, a Engenharia moderna passou a tratar também de classes de objetos abstratos como, por exemplo, as engenharias da qualidade, financeira, da computação, de software, ambiental, entre outras. Contudo, toda Engenharia envolve certo grau de abstração, sendo essa capacidade uma outra característica desejável no perfil do engenheiro.

As características citadas até aqui, em conjunto com outras habilidades que serão apresentadas ao longo dessa seção, colocaram, ao longo da história, o engenheiro em posição de destaque nas mais diversas áreas de atuação. Encontravam-se engenheiros em cargos de gerência de grandes empresas (mesmo aquelas não ligadas diretamente à atividade de Engenharia) e na política. O engenheiro sempre foi visto como um profissional apto a ocupar diferentes posições em um mercado que exigisse eficiência e liderança, uma vez que, por natureza, o engenheiro é um resolvidor de problemas (BAZZO; PEREIRA, 2007; SCHNAID, 2006; NAVEIRO, 2001; TIMM, 2005). Porém, o engenheiro não ocupa mais o mesmo espaço na sociedade atual e Schnaid (2006, p.14) amplia a visão sobre o tema com uma colocação a respeito do perfil dos alunos de Engenharia e o contexto social da profissão:

[...] os alunos que estudam Engenharia adquirem as bases para administrar negócios de qualquer natureza, adaptar-se às transformações tecnológicas, formular e resolver problemas complexos, empreender, interagir em ambientes variados, visualizar tendências e oportunidades [...]. Mas somos forçados a reconhecer que a Engenharia, pelo menos no Brasil, perdeu o glamour intelectual que um dia possuiu e ainda não desfruta do humor do descompromisso. E a consequência recente tem sido a perda de alunos potenciais e capazes, que migram para outros cursos, cujo impacto econômico, político e social pode não ter a mesma repercussão da Engenharia em um país carente, em busca de crescimento auto-sustentável e justiça social. Além de que esses alunos em potencial de Engenharia podem não encontrar em outros cursos a satisfação pessoal e profissional em consonância com suas habilidades e aptidões.

[...] Com efeito, o campo de atuação do engenheiro é complexo, envolve riscos e custos, tem enorme repercussão social, econômica e ambiental, condiciona o estabelecimento tanto de políticas públicas como privadas. A atuação profissional exige a inserção do profissional em uma economia globalizada, controle tecnológico, atenção à preservação ambiental e respeito a valores éticos e de cidadania.

Esse contexto social ao qual o engenheiro está submetido o coloca em uma posição de influência no desenvolvimento tecnológico, econômico e social do país. A relação entre o papel do engenheiro contemporâneo no seu domínio de atuação e as condicionantes sociais estão ilustradas esquematicamente na Figura 1.

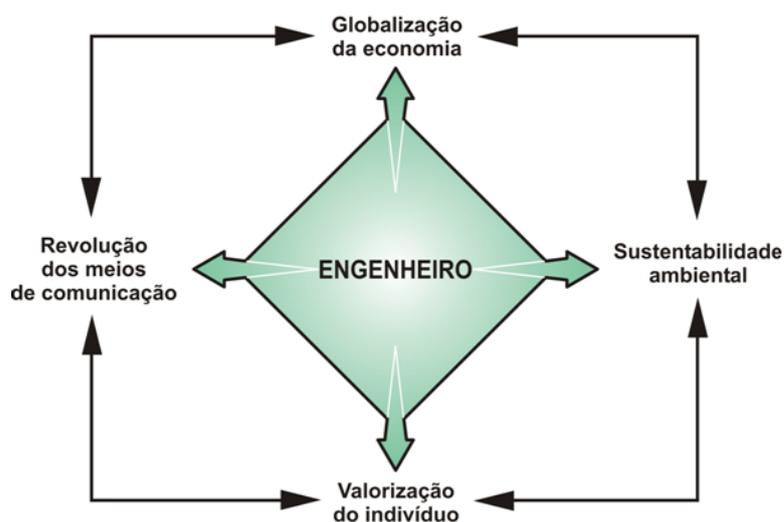


Figura 1: Inserção do engenheiro na sociedade tecnológica. Fonte: Schnaid (2006, p.15)

A importância do investimento na formação do engenheiro tem impacto nas inovações e no desenvolvimento tecnológico, econômico e social do país. Esta relação é ressaltada por Longo (2007, p.4) que, em sua análise sobre impactos sociais do desenvolvimento científico e tecnológico, nos revela a importância da Engenharia para o crescimento e modernização do país:

[...] constata-se que as inovações mais relevantes, que moldam as sociedades modernas e que atendem as suas demandas cada vez mais complexas, têm sido geradas por não mais do que duas dezenas de países. Analisando-se a trajetória de tais países chega-se à conclusão que todos investiram decididamente na implantação e manutenção de um sistema educacional de qualidade em todos os níveis, dando atenção prioritária às ciências exatas e às engenharias.

O autor enfatiza que nos países desenvolvidos, nos quais o investimento em ciência e tecnologia constitui-se em aspecto político e estratégico para o desenvolvimento do país, implantou-se infra-estrutura que incentiva a geração de inovação tanto no setor produtivo quanto no governamental, produzindo um ambiente favorável ao desenvolvimento

científico e ao progresso tecnológico, compreendendo um sistema formado por universidades, institutos, laboratórios e agências de fomento voltadas à pesquisa e a formação de recursos humanos, com forte investimento no ensino de ciência e tecnologia.

Outro aspecto importante no âmbito social da Engenharia é a questão ambiental. O engenheiro contemporâneo tem obrigação de levar em conta os possíveis problemas ambientais decorrentes das suas atividades e as soluções consideradas em dado problema devem tratar a Engenharia de forma integrada nas suas dimensões social, econômica, tecnológica e ecológica, com intuito de promover um cenário de desenvolvimento sustentável. Em função da capacidade de resolver problemas, adesão à metodologia científica, curiosidade, inventividade e criatividade, Martini (2006, p.82) pondera que:

“a fidelidade aos princípios morais e a ética da profissão permitem ao engenheiro participar de projetos que contribuem para a construção de um mundo mais igualitário e pacífico, em que todos tenham a oportunidade de participar em termos de resultados tecnológicos que não agridam a natureza e facilitem a vida”.

Dessa forma, compreender o papel social do engenheiro é premissa para a composição do perfil do profissional. Decorrente da identificação da importância do aspecto social da atividade do engenheiro e das demandas do mercado, Schnaid (2006, p.15-16) sugere um conjunto de habilidades recomendadas para formação e qualificação desse profissional:

- capacidade para aplicar conhecimentos da matemática, física e ciências, associado ao pensamento lógico e objetivo, comum ao perfil do engenheiro;
- adaptação ao conhecimento continuado, habilidade necessária para acompanhar o desenvolvimento tecnológico e humanístico necessário à atividade profissional;
- criatividade e capacidade de projetar, o projeto sendo aqui entendido como a atividade síntese do engenheiro;
- flexibilidade para atuar em equipes multidisciplinares;
- compreensão da ética e responsabilidade profissional;
- capacidade para comunicação escrita, oral e gráfica, com amplo domínio de ambientes computacionais e linguagens de programação;
- desenvolvimento de senso crítico e de visão empresarial para identificar seu papel no contexto social e comunitário;
- capacidade de liderança
- habilidades interpessoais necessárias à negociação, ao bom relacionamento profissional e pessoal.
- consciência social e compromisso de construção de um mundo mais igualitário.

A discussão sobre o perfil do profissional de Engenharia e o ensino científico e tecnológico, no Brasil, nos últimos anos passou a ser alvo de pesquisas sistemáticas, porém, na grande maioria das propostas, as melhorias limitam-se a mudanças de currículo.

2.1.1 Ensino de Engenharia e a Formação do Engenheiro

Bazzo e Pereira (2007) apontam Veneza, em 1506, como tendo sido o local da primeira escola dedicada à formação de engenheiros, embora salientem que a profissão só foi reconhecida formalmente quando o inglês John Smeaton (1724-1792) proclamou-se Engenheiro Civil. O tema é contraditório, uma vez que Martini (2006, p.79) relata que “[...] a Engenharia, enquanto profissão e ensino ao nível de Escolas Superiores, coincidiu com a revolução industrial, no séc. XVIII. Embora, a Inglaterra tenha iniciado a revolução industrial antes da França, coube a esta última iniciar os primeiros cursos de Engenharia.” Percebe-se que, apesar da contradição, existia uma sinergia no que diz respeito às necessidades sociais e de mercado da época, que culminou no surgimento das primeiras escolas de Engenharia.

Atualmente, no que se chama de era pós-industrial, novos valores estão agregados à economia e à política, gerando novos requisitos tecnológicos e novas demandas de mercado. Essa nova realidade implica habilidades e características que dêem conta do perfil dos profissionais contemporâneos. Portanto, a questão que permeia esse tema é saber se as universidades estão formando o engenheiro demandado pela sociedade atual e pelas novas práticas de Engenharia. No contexto da sociedade pós-industrial, o conhecimento passa a ter mais valor que o produto. O capital intelectual passa a ser o bem de maior valor agregado. De acordo com Schnaid et al. (2006, p.52), alguns pensadores e pesquisadores do domínio da ciência política, “[...] como por exemplo Domenico di Masi, redefinem os paradigmas do mundo do trabalho, incluindo neles a criatividade, o lazer e a humanização como itens necessários e simultâneos à eficiência. Sugerem que nesta nova sociedade o engenheiro tradicional perde espaço, na medida que a venda de conceitos gera recursos superiores à venda de bens e mercadorias”.

Mas esta redefinição de valores, que a princípio afasta o engenheiro do status de transformador e ator social, não se confirma na medida em que se observa a importância dada, no final do século passado, ao ensino científico e tecnológico em países desenvolvidos, mesmo sendo o conhecimento o bem mais valioso da sociedade contemporânea. A inovação no setor produtivo e o desenvolvimento social e econômico foram alavancados pelo

investimento no ensino de ciência e tecnologia, caso do Estados Unidos e França (LONGO, 2007; SCHNAID et al., 2006).

O Brasil caminha nessa direção, porém, é improvável que as estruturas curriculares das escolas de Engenharia no Brasil, no curto prazo, atendam às demandas sociais e às relativas a atividade profissional. Além da adequação dos currículos para a nova realidade, novas metodologias de ensino podem ser introduzidas para qualificar o sistema de ensino de Engenharia. Nesse sentido, de acordo com Schnaid (2006), surge a “[...] necessidade de empreender-se um amplo programa de pesquisa teórica e aplicada com o objetivo de identificar, discutir e implementar as mudanças necessárias à modernização dos cursos de Engenharia. Modernização sem desconstrução das bases sólidas associadas à formação hoje existente.” A idéia de não desconstruir as bases consagradas da formação do engenheiro, exposta por Schnaid (idem), nos remete a uma discussão sobre as práticas pedagógicas mais adequadas ao Ensino de Engenharia. Tanto o construtivismo quanto o positivismo dão aporte ao aprendizado de conteúdos relacionados as áreas de ciência e tecnologia. Conforme Becker (2006, p.135), a desconstrução só é válida como processo se for realizada a partir de uma base de conhecimentos já formada.

Desconstrução, em muitos meios, passou a ser aplicada como uma fórmula mágica, um fetiche. Eu simplesmente desconstruo. Vou construir depois e não sei nada. No fundo não passa de destruição. Na verdade, ao construirmos algo novo, avançamos como uma ponta de lança; o reverso da medalha neste avanço é a desconstrução; imediatamente adiante, poderemos reconstruir algo, continuando a produzir novidades. Quem só destruiu, não construirá nada de novo e, por isso mesmo, nem desconstruiu[...].

Este binômio desconstrução/reconstrução diz respeito ao processo de aprendizado do aluno e para todos os efeitos ele é o cliente do professor, onde o currículo é o produto. Nesse sentido, é necessário que o professor não se omita nesse processo.

Professor é alguém que propõe ações ao aluno. Ações que ultrapassam o senso comum e que têm sua compreensão indefinidamente ampliada. Compreenda-se por ação tudo aquilo que o ser humano faz: para sobreviver, para elaborar seus sentimentos, para conhecer o mundo e, finalmente, para conhecer a si mesmo. O ensino deve, portanto, ser repensado em função dessa nova concepção de aprendizagem. A importância do ensino deriva, pois, da aprendizagem; de forma nenhuma a antecede. O ensino só terá sentido se for constituído como um aliado da aprendizagem (BECKER, 2006, p.124).

Portanto, o papel do professor é fundamental no processo de aprendizado. Quanto à melhor estratégia de ensino, Martine (2006) afirma que não existe paradigma ideal e a prática do método científico como estratégia pedagógica aliada a antigos valores positivistas, como

observação, precisão de cálculo e metodologia científica são elementos que podem ser utilizados no ensino de ciência e tecnologia e devem ser estimulados nos cursos de Engenharia.

No que diz respeito a estruturação dos cursos de Engenharia, a individualização dos conteúdos das disciplinas curriculares colabora para dificultar a assimilação, contextualização e inter-relação de conceitos e técnicas desenvolvidos em uma disciplina, que podem e devem ser utilizados em outras. Pela falta de uma ênfase holística e sintética de projetos de engenharia, alguns conceitos e técnicas acabam nem fazendo parte do conhecimento construído pelo aluno. Neste sentido, a integração de conteúdos das diversas disciplinas deve ser incentivada, bem como o espírito crítico e a criatividade, que irão permitir um aprendizado contextualizado gerando um conjunto de características necessárias à solução de problemas complexos que serão encontrados no exercício da atividade profissional do engenheiro.

Soma-se, a este conjunto de características, a demanda do mercado, que exige formação contínua frente aos avanços tecnológicos, por um profissional com sólida formação básica em seu domínio de conhecimento e nas áreas de conhecimento que fazem interface com sua área de atuação. Este conhecimento científico básico que é construído, de forma traumática, nos anos iniciais dos cursos de engenharia, é o que permite o desenvolvimento do raciocínio lógico característico do engenheiro. Soares (1998) comenta que:

Infelizmente, o desenvolvimento do raciocínio lógico bem estruturado [...] não é entendido como meta do ensino [...] A base conceitual, tão necessária à formação desejada para o engenheiro, torna-se, para o alunado, um verdadeiro martírio. Um enfoque teórico, é, geralmente, encarado como perda de tempo, o importante, realmente, são os exercícios de aplicação, e que devem ser resolvidos diretamente para a solução particular prescrita pelos valores de contorno do problema. Solução literal, com a substituição posterior dos dados iniciais, não é bem aceito por nossos estudantes (SOARES, 1998, p.61).

Em sua reflexão sobre a formação do engenheiro, Milititsky (1998) enfatiza que o aluno deve participar do aprendizado, que a prática pedagógica seja baseada em casos reais e que as disciplinas sejam ministradas com menos dependência de aulas expositivas formais. Neste mesmo sentido, em seu ensaio sobre didática, Silveira (2003, p.35) relata a dificuldade de construção de conceitos, observando que “na formação profissional o problema deve, sempre que possível, ser referido ao contexto profissional, visando a motivação e justificação do aprendizado frente às expectativas dos futuros profissionais.” Abordando o mesmo tema, Oliveira (2001, p.166), destaca que o profissional de Engenharia deve habilitar-se a “[...] conceber, planejar, desenvolver, viabilizar, implantar, gerir e operar os empreendimentos

humanos em geral, sejam eles estruturas, dispositivos ou processos”.

Geralmente, nos cursos de graduação de Engenharia, cada disciplina tem seu método próprio. Cada professor rege sua disciplina da maneira mais conveniente ou pela experiência acumulada em sala de aula. Esta é uma situação que não favorece a integração dos conteúdos e os estudos contextualizados, necessários à formação do engenheiro desejado pelo mercado. Naveiro e Oliveira (2001) alertam para o fato que o mercado profissional da engenharia é determinado por conceitos como qualidade, custos e prazos. E estes conceitos têm repercussão na formação e qualificação profissional, em especial na graduação. Onde antes tinha-se uma organização do sistema produtivo baseada em uma estrutura departamentalizada, hierarquizada e rígida, hoje o sistema é menos flexível e mais vertical. Sendo assim, o profissional mais adequado a este modelo de organização de empresas deve possuir conhecimento estruturado em relação a totalidade do produto ou processo. Porém, as escolas de engenharia não alteraram a estrutura dos seus currículos, apresentando, em geral, a divisão e hierarquização das disciplinas em básicas, básicas da engenharia e profissionalizantes (ou aplicadas). Este formato de curso, no Brasil, é resultado das reformas educacionais do final dos anos 60, que, dentro do contexto da época, segundo Naveiro e Oliveira (idem), tinha o objetivo de ensinar o suficiente para a produção e não para o exercício pleno da cidadania, e que, além disso, fortaleceu a divisão dos cursos em básicos e profissionalizantes.

De acordo com Naveiro e Oliveira (idem), as escolas de engenharia continuam formando engenheiros com base em um modelo curricular ultrapassado, cuja estrutura não privilegia a integração dos conhecimentos apresentados nas diversas disciplinas ao longo do curso. Decorrente disso, não é dada a devida importância ao entendimento entre o conteúdo e prática e, em geral, o aluno acaba tendo dificuldades de notar o encadeamento entre as disciplinas do curso. Para que esta situação possa ser alterada, já desde os primeiros anos de curso, o aluno deveria compreender a necessidade do estudo autônomo e continuado, além da importância de uma base conceitual bem estruturada e da relação interdisciplinar efetiva, incluindo teoria e prática.

Este é um ponto importante no balizamento de nosso processo produtivo. A atuação integrada dos professores da instituição, em busca do aprimoramento do binômio ensino-aprendizagem, na exploração do objeto motivador [...], deve ser o evento disparador da emocionante aventura de fazer parte do desenvolvimento tecnológico. Para tal, é mister haver o compromisso dos professores na elaboração de um trabalho conjunto, mostrando as diversas disciplinas se inter-relacionando (SOARES, 1998, p.63).

A questão da interdisciplinaridade no ensino de Engenharia reflete uma demanda do próprio mercado de trabalho, como já mencionado. Naveiro e Oliveira (2001) fazem uma reflexão onde relatam o fato de que cada vez mais a atividade de projetar - a qual é uma das atividades mais importantes da profissão, uma vez que implica necessidades teóricas e práticas - está demandando do engenheiro um envolvimento maior nas etapas relacionadas à informação, pois quanto maior a complexidade do produto a ser desenvolvido, maior é o investimento da empresa destinado às etapas que antecedem a produção. No contexto atual - onde os produtos são projetados em locais geograficamente diferentes e produzidos por terceiros - desenvolvimento, concepção e gestão têm recebido mais atenção e investimentos em comparação aos custos de produção. Este contexto expõe uma questão associada à formação do engenheiro: a atividade de criar produtos e artefatos. A consequência da atividade e do contexto atual é enfatizada por Naveiro e Oliveira (2001, p.19):

A questão de projetar [...] se desdobra em dois aspectos complementares. De um lado, as questões relacionadas ao universo de especialização técnica [...] e a habilidade de criação de interfaces com outros universos de especialização têm se mostrado mais importantes que a aplicação de expressões matemáticas ou princípios científicos. Do outro lado, temos o projeto sendo desenvolvido em rede, [...] o que passa a requerer dos profissionais habilidades de negociar os diversos fatores que condicionam o projeto e de criar um discurso de comunicação capaz de reconciliar os diversos universos de especialização. Tudo isso mediado pelo uso cada vez maior de dispositivos informatizados, dotados cada vez mais de conhecimento do tipo formalizável e capazes de antecipar situações futuras que, em outras épocas, só seriam através da simulação real com modelos físicos do produto.

A atividade de projetar requer habilidades como gerir informações em trabalho em equipe e capacidade de antecipação de situações. Estas necessidades são permeadas por uma influência cada vez maior do uso de sistemas informatizados de gestão de informação e de simulação de situações de projeto. Souza Filho e Castro (2001), em análise do uso da informática em apoio a processos de projeto, ressaltam a importância de recursos como criação de ambientes virtuais, sistemas de *groupware*³ e a Internet. Souza Filho e Castro (2001) descrevem a experiência da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) na incorporação de bancos de dados e Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) na disciplina Desenho Técnico Auxiliado por Computador no Departamento de Fundamentos de Projeto. Segundo estes autores (2001, p.104-105):

A integração com a Internet, dentro do arcabouço da Tecnologia da Informação como um todo, vem facilitando o desenvolvimento do projeto de forma colaborativa,

³ “Hardware e software que suportam e ampliam o trabalho em grupo.” (CARNEIRO; GELLER; TAROUCO, 2002, p. 11)

integrando todos os profissionais envolvidos no projeto [...], simultaneamente e não mais seqüencialmente, bem como o cliente que pode interagir e acompanhar via Internet todo o processo de desenvolvimento do projeto desde suas fases iniciais.

Desta forma, o uso de recursos da Informática, como se procurará demonstrar, que incorporem aspectos da estratégia pedagógica de elaboração de projetos podem caracterizar, portanto, um auxílio ao estudo autônomo, à integração e contextualização de disciplinas, com conteúdos teóricos e práticos, além de caracterizarem uma forma eficiente de trazer à sala de aula os casos concretos, através de recursos que facilitam a visualização, compreensão e síntese. Todas estas características vêm ao encontro das inquietações provocadas pela necessidade de mudança na forma de ensinar Engenharia. A estratégia pedagógica de elaboração de projetos implementada em uma aplicação Web é apresentada, neste trabalho, como uma possível solução para os problemas sugeridos sobre o atual formato dos cursos da área tecnológica, em especial nos cursos de formação dos profissionais de engenharia no Brasil. Essa estratégia é revista no item 2.1.3, iniciando por uma contextualização histórica do conceito de projeto. Antes disso, é importante se compreender a função do professor e do aluno no processo de ensino-aprendizagem.

2.1.2 O papel do Professor e do Aluno no Processo de Ensino e Aprendizado

Como o próprio binômio usado no título desse capítulo indica, o processo educacional pressupõe duas atividades distintas: ensinar e aprender. O destaque a esses dois vocábulos deve-se ao fato de que os principais enfoques pedagógicos apontados na literatura sobre processos educacionais propõem o foco no aluno, o que é desejável. O papel do professor é descrito, em linhas gerais, como sendo de mediador e não como transmissor de conhecimentos. Os modelos pedagógicos de qualquer área do conhecimento, dentre as quais a Engenharia, devem levar em conta que o aluno é o sujeito de seu próprio aprendizado, mas também que o professor é um outro sujeito desse mesmo processo.

O professor, segundo Zabala (1998), deve ter como objetivo ser cada vez mais competente em seu ofício. Qualquer bom profissional tem a competência como objetivo. Geralmente, se consegue esta melhora profissional mediante o conhecimento e a experiência: o conhecimento das variáveis que intervêm na prática e a experiência para dominá-las. Uma vez que o professor entenda a sua função, a comunicação de seus conhecimentos e experiências, que podem ou não transformar-se em conhecimento endógeno dos alunos, dependendo do envolvimento de cada um no processo de construção de seu próprio

conhecimento. Possivelmente esse comunicador também irá transmitir, de forma consciente ou inconsciente, seus raciocínios, suas estratégias de solução de problemas e opiniões sobre o processo de trabalho, cabendo aos alunos, inicialmente, compreendê-las, para depois discordar delas ou propor soluções diferenciadas⁴. Mas é evidente, para Zabala (1998, p.15), que o entendimento de como ensinar - bem - passa necessariamente pela formalização dos parâmetros que estão associados ao processo de ensino e aprendizado.

Pessoalmente, penso que um debate sobre o grau de compreensão dos processos educativos, e sobretudo do caminho que segue ou tem que seguir qualquer educador para melhorar sua prática educativa, não pode ser muito diferente ao dos outros profissionais que se movem em campos de grande complexidade. Se entendemos que a melhora de qualquer das atuações humanas passa pelo conhecimento e pelo controle das variáveis que intervêm nelas, o fato de que os processos de ensino/aprendizagem sejam extremamente complexos – certamente mais complexos do que os de qualquer outra profissão – não impede, mas sim torna mais necessário, que nós, professores, disponhamos e utilizemos referenciais que nos ajudem a interpretar o que acontece em aula. Se dispomos de conhecimentos deste tipo, nós os utilizaremos previamente ao planejar, no próprio processo educativo, e, posteriormente, ao realizar uma avaliação do que aconteceu. A pouca experiência em seu uso consciente, a capacidade ou a incapacidade que se possa ter para orientar e interpretar, não é um fato inerente à profissão docente, mas o resultado de um modelo profissional que em geral evitou este tema, seja como resultado da história, seja da debilidade científica. Devemos reconhecer que isto nos impediu de dotarmos dos meios necessários para movermos-nos numa cultura profissional baseada no pensamento estratégico [...].

Ensinar é uma forma sistemática de transmissão de conhecimentos e é uma atividade que não pode ser menosprezada, e que, dependendo das condições, pode contribuir de forma positiva para o aprendizado dos alunos, como, por exemplo, através do estímulo à curiosidade ou ao aprofundamento e compreensão dos temas. Por outro lado, pode contribuir de forma negativa prejudicando o aprendizado individual, e do grupo como um todo, atrasando o desenvolvimento, complexificando desnecessariamente ou simplesmente criando um clima desfavorável à motivação pelo assunto.

Com efeito, a estratégia pedagógica adotada pelo professor, conforme suas necessidades, leva em conta os objetivos e a função da atividade docente, a de ensinar e mediar o aprendizado. A formalização do conhecimento e da experiência sobre o domínio abordado vem acompanhado de uma diversidade de objetivos, que nem sempre são dimensionados de forma realista e consciente pelo professor. Aliás, os objetivos e as estratégias para alcançá-los

⁴⁴ As reflexões apresentadas neste item do trabalho foram submetidas para publicação como capítulo de livro sobre Ensino de Engenharia, ainda sem nome definitivo, editado pela Associação Brasileira de Ensino de Engenharia (ABENG). O capítulo chama-se **O impacto das novas tecnologias educacionais nas formas de ensinar e aprender engenharia** e foi escrito em co-autoria com Maria Isabel Timm, Luis Otoni Meireles Ribeiro, Fernando Schnaid e Milton Zaro.

nem sempre são claras, fator que se multiplica se forem levadas em conta diferenças de níveis sócio-culturais, cognitivas, de áreas do conhecimento e de grau de educação formal dos alunos e inclusive diferenças relacionadas aos próprios professores (TIMM, 2005).

Supondo-se o processo de ensino e aprendizagem como uma forma organizada de comunicação entre diferentes sujeitos - professor e aluno - em um determinado contexto, um dos atores – o professor – tem um tipo de responsabilidade: ensinar, significando um conjunto de ações complexas e exigentes que incluem representação do conhecimento, disponibilização de conteúdo e aferição de aprendizagem sobre conhecimento estruturado de um domínio, cujas condições específicas precisam ser identificadas em cada caso. Os outros atores serão os alunos, que têm outra responsabilidade, igualmente relevante, complexa e exigente: acessar o conjunto de conteúdos e atividades proposto, experimentar os desafios didático-pedagógicos, fazendo seu próprio esforço para construir o conhecimento sobre os conteúdos propostos. A tecnologia educacional deve poder contribuir para a funcionalidade dessa situação, apoiando o professor para que seja um melhor comunicador de seus conhecimentos e experiências relativas ao domínio, que irão fundamentar um conjunto de informações estruturadas para os alunos. Supõe-se ainda que esta tecnologia possa contribuir para canalizar esse esforço do professor em direção ao conhecimento endógeno dos alunos, dependendo do envolvimento – agora sim – de cada um, no processo de construção individual de seu próprio conhecimento. A comunicação organizada exige, entre outras coisas, representação de conteúdos de forma coerente, múltipla e dinâmica, contendo vários formatos (textual, gráfica, oral, audiovisual, etc.) e favorecendo a flexibilidade de usos.

Zabala (1998) ressalta que a ordenação articulada de conteúdos e atividades seria o elemento diferenciador das estratégias educacionais. A seqüência e estruturação de informação e conhecimento está relacionada com as intenções educacionais e com o papel das atividades que são propostas. Alguns critérios para análise das seqüências, segundo o autor, reportam que os conteúdos de aprendizagem agem explicitando as intenções do professor. A apresentação de informações e do conhecimento contém sua representação de conteúdos, raciocínios, estratégias de soluções de problemas e outros recursos cognitivos que constituem o acervo cumulativo do domínio em que ele trabalha⁵, o qual o aluno poderá contestar ou não, depois de compreendê-lo. Sob este ponto de vista, sugere-se que a transmissão de

⁵ O vídeo da última aula do professor Randy Pausch, da Universidade de Carnegie Mellon é bom exemplo de comunicação de saberes. Disponível no endereço http://www.youtube.com/watch?v=ji5_MqicxSo, Acessada em 14/03/2008.

conhecimento tenha espaço entre as funções cognitivas superiores, tanto quanto a construção de conhecimento. Desta forma, tem-se como desafio do professor a necessidade de formalizar o conhecimento sobre o domínio que será representado e sua relação a atividade de ensino. Esta necessidade de planejamento evidencia a importância da comunicação do professor com o aluno, através de uma apresentação de conteúdo flexível, completa e dinâmica, com o maior número de formatos possíveis, para atender a múltiplos estilos de aprendizagem, preferências ou facilidade de compreensão de cada aluno. Este conjunto complexo de fatores é avaliado por Zabala (idem, p.14), que diz o seguinte:

Sabemos muito pouco, sem dúvida, sobre os processos de ensino-aprendizagem, das variáveis que intervêm neles e de como se inter-relacionam. Os próprios efeitos educativos dependem da interação complexa de todos os fatores que se inter-relacionam nas situações de ensino: tipo de atividade metodológica, aspectos materiais da situação, estilo do professor, relações sociais, conteúdos culturais, etc. Evidentemente, nos movemos num âmbito no qual os modelos explicativos de causa-efeito são inviáveis. Certamente nosso marco de análise deve se configurar mediante modelos mais próximos à teoria do caos – em que a resposta aos mesmos estímulos nem sempre dá os mesmos resultados – do que a modelos mecanicistas. No entanto, em qualquer caso, o conhecimento que temos hoje em dia é suficiente, ao menos, para determinar que existem atuações, formas de intervenção, relações professor-aluno, materiais curriculares, instrumentos de avaliação, etc., que não são apropriados para o que pretendem.

O processo de ensino-aprendizagem deve estar voltado, evidentemente, para o aluno e ter um foco explícito: o seu processo de aprendizagem. Mas o exame realista dessa situação não pode tomar o professor como um elemento neutro a serviço de cada personalidade, individualidade ou perfil de aluno. O professor é um outro sujeito ativo da situação ensino-aprendizagem, que define o domínio do conteúdo, os objetivos a serem alcançados e um plano de atividades e recursos didático-pedagógicos que viabilizem atingir os objetivos definidos. Ensino, nesse sentido, não pode ser simplesmente descartado como uma metáfora indesejável de entrega de pacotes de conhecimento, mas é uma atividade que precisa ser bem compreendida, para ser corretamente planejada.

Outra atividade atribuída ao professor, além da organização e apresentação do conteúdo e da representação e transmissão do conhecimento sobre o domínio, é a avaliação dos alunos. Cabe ao professor observar os processos individuais de cada aluno, ou de grupos, durante as suas respectivas trajetórias de construção individual do conhecimento. Segundo Zabala (1998, p.17):

[...] desde uma perspectiva dinâmica, e desde o ponto de vista dos professores, esta prática, se deve ser entendida como reflexiva, não pode se reduzir ao momento em que se produzem os processos educacionais na aula. A intervenção pedagógica tem

um antes e um depois que constituem as peças substanciais em toda prática educacional. O planejamento e a avaliação dos processos educacionais são uma parte inseparável da atuação docente, já que o que acontece nas aulas, a própria intervenção pedagógica, nunca pode ser entendida sem uma análise que leve em conta as intenções, as previsões, as expectativas e a avaliação dos resultados. Por pouco explícitos que sejam os processos de planejamento prévio ou os de avaliação da intervenção pedagógica, esta não pode ser analisada sem ser observada dinamicamente desde um modelo de percepção da realidade da aula, onde estão estreitamente vinculados o planejamento, a aplicação e a avaliação.

A avaliação tem a função de fornecer um *feedback* sobre o que o aluno conhece ou aprendeu a respeito do conteúdo trabalhado. Conseqüentemente, o professor passa a contar com um conjunto de informações sobre a atuação do aluno que torna possível inferir sobre processo de ensino-aprendizagem e corrigir eventuais erros conceituais ou deficiências apresentadas, ou a sua própria prática educativa. A análise desta atividade, cujo equacionamento faz parte das responsabilidades do professor no processo de ensino-aprendizagem, inclui formas e recursos múltiplos, intenções diferenciadas, de acordo com o nível e os objetivos do curso, dos alunos, do conteúdo e, no limite, segundo os objetivos de cada professor. Portanto, é sua tarefa planejar e implementar os recursos necessários para avaliar o aluno – suas ações, de alguma maneira, precisam ser aferidas com padrões ou valores adotados pelo professor.

Ao contrário de ensino, atualmente a aprendizagem é um dos grandes temas da pesquisa psicológica, pedagógica e, mais recentemente, neurocientífica. Busca-se, em geral, criar uma situação de aprendizado que seja motivadora, envolvente, desafiadora, significativa e relevante. Para obter esse efeito no processo de aprendizado é necessário transformar o aluno em sujeito ativo na busca pelo do conhecimento e envolve-lo em atividades que simulem situações que serão vividas no exercício profissional, confrontando-o com as conseqüências das suas ações. Tais conseqüências podem bem cumprir a função de avaliação, como se referiu anteriormente, para informar ao professor quais são os níveis atingidos pelo aluno que aprende, em relação ao objetivo proposto pelo professor que ensina. Esse caminho a ser trilhado, composto de desafios, soluções e conseqüências das escolhas, precisa ser motivador e lúdico bem como carregar os conteúdos a serem aprendidos. Esta característica está contida no adjetivo significativo e relevante. Ambas as definições remetem à identificação do aluno com relação ao conhecimento a ser aprendido, que só será considerado significativo se houver um acervo cognitivo prévio com o qual relacioná-lo (AUSUBEL et al., 1980), e só será relevante se responder às necessidades cognitivas, de atenção e de motivação do aluno.

Ambas as perspectivas - as dos alunos e as dos professores – e os parâmetros envolvidos

nas atividades de ensinar e aprender, conforme exposto neste Capítulo, surgem ao longo da implementação do STI desenvolvido nessa Tese e apresentam correspondência na arquitetura do sistema. Da mesma forma, a estratégia educacional adotada, a de elaboração de projeto, atende as necessidades do ensino (professor), do aprendiz (aluno) e do domínio (conteúdo) sugerindo que o software é uma ferramenta que fornece subsídios para a análise da função do professor e do aluno bem como do debate sobre ensino de Engenharia.

2.1.3 O Projeto como Ferramenta Pedagógica

Um projeto, para efeitos desta pesquisa, é considerado como um conjunto de tarefas planejadas para serem realizadas, em uma situação real ou em uma situação simulada, com o objetivo de criar um serviço ou um produto único. Essas tarefas não podem ser isoladas e desconectadas, mas devem compor um fluxo necessário à execução do projeto. A composição deste fluxo estará determinada pelas características pedagógicas utilizadas pelo professor, pelas características específicas do projeto e pelas características do grupo.

Do ponto de vista instrucional, o método de projetos é geralmente considerado como aquele pelo qual os alunos desenvolvem independência e responsabilidade, além de ser um método academicamente rigoroso, que demonstra que a aquisição de conhecimentos é um processo dinâmico, complexo e contínuo. A utilização desse método tem como objetivo proporcionar ao aluno uma aprendizagem que aconteça por meio da ação e da integração de conhecimentos de diferentes áreas, utilizando os conhecimentos previamente aprendidos, atuando na solução de um projeto e, desta forma, adquirindo novas habilidades e competências.

O uso dessa metodologia incentiva o aluno a **aprender a aprender**, além de confrontá-lo com problemas similares aos que vai enfrentar futuramente na vida profissional. Tudo isto argumenta a favor da utilização do método de projeto no ensino de Engenharia, estando bem fundamentado por pesquisadores da área (NOBRE et al., 2006; PAHL et al., 2005; TIMM, 2005; ZABALA, 2002; AMORIN; MARTINS FILHO, 2001; NAVEIRO, 2001; MEDEIROS, 2001; OLIVEIRA, 2001), que têm sugerido que este método reforça e enriquece as estruturas de conhecimento do aluno, ao permitir aprender Engenharia fazendo Engenharia.

2.1.3.1 Conceituação de Projeto e da Atividade de Projetar

Projeto é um conceito amplo e preenche diferentes funções dependendo do contexto a

que está associado. Basta se observar as expressões existentes, como projeto pessoal, projeto arquitetônico, projeto econômico, projeto pedagógico e outros. Nesse contexto, o projeto pode ser compreendido como o plano que se idealiza para alcançar um objetivo, que pode ser a construção de um artefato ou uma meta a ser alcançada. No mesmo sentido, pode-se ressaltar que projetar é uma atividade complexa onde, em geral, o projetista lida com incertezas e dados incompletos, condições que são impostas pela própria natureza da atividade.

Sendo uma atividade complexa, o ato de projetar requer do engenheiro uma capacidade de análise, avaliação e síntese de um problema, para, então, conceber uma solução. Amorin e Martins Filho (2001, p.2)⁶, descrevem a atividade de elaboração de projetos da seguinte forma:

Projetar em Engenharia é essencialmente uma atividade humana, intelectual, que parte de reconhecer um problema para então desenvolver uma proposta de solução, definindo um produto ou processo de tal forma que sejam levados em conta todos os fatores influentes na implementação da solução (as tecnologias disponíveis, as limitações impostas, etc.). Por mais simples que possam ser os objetos ou processos caracterizados pela ação de projetar (projeção), a atividade em si é complexa, exigindo do projetista (ou equipe) uma certa capacidade inventiva para a concepção das características do objeto projetado, alguma experiência técnica para reconhecer todos os elementos envolvidos em um problema particular de projeto e um razoável conhecimento a respeito das métodos e técnicas envolvidos nos processos de análise das alternativas de projeto, bem como, dos padrões de exigência aplicáveis sobre as características e atributos do objeto e, ainda, uma capacidade de representação do objeto do projeto, nos diversos padrões, decrescentes de abstração, de forma a permitir a validação das soluções junto aos atores interessados na implementação da solução. Se o objeto em si é complexo e não existem soluções tipificadas, consolidadas com razoável consenso, maior será exigência sobre os projetistas em termos das habilidades necessárias ao desenvolvimento do processo, em especial da capacidade de compartilhar o processo decisório com os especialistas necessários tanto à construção de modelos específicos no processo de avaliação, quanto ao desenvolvimento de análises nos sub-domínios técnico-científicos do problema.

Complementando a conceituação da atividade, Amorin e Martins Filho (2001, p.5) definem que “... projetar é reconhecer o problema e elaborar uma proposta de solução levando em conta todos os fatores que interferem no processo, as limitações impostas e a tecnologia disponível para transformar tal proposição em realidade.” Na nossa cultura tecnológica a sociedade privilegia a intervenção no tempo, no sentido de antecipar ações e intenções. Sendo assim, “... o projeto pode ser definido como conceito dotado de propriedades lógicas a serem explicitadas em conexões com a ação a ser conduzida” (BOUTINET, 2002, p.27).

⁶ Os autores referem-se a projetos relacionados à Engenharia Naval, mas sugerem que a atividade de projetar pode ser adotada nas atividades de qualquer área da Engenharia.

2.1.3.2 *Perspectiva Histórica do Projeto*

Embora se viva na época da cultura do projeto, a atividade de projetar é antiga. Naveiro e Oliveira (2001) relatam que romanos e chineses produziam utensílios domésticos e artefatos de guerra em larga escala, ainda que não existisse o conceito de projeto. O artefato era produzido a partir da representação mental do artesão diretamente para os insumos a serem processados. Para Boutinet (2002), o termo **projeto** surgiu ao longo do século XV, em expressões da língua francesa, para designar peças arquitetônicas, como sacadas e pilares, que se lançavam a frente de fachadas. Esta designação tem vínculos com a palavra latina *projectu*, que significa lançado para a frente. O sentido atual para o termo consolidou-se apenas em meados do século XX.

A técnica artesanal para produção de artefatos usados na antiguidade não atendia mais as necessidades das técnicas industriais surgidas entre os séculos XVI e XVII e que eclodiram com a Revolução Francesa, no século XVIII, onde a técnica de produção não vinculava mais o artesão, agora operador, diretamente aos insumos na produção dos artefatos. Este processo passa a ser mediado pela máquina (BOUTINET, 2002). Em função do surgimento da padronização e repetibilidade na produção de artefatos, decorrente da utilização de máquinas no processo produtivo, surgiram, de acordo com Naveiro e Oliveira (2001, p.14), “... as primeiras práticas consagradas de projeto que padronizaram a solução de determinados problemas, constituindo-se na cultura técnica da época”. Na segunda metade do século XX, impulsionado pela competitividade do sistema industrial, começaram a surgir estudos sobre metodologias de projeto, inclusive com respaldo acadêmico. Na engenharia o aprimoramento das metodologias de projeto se deu na década de 80 impulsionadas pelo desenvolvimento europeu e japonês, podendo-se entender como um domínio recente com vasto campo de estudo e desenvolvimento.

2.1.3.3 *O Processo de Ensino-Aprendizagem Baseado em Projeto*

O uso do método de projetos como estratégia pedagógica não é novidade. As experiências predecessoras dessa pedagogia foram realizadas por Dewey⁷, em 1896, a partir da constituição de uma escola, vinculada à Universidade de Chicago, criada para colocar em

⁷ John Dewey é reconhecido como um dos fundadores da escola filosófica de Pragmatismo (juntamente com Charles Sanders Peirce e William James), um pioneiro em psicologia funcional, e representante principal do movimento da educação progressiva norte-americana durante a primeira metade do século XX. Foi também editor, contribuindo na Enciclopédia Unificada de Ciência, um projeto dos positivistas, organizado por Otto Neurath.

prática sua filosofia educacional. No laboratório-escola que dirigiu os alunos aprendiam conceitos de física e biologia presenciando os processos de preparo do lanche e das refeições, que eram feitos na própria classe. Esse elemento de ensino com a prática cotidiana foi a contribuição para a escola filosófica do Pragmatismo (TIMM, 2005; ZABALA, 2002).

Vertentes desta escola geraram propostas diversas apresentando terminologias e classificações distintas. Nesse universo de definições encontram-se conceitos que são vinculados ao domínio da educação e que preceituam formas de preparar e apresentar o conteúdo, bem como o acompanhamento e direcionamento do aprendizado do aluno. O enfoque que descreve essa forma de conceber o ensino, no qual a construção do conhecimento se dá através da ação do aluno sobre o objeto a ser aprendido, de forma ativa, é chamado globalizador⁸. Esse conceito apresenta metodologias que pretendem colocar o aluno em uma situação onde ele tenha a necessidade de obter respostas a questões que a realidade lhes apresenta. Pode-se citar alguns nomes de métodos que se encaixam sob as definições preconizadas para os enfoques globalizadores como: centros de interesse, métodos de projeto, investigação do meio, projetos de trabalho, dentre outros. As diferenças residem na concepção dos processos de aprendizagem e nos objetivos educacionais (BOUTINET, 2002; ZABALA, 2002; HERNÁNDEZ, 1998; HERNÁNDEZ; VENTURA, 1996).

Cabe ressaltar que os métodos ditos globalizadores organizam os conteúdos de acordo com o tema que se pretende trabalhar ou com as possíveis ações desenvolvidas pelos alunos, independente de disciplinas que façam parte do currículo do curso. Para o aluno, a principal finalidade não é aprender os conteúdos das disciplinas, mas construir o conhecimento que está associado ao processo em que ele está envolvido.

Para alcançar o objetivo de construção do conhecimento, integrando o conteúdo de várias disciplinas, os problemas devem ser uma síntese do que se enfrenta no mundo real. Assim, o aluno deverá ser capaz de analisar o problema e, num segundo momento, sintetizar o conteúdo das várias disciplinas que compõem o domínio desse problema. Esse aspecto, para Hernández (1998, p.86), favorece a compreensão ampla dos problemas propostos, fazendo o aluno “[...] ser capaz de ir além da informação dada, [...] reconhecer as diferentes versões de

⁸ Diferentes terminologias estão sendo utilizadas para definir o uso de projetos como estratégia pedagógica (NOBRE et al., 2006; PAHL et al., 2005; TIMM, 2005; ZABALA, 2002; AMORIN; MARTINS FILHO, 2001; NAVEIRO, 2001; MEDEIROS, 2001; OLIVEIRA, 2001), e para todos os efeitos, neste trabalho adota-se a expressão Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), resultante da tradução da expressão Project-Based Learning (PBL) utilizada na literatura internacional, que está em consonância com a conceituação dada aos métodos globalizados.

um fato e buscar explicações além de propor hipóteses sobre as conseqüências dessa pluralidade de pontos de vista.”

O aprendizado pela prática, proporcionado pelo uso da Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP), agrega o valor do desenvolvimento de habilidades práticas e intelectuais associadas ao perfil cognitivo do engenheiro. O exercício do projeto serve a esse propósito, apresentando ao aluno uma situação onde ele deve interpretar e abstrair informações de um problema que deve ser resolvido, sintetizar o conhecimento referente ao tema e encaminhar soluções viáveis. Esse conjunto de ações parece adequado se o que se pretende é aproximar a prática educativa da realidade e da complexidade do conhecimento envolvido na solução de problemas de Engenharia, bem como exercitar o conjunto dos processos mentais envolvidos na prática da profissão.

O binômio ensino-aprendizagem com base nos referenciais e práticas propostas pela ABP pressupõe uma pedagogia ativa, isto é, uma perspectiva de trabalho onde o aluno desempenha um papel participativo no processo de aprendizado. Esse processo fundamenta-se na ação de aprender e de ensinar, organizando as atividades em torno de projetos. A complexidade da atividade de projetar permite lançar mão de problemas desafiadores, que exigem do aluno o conhecimento para encaminhar possíveis soluções, para solicitar atividades investigativas complementares, como ensaios de campo ou laboratório⁹, e que tenha condições de avaliar as conseqüências de suas tomadas de decisão em relação ao produto de seu trabalho. Esses fatores atribuem um grau de responsabilidade pelas soluções apresentadas, proporcionando uma experiência que coloca o aluno em uma situação real da atividade profissional.

De acordo com Pahl (2005), projetar é uma atividade cognitiva e está vinculada à solução de problemas, sendo que o engenheiro tem por missão encontrar soluções para problemas técnicos. Bons solucionadores de problemas usam criatividade e inteligência nos processos de tomada de decisão. Ainda segundo o autor, o método para encaminhamento de soluções passa por análise (que viabiliza a aquisição de informações e a elaboração da solução por desdobramento em subproblemas menos complexos), abstração das características (atua como redutor da complexidade e também possibilita ressaltar particularidades do problema) e síntese (que em essência, é o processamento das informações relacionadas ao problema e às possíveis soluções).

⁹ A partir de ensaios de campo e laboratório obtém-se informações complementares para projetos de Engenharia Geotécnica.

A particularidade de solucionador de problemas atribuída aos engenheiros e às habilidades cognitivas associadas a esta atividade são identificadas como características de um bom profissional de Engenharia (SCHNAID; ZARO; TIMM, 2006; PAHL, 2005; TIMM, 2005; NAVEIRO, 2001). Naveiro (2001, p.31) vai além, afirmando que a elaboração de projetos “envolve mecanismos mentais de estruturação, análise e síntese, consideradas atividades de maior nível cognitivo, conforme classificação proposta por Bloom (1956)”. Uma visão mais ampla das estratégias cognitivas que fazem parte da atividade profissional do engenheiro é apresentada na Figura 2.

As afirmações levam a crer que a adoção da ABP faz com que o aluno desenvolva características desejáveis no perfil do futuro engenheiro e, embora não se possa desenvolver plenamente o processo de projeto de objetos complexos na graduação, segundo Amorin e Martins Filho (2001, p.5), esta “[...] metodologia de trabalho [...] pode e deve ser incorporada ao ensino de formação do engenheiro”.

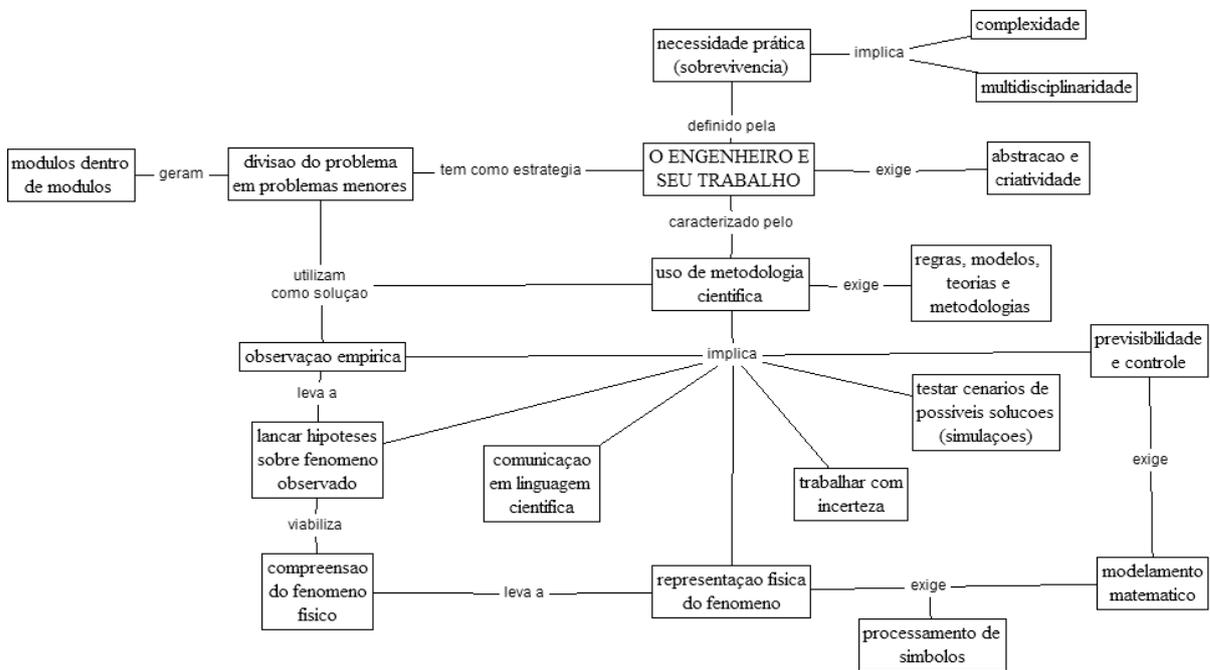


Figura 2: Mapa conceitual descrevendo características e estratégias cognitivas que compõem a atividade profissional do engenheiro. Fonte: Timm (2005, p.178)

Contudo, apesar desta constatação, Oliveira (2001) relata que nos cursos de graduação de Engenharia Civil a abordagem de conceitos e metodologias relacionadas às atividades de elaboração de projetos não são contemplados e que, em geral, o ensino de projeto ocorre como parte das disciplinas do ciclo profissionalizante. O autor evidencia que a elaboração de projeto não é ensinada/aprendida como um processo social e integrado, sendo que os alunos

são ensinados a analisar sistemas e não a realmente projetá-los. Timm (2005, p.172) complementa que “[...] a atividade é dissociada de suas partes constituintes situadas no chamado ciclo básico do curso, onde o aluno tem sua formação básica em disciplinas como Física e Matemática. São essas as ferramentas que vai necessitar para equacionar o seu problema de projeto.”

Nesse contexto, Oliveira (2001, p.166) recomenda-se a adoção do ensino de elaboração de projeto como “catalisador no processo de ensino/aprendizagem, por ser considerada como uma atividade intelectual fundamental dos profissionais de engenharia [...]”. Timm (2005, p.169) argumenta sobre a importância da adoção da estratégia pedagógica de elaboração de projeto, assumindo que:

Os projetos não apenas reproduzem virtualmente todos os tipos de raciocínios conceituais e procedimentais que serão necessários ao engenheiro ao longo de sua vida profissional, mas viabilizam a identificação de possíveis ambientes de equipe e, portanto, permitem que o aluno possa emular habilidades de negociação, cooperação e visão de conjunto. Como se procurará descrever, é possível que os projetos sejam capazes inclusive de estruturar a cognição dos engenheiros, sendo portanto, instrumentos indispensáveis no ambiente de sua formação.

E ainda, segunda a autora:

Os projetos foram considerados, portanto, estratégias didático-pedagógicas fundamentais para o ensino de Engenharia porque permitem o acesso dos alunos aos conteúdos, de forma integrada e sistêmica, estabelecendo vasos comunicantes entre os conteúdos teóricos e sua utilização na prática de resolução dos problemas e sub-problemas, na forma característica como se apresentam na prática profissional. Além disso, observou-se que podem contribuir para a estruturação da forma de pensar e fazer Engenharia, representando, para os alunos, o papel de *matriz cognitiva*¹⁰ das características individuais da identidade dos engenheiros, bem como dos processos cognitivos exigidos pela prática profissional. (TIMM, 2005, p.173)

Amorin e Martins Filho (2001, p.5) ressaltam que, em uma ação de tutoria de atividade de ensino usando a estratégia de elaboração de projetos, é preciso acompanhar os alunos e “[...] discutir com eles suas escolhas, exigir que as fundamentem com argumentos consistentes e bem construídos, que entendam as implicações e repercussões de suas decisões, enfim, que percebam todas as relações que estão em jogo. Isto não se aprende repetindo protocolos predefinidos. Nem tampouco seguindo recomendações estritas dos professores”

¹⁰ O conceito de matriz cognitiva foi destacado pela própria autora e, conforme ela, não foi encontrado em nenhum dos autores pesquisados. Ela propõe, em suas próprias palavras, o conceito no sentido de definir um conjunto de práticas cognitivas, as quais seriam utilizadas para viabilizar a operação e validação dos indivíduos sobre novos conhecimentos, uma espécie de estrutura composta de várias estratégias mentais, usada de forma automática para resolver novos problemas.

Segundo os autores, a estratégia educacional baseada na elaboração de projeto é centrada no trabalho do aluno/projetista, e tem como função principal a estimulação dos fluxos de idéias que levam a formulação das propostas de solução, externalização e registro dos conceitos de projeto que formalizam as diversas soluções propostas e estruturação do processo de análise e avaliação. Cada um destes aspectos exige habilidades e capacidades intelectuais diferenciadas que só serão desenvolvidas através do trabalho autônomo dos alunos. Na Figura 3 se tem um detalhamento dos componentes da atividade de elaboração de projetos.

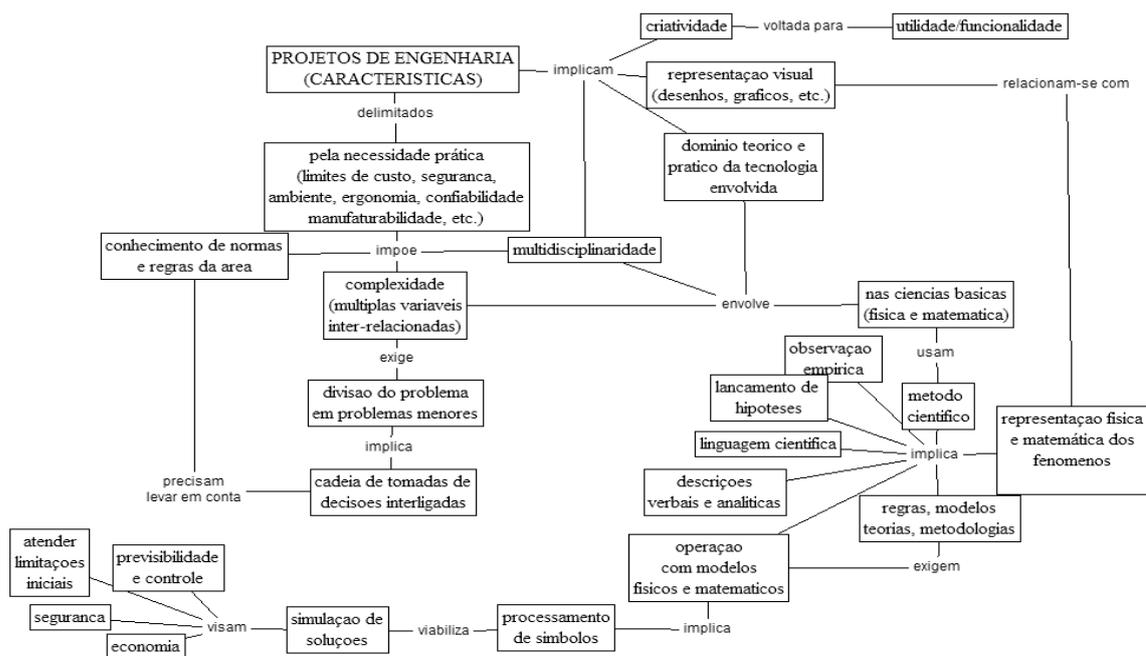


Figura 3: Mapa conceitual representando os componentes envolvidos na atividade de elaboração de projeto.
Fonte: Timm (2005, p.178)

Timm (2005, p. 174-175) considera que projetos são estruturadores da cognição do engenheiro, porque além de fazerem parte da atividade profissional possuem características inerentes à própria Engenharia:

- são multidisciplinares e complexos (estruturas constituídas de um conjunto de vários problemas e sub-problemas de Engenharia);
- todos esses problemas e sub-problemas possuem naturezas particulares e integradas no conjunto, as quais precisam ser representados através de modelos físicos que possam representar todas as variáveis interferentes e inter-relacionadas;
- os modelos físicos necessitam ser equacionados matematicamente, o que demanda dos profissionais uma grande capacidade de abstração e de representação mental;
- a representação físico-matemática deve viabilizar a operação concreta entre

múltiplas variáveis, sejam elas estáticas ou dinâmicas, exatas ou imprecisas, determinadas ou incertas, em busca de soluções viáveis em termos econômicos, ambientais, éticos e tecnológicos, sobre as quais seja possível elaborar controle e estabelecer previsões de comportamento seguro e eficiente;

- observação empírica e modelamento físico-matemático, no caso da Engenharia contemporânea, são operações mentais que envolvem metodologia e raciocínio científico, além de conhecimento teórico prévio dos conteúdos relativos a todas as variáveis atuantes no projeto e, em função disso, implicam validação permanente de conhecimentos de forma metodológica, apoiada em evidências empíricas, tratadas matematicamente e através da comparação com normas e outros conhecimentos já estruturadas sobre o domínio em pauta, sempre no território epistemológico da incerteza;
- geram soluções múltiplas, entre as quais é preciso realizar um escolha final (nem sempre evidente ou auto-justificável), a qual depende de simulações e de uma cadeia de tomadas de decisão e escolhas intermediárias, que se estruturam desde o início do projeto, a partir do diagnóstico (a correta formulação do problema e dos sub-problemas que o constituem);
- viabilizam a identificação de possíveis ambientes de equipe e, portanto, permitem que o aluno possa emular habilidades de negociação, cooperação e visão de conjunto;
- envolvem as mesmas habilidades cognitivas e culturais, bem como as mesmas estratégias de resolução de problemas do trabalho prático do engenheiro.

A síntese do conhecimento necessário para se projetar e, pode-se dizer, do conhecimento necessário para se praticar Engenharia é, em grande parte, proveniente de conhecimento heurístico ou tácito, que só se constrói através da experiência prática. Portanto, segundo Naveiro (2001, p.27), “projetar só se aprende projetando e o aprendiz projetista utiliza três tipos básicos de conhecimentos: conhecimentos para gerar idéias, conhecimentos para avaliar conceitos e conhecimentos para estruturação do processo de projeto”. Apoiado em uma abordagem das ciências cognitivas e da IA, o autor define projeto como uma atividade de resolução de problemas e, baseado nos autores Miles e Moore (1994) apud Naveiro (2001, p.33), amplia a definição de projeto como sendo um processo de tomada de decisão, de planejamento e busca, e de satisfação de restrições.

No Capítulo seguinte tem-se uma revisão de literatura a respeito da IA e, em especial, de STIs, tema que trata do uso das técnicas de IA em sistemas de apoio ao aprendizado, e que supõe-se que possam contribuir para o ensino de Engenharia.

2.2 STIs COMO TECNOLOGIA PARA ENSINO DE ENGENHARIA

As técnicas de IA, os sistemas de informação e a Web se apresentam hoje como ferramentas para desenvolvimento de uma modalidade de educação que possibilita a inovação

dos procedimentos de ensino, o desenvolvimento de uma educação extra-escolar, a qual utiliza os diversos meios de comunicação, possibilitando o acesso ao conteúdo de locais fora do ambiente da sala de aula tradicional.

Esse conjunto de possibilidades pode resultar em um sistema Web que integra infraestrutura tecnológica de hardware e software (oferta de informações e recursos eletrônicos interativos e em múltiplas linguagens de representação, aos usuários), que pode conter um acervo de material educacional (vídeos, imagens, livros digitais, artigos, animações e outras formas de representação do conteúdo), além de ferramentas que integram e contextualizam o acesso a estas informações.

Neste cenário, busca-se estudar e desenvolver formas de uso de STIs como recurso para apoiar o ensino presencial, expandindo as possibilidades de acesso ao conhecimento especializado, e contribuindo para a formação do aluno de Engenharia, uma vez que o uso da Web, da IA e das TICs criam condições para explorar alguns aspectos desejados no perfil contemporâneo do profissional de Engenharia. Este perfil, segundo Schnaid et al. (2006)¹¹ envolve, entre outros itens, a autonomia para o auto-aprendizado, o processamento de informações múltiplas e complexas, a familiaridade com o universo tecnológico, a síntese de conteúdo e a integração de múltiplas abordagens e domínios do conhecimento.

A IA é um domínio extenso de pesquisa que inclui disciplinas como Redes Neurais, Algoritmos Genéticos, Árvores de Decisão, Sistemas de *Frames*, Sistemas Especialistas e STIs. De acordo com Kurzweil (1992), as máquinas usam a IA para executar funções que exigem o uso de inteligência, caso estas funções fossem executadas por seres humanos, e segundo Russel e Norvig (2004, p.3), a IA “[...] sistematiza e automatiza tarefas intelectuais [...]”. Para Rezende (2003, p.3), o objetivo da IA é “[...] capacitar o computador a executar funções que são desempenhadas pelo ser humano usando conhecimento e raciocínio”. Para Charniak e McDermott (1985), IA é o ramo da Ciência da Computação voltado para o estudo das faculdades mentais através do uso de modelos computacionais. Estas definições são variações para sentido original dado ao termo Inteligência Artificial por McCarthy (2007)¹².

Torna-se evidente que, dentro do contexto apresentado por McCarthy (2007), Kurzweil

¹¹ O autor é co-autor da respectiva obra.

¹² Texto originalmente publicado em 1956, durante a chamada para realização de um projeto de pesquisa no Dartmouth College, New Hampshire, Estados Unidos, que reuniu dez cientistas das ciências da computação, entre eles Marvin Minsky, co-autor da proposta.

(1992), Rezende (2003) e Russel e Norvig (2004), é necessário a incorporação de **conhecimento** para o desenvolvimento de sistemas computacionais inteligentes.

A representação de conhecimento é a área de IA preocupada em pesquisar as formas como o conhecimento é representado e manipulado. Os STIs usam representação de conhecimento para facilitar a codificação de conhecimento em uma base de conhecimentos que pode ser usada para raciocinar sobre fatos de um domínio de conhecimento, isto é, pode-se processar dados e inferir conclusões ou ações levando-se em conta esta base de conhecimentos.

2.2.1 Perspectiva Histórica dos Sistemas Tutores Inteligentes

As pesquisas sobre STI tiveram início na primeira metade da década de 70, mais especificamente em 1973, com a publicação dos artigos *The design and evaluation of an adaptive teaching system* (HARTLEY, 1973) e *Towards more intelligent teaching systems* (HARTLEY; SLEEMAN, 1973), onde se definiu os requisitos básicos dos sistemas que viriam a ser os STIs. Mas o tema só ganhou popularidade a partir de 1990.

Os STIs surgem como uma evolução natural dos sistemas CAI (Computer-Aided Instruction) que, diferentemente destes, utilizam técnicas de IA para proporcionar uma experiência personalizada de aprendizagem para o estudante, simulando as interações professor-aluno. Os STIs surgem como uma proposta de sistema capaz de implementar uma modalidade instrucional baseada no diálogo bi-direcional, Socrático e interativo. No Quadro 1 observa-se um comparativo das características de CAIs e STIs.

Quadro 1: CAI *versus* STI (VICARI; GIRAFFA, 2003, p.163)

Tipo de Sistema	CAI	STI
Origem	Educação	Ciência da Computação
Bases Teóricas	Skinner (behaviorista)	Psicologia Cognitivista
Estruturação e Funções	Uma única estrutura algorítmicamente pré-definida, onde o aluno não influi na seqüenciação.	Estrutura subdividida em módulos cuja seqüenciação se dá em função das resposta do aluno.

Estruturação do Conhecimento	Algorítmica	Heurística
Modelagem do Aluno	Avaliam a última resposta. ¹³	Tentam avaliar todas as respostas do aluno durante a interação.
Modalidades	Tutorial, exercício e prática, simulação e jogos educativos	Socrático ¹⁴ , ambiente interativo ¹⁵ diálogo bidirecional ¹⁶ e guia ¹⁷ .

A seguir, serão descritas, com mais detalhes, as características dos STIs apresentadas no Quadro 1.

2.2.2 Características dos Sistemas Tutores Inteligentes

Um STI se caracteriza por representar separadamente a matéria que se ensina (módulo do domínio) e as estratégias para ensiná-la (módulo pedagógico), bem como, o aluno (a través do módulo do aluno) com o objetivo de obter um ensino individualizado. Outra característica marcante é a necessidade da interface de comunicação ser um módulo bem planejado, de fácil manipulação, e que favoreça o processo de comunicação tutor-aluno (VICARI; GIRAFFA, 2003; POLSON; RICHARDSON, 1998; U.S. CONGRESS, 1992; 1995).

Segundo Gava (2003, p.), os STIs "[...] usam técnicas de Inteligência Artificial com o objetivo de reproduzir o comportamento de um tutor humano, adaptando estratégias de acordo com o perfil do estudante."

De acordo com Vicari (1990), os STIs são programas de computador que modificam sua base de conhecimento ao interagirem com o aluno e possuem a capacidade de adaptar as estratégias de ensino de acordo com esta interação. Caracterizam-se principalmente por construir um modelo cognitivo do aluno, ou seja, um modelo da interação, da formulação e comprovação de hipótese sobre o estilo de aprendizado deste aluno, sendo que, das ações deste aluno na interface do STI, o sistema pode inferir o nível de conhecimento do domínio e

¹³ As ações do programa estão baseadas na última resposta do aluno, considerando-se apenas V (verdadeira) ou F (falsa). Não são tratadas as dúvidas e incertezas.

¹⁴ Pretendem proporcionar instrução através de diálogo com os alunos e detectam erros.

¹⁵ Trabalham um determinado assunto através de da interação com o aluno, utilizando a abordagem de diagnóstico desse aluno.

¹⁶ Utilizam um ambiente interativo com diálogo entre o aluno e o tutor, podendo haver alterações no comportamento do tutor face as respostas do usuário (aluno).

¹⁷ Alguns ITS funcionam como guias do aluno e não se utilizam de um diálogo e sim apresentam o conteúdo de outra forma.

sugerir uma trajetória de aprendizagem. Ou seja, para ser inteligente, um tutor deve ser flexível, isto é, ter capacidade para aprender com o meio ambiente e atualizar seu conhecimento.

Para Fenrich (2005), os STIs buscam simular o instrutor perfeito, e que, de certo modo, o sistema deve ter a capacidade de interpretar a mente do estudante. Toda a estratégia a ser selecionada, em situações de erros e acertos, deve ser baseada em alguma regra conhecida, para poder ser implementada computacionalmente.

Segundo Bruce (2006), 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 aos diferentes níveis de conhecimento e habilidades referentes a um determinado domínio. Estes requerimentos normalmente são tratados pelo modelo do aluno, que desempenha um papel central para o sucesso de um STI. Em outras palavras, o STI deve ter a capacidade de oferecer uma estratégia sob medida para as necessidades individuais dos alunos.

Corroborando as descrições, já citadas, de características dos STIs, Pozzebon (2002, 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.

Conforme o relatório técnico do *Office of Technology Assessment* (U.S. CONGRESS, 1988), órgão do governo dos Estados Unidos, os tópicos que devem nortear o desenvolvimento e implementação de um STI são:

- 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 explicar, quando apresentar conteúdo complementar ou quando apresentar outro problema);

- Representação de sistemas reais onde os alunos poderão manipular, 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.

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 (U.S. CONGRESS, 1995).

Desta forma, 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 desempenho do aluno no sistema. De acordo com o relatório técnico *Power on!: new tools for teaching and learning* (U.S. CONGRESS, 1992), a técnica implementada em um STI pressupõe diagnóstico, acompanhamento e avaliação da performance do aluno em comparação à do especialista. Assim, repostas e inferências dos alunos, ao longo do processo de aprendizado, podem ser interpretados em relação a solução do problema dada pelo especialista, cujo conhecimento está modelado no STI.

Um STI oferece a oportunidade de avaliar o desempenho do aluno, não simplesmente pela análise de respostas corretas e incorretas, mas pela seqüência de inferências que pode revelar o conhecimento do aluno 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 (U.S. CONGRESS, 1995).

De acordo com a abordagem de Self (1999), apesar das mudanças nas técnicas de implementação dos STIs e das filosofias que norteiam os trabalhos, alguns temas estão presentes desde o surgimento das pesquisas na área. Para ele, os STIs são sistemas computacionais para apoio ao aprendizado que tentam adaptar-se às necessidades dos alunos e, por isso, as pesquisas em STIs tem como objetivo científico atribuir precisão computacional e explicitar os conhecimentos educacionais, cognitivos e sociais, que em geral estão implícitos em outras classes de sistemas computacionais educacionais.

2.2.3 Arquitetura dos Sistemas Tutores Inteligentes

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 (MA, 2006; VICARI, 1990; POLSON; RICHARDSON, 1988). Esta arquitetura tradicional pode ser visualizada na Figura 4, 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 no parágrafo anterior, 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.

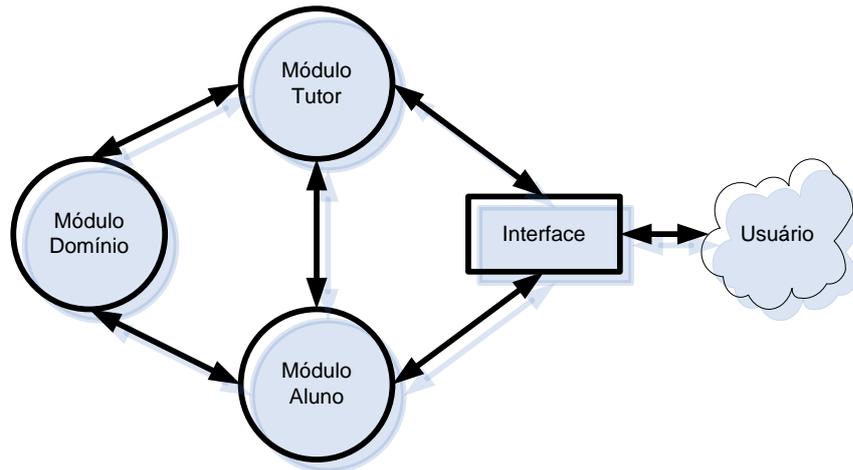


Figura 4: Arquitetura clássica de um STI

Segundo Vicari e Giraffa (2003, p.170), o STI “trouxe grandes avanços à modelagem de ambientes educacionais, pois separou o domínio da sua forma de manipulação (no sentido de utilização), permitindo assim, que estratégias de ensino fossem associadas em função das informações oriundas da modelagem do aluno”.

A arquitetura clássica foi ampliada e tornou-se conhecida como função tripartida ou arquitetura tripartida de um STI (SELF, 1999). O termo tripartido se refere às funções associadas aos modelos do tutor, do aluno e do domínio. Esta arquitetura associa, ao longo de uma **sessão de trabalho**, um modelo de interação entre aluno e o sistema (Figura 5), nos quais os módulos da arquitetura clássica são sub-conjuntos da arquitetura tripartida. Vicari e Giraffa (2003, p.170) evidenciam as mudanças propostas por Self:

O módulo do domínio não é mais uma forma de tornar as informações inter-relacionadas, mas sim um modelo dos aspectos do conhecimento sobre o domínio que o aluno pode acessar durante as interações com o STI (Modelo da Situação). O módulo do estudante não mais relaciona somente as informações sobre a análise das interações do aluno com o domínio, mas busca a contextualização maior dessas interações, em função das ações do aluno, o contexto em que elas ocorrem e a estrutura cognitiva do aluno naquele momento (Modelo de Interação). O módulo tutor deixou de ser o responsável pela seleção do conteúdo e estratégias para se tornar, de uma forma mais ampla, aquele que conduz o aluno de acordo com objetivos e desafios educacionais que o ambiente proporciona a ele (Modelo de Permissões).

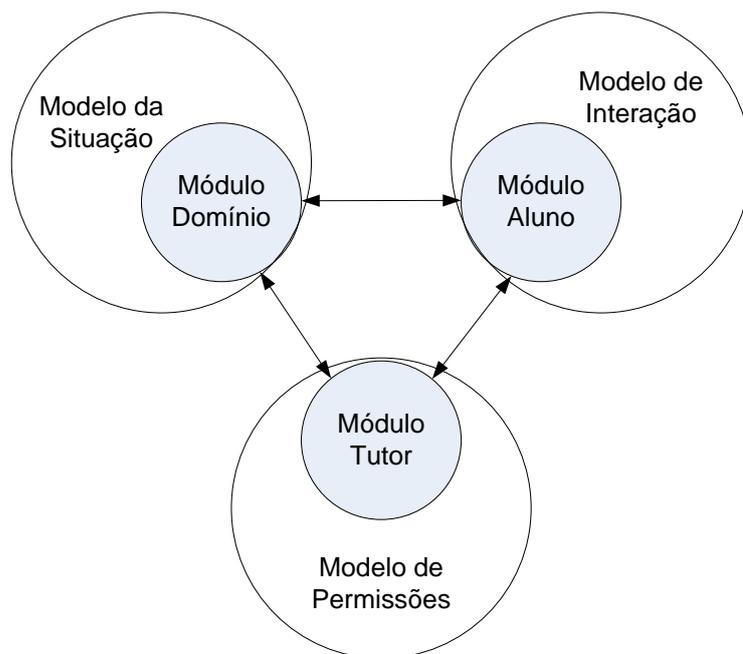


Figura 5: Arquitetura proposta por Self (1999)

A arquitetura adotada por Pozzebon (2002) é similar à proposta de Self (1999), porém, acrescida do **Módulo Interface**. Embora os componentes do STI estejam identificados por uma nomenclatura diferente, como se observa na Figura 6, o significado de cada módulo é o mesmo. Esta mesma arquitetura é adotada por Vicari e Giraffa (2003), McTarggat (2001), Curilem e Azevedo (2001), Murray (1999), Sherman et. al. (1999) e Nakabayashi et. al. (1997).

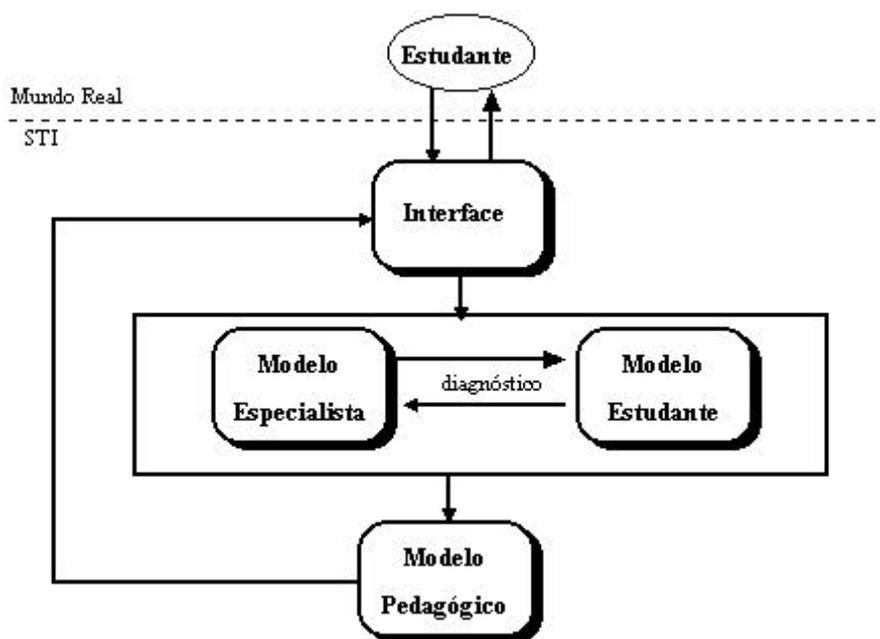


Figura 6: Arquitetura adotada por Pozzebon (2002), Vicari e Giraffa (2003), McTargget (2001), Curilem e Azevedo (2001), Murray (1999), Sherman et. al. (1999) e Nakabayashi et. al. (1997).

Apesar da arquitetura de um STI ser formada, basicamente, por quatro módulos, o que diferencia o trabalho dos autores citados são as técnicas e as filosofias adotadas para implementar cada um destes componentes. Atualmente, muitos grupos de pesquisa, inclusive o grupo do qual o autor é integrante, estão utilizando a abordagem de agentes para o desenho, a modelagem e o desenvolvimento de STIs (SILVEIRA, 2001; VICARI; GIRAFFA, 2003; BAYLOR; KIM, 2004; HALL et al., 2004; RUSSEL; NORVIG, 2004). Contudo, para o propósito desta pesquisa será utilizada a arquitetura clássica, sem o uso da tecnologia de agentes, pois esta é, na visão do autor, a mais adequada para a modelagem, projeto e desenvolvimento da aplicação proposta neste trabalho, em particular.

Nota-se que, 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**. Estes componentes são detalhados a seguir.

2.2.3.1 Modelo do Aluno

Este componente representa o conhecimento e as habilidades cognitivas do aluno em um dado momento. É constituído por dados dinâmicos que serão de fundamental importância para o tutor poder comprovar hipóteses a respeito do estado mental do aluno. Contém uma representação do nível de conhecimento do aluno no momento em que interage com o STI. A partir desse modelo e do conteúdo do domínio, o sistema deve ser capaz de inferir a melhor estratégia de ensino a ser utilizada. Um modelo realista do aluno implica numa atualização dinâmica à medida que o sistema avalia o seu desempenho (VICARI, 1990).

Este módulo deve refletir tudo aquilo que o sistema acredita ser do conhecimento do aprendiz. Um dos grandes desafios neste caso é determinar **o quê** exatamente o aluno conhece. A forma pela qual o ser humano adquire informações, realiza seu processamento, adapta-os à sua rede de conhecimento, tira conclusões baseado em fatos antigos e toma decisões é, no mínimo, de complexa definição científica. Esta questão encontra-se ainda em aberto, o que dificulta uma melhor modelagem dos estados cognitivos do aprendiz.

Além disso, a única forma aplicável, atualmente, de interface entre o usuário e o computador é por meios digitais que limitam uma interação mais estreita. A adaptação precária ao diálogo, feita pelos periféricos atuais (tais como um teclado ou um *mouse*),

dificultam muito uma interação válida entre computador e aluno. A desvantagem computacional frente aos vários *inputs* humanos, através dos sentidos (visuais, auditivos, olfativos, táteis), faz com que as conclusões obtidas por uma máquina sobre um estudante possam ser bem diferentes das de um tutor humano. Limitações científicas e tecnológicas à parte, vários modelos de representação de conhecimento foram propostos. Vicari e Giraffa (2003) e Giraffa (1995) apresentam seis modelos de descrição para geração de modelos de alunos:

– Modelo Diferencial: as respostas do aluno são comparadas com a base de conhecimento, que é dividida em 2 classes: base de conhecimento esperado do aluno e base de conhecimento não esperado do aluno. Nesta modelagem, compara-se o **desempenho** do especialista com o do aluno. O resultado dessa comparação deve fornecer hipóteses sobre o que o aluno não conhece.

– Modelo *Overlay* (de Superposição): abordagem baseada na proposição de Carr e Goldstein (1977). Nesta abordagem o modelo do aluno é considerado um sub-conjunto do modelo do domínio (Figura 7). Desta forma, ambos os modelos devem possuir a mesma representação.

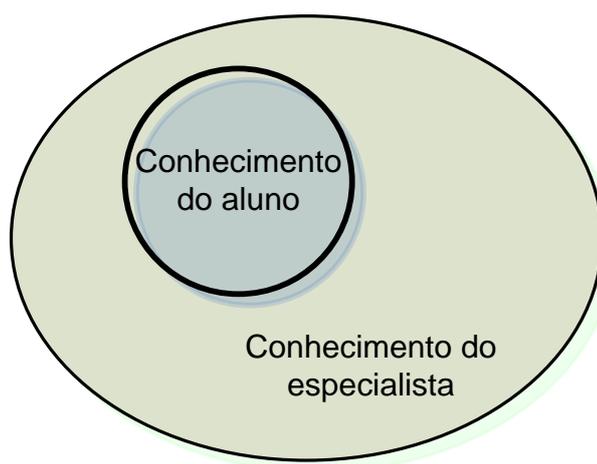


Figura 7: Representação gráfica do modelo de superposição. Adaptado de Beck et. al. (2007)

– Modelo *Buggy* (de Perturbação): assim como o modelo de superposição, o modelo de perturbação baseou-se na proposição de Carr e Goldstein (1977). O modelo *buggy* apresenta-se como uma extensão do modelo *overlay*, permitindo que alunos também tenham crenças não pertencentes à base de conhecimento do especialista. Desta forma, o modelo de perturbação assume que os erros dos alunos são decorrentes de concepções errôneas de algum conceito, ou a ausência dele. A adaptação ao modelo de *overlay* pode é apresentada na Figura

8.

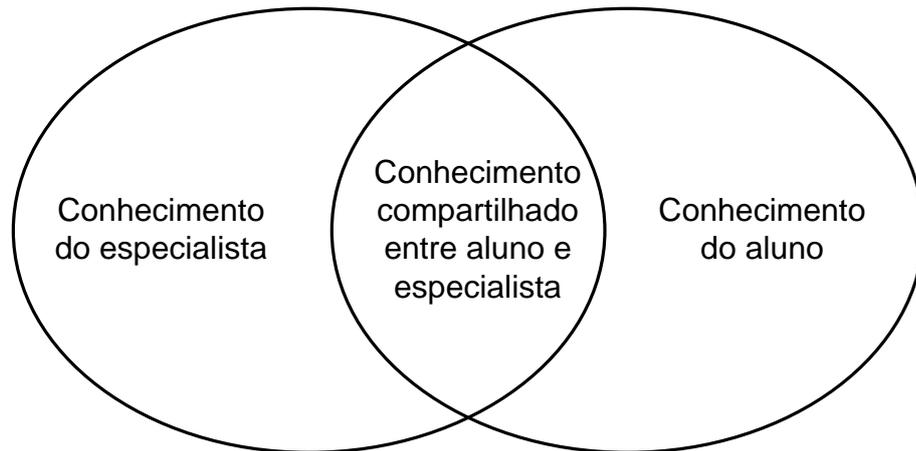


Figura 8: Representação gráfica do modelo de perturbação. Adaptado de Beck et al. (2007)

– Modelo de Simulação: Consegue prever os próximos passos do usuário. Para isto, o sistema deve monitorar o aluno, observando quais as suas reações mediante determinadas situações. Ou seja, o sistema possui um modelo de como o aluno pode se comportar em determinadas situações e, através desse modelo, prever o comportamento o seu comportamento.

– Modelo de Crenças ou Mentalista: O sistema possui um conjunto de crenças que reflete o que ele acha que o aluno sabe sobre o domínio. Giraffa (1995) alerta para uma revisão deste modelo, visto que não somente as hipóteses do tutor podem estar incorretas como também o próprio estado cognitivo do aluno muda com o tempo em consequência da interação entre aluno e tutor.

– Modelo de Agentes: a proposta do modelo de crenças incorpora o conceito de agentes inteligentes. A interação entre aluno e tutor, por esta abordagem, da-se através da comunicação dos agentes que representam ou acessam as informações do **modelo do aluno**, do **modelo do tutor** e do **modelo do domínio**. Ao tratar o modelo do aluno como um agente composto por estados mentais, utiliza-se, implicitamente, uma noção importante: a interação entre aluno e STI e uma interação entre agentes.

Além destas técnicas para geração do modelo do aluno, Beck et al. (2007) cita o uso de Redes Bayesianas. Estas redes trabalham com probabilidades e incertezas sobre o estado de conhecimento do estudante baseado em suas interações com o tutor. Cada nó da rede tem uma probabilidade indicando as chances de um estudante **conhecer** uma dada informação.

Ao se classificar modelos de alunos, os seguintes parâmetros podem ser usados (BERTOLETTI, 1997):

– Tipos de Indivíduos: número de usuários distinguíveis pelo sistema, recebendo tratamento individualizado.

– Número de Domínios: sistemas que abordam vários domínios devem modelar um mesmo aluno várias vezes, de acordo com o número destes domínios.

– Grau de Especialização: pode ser genérico ou individual. O genérico refere-se à modelagem de um conjunto homogêneo de usuários, o que caracteriza um tratamento igual para este grupo. Por outro lado, o modelo individual trata cada usuário de maneira específica e direcionada.

– Extensão Temporal: o modelo do aluno pode ser de curta ou longa duração. O primeiro é de fácil implementação, visto que nenhuma informação a respeito do aluno precisa ser resgatada no início de cada interação. Já o segundo requer o armazenamento das informações já coletadas sobre o usuário para posterior consulta e aplicação em estratégias de ensino diferenciadas.

– Modificabilidade: Pode ser estático ou dinâmico. O modelo estático finaliza a sessão da mesma forma que iniciou. Já o dinâmico atualiza o modelo do aluno sempre que algum evento, por ele ativado, for considerado relevante ao sistema.

– Uso do Modelo: pode ser descritivo ou prescritivo. Os descritivos armazenam uma série de informações sobre o usuário enquanto os prescritivos ainda chegam a simular o comportamento deles no sistema. Esta técnica permite saber como o aluno agirá diante de determinadas situações.

Estes critérios podem ser úteis tanto na comparação entre STIs quanto como guias auxiliares na construção do modelo do aluno. Konzen e Frozza (2000) ainda cita algumas técnicas para a implementação do modelo do aluno, tais como: aplicar reconhecimento de padrões às respostas dos alunos; considerar suas preferências e objetivos particulares; e ressaltar detalhes que o aluno costuma esquecer quanto interage com o tutor. Beck et al. (2007) aponta também a necessidade de se conhecer a capacidade de aquisição (velocidade de aprendizagem de um tópico) e retenção (frequência de acesso a um material já visto) por parte do aluno.

O modelo do aluno, segundo McTaggart (2001), abrange tanto o conhecimento do aluno como a interação dele com o STI. O diagnóstico feito pelo **modelo do tutor** usa o **modelo do aluno** para reconhecer erros, gerar e adaptar explicações ou conselhos, apresentar conteúdo personalizado, gerar problemas, e acompanhar o desempenho do aluno.

Um importante detalhe na formalização do conceito conhecimento é que na IA é comum chamar de **conhecimento** às informações que o sistema possui a respeito do domínio da aplicação. No entanto, uma noção epistemologicamente mais rigorosa do termo, define **conhecimento** como sendo **crença verdadeira e justificada** (GENESERETH; NILSSON, 1987), o que em geral não é o caso da informação armazenada em um sistema computacional. O conhecimento de um sistema especialista, por exemplo, é quase sempre sujeito a revisão e frequentemente não-justificado. Em geral, a palavra do especialista é justificativa suficiente. Assim, a rigor, seria mais correto falar em **bases de crenças** no lugar de **bases de conhecimento**. Na maioria dos sistemas, essa diferença não tem conseqüências práticas, pois o comportamento do sistema não é afetado. Por este motivo, neste trabalho, será adotado o termo base de conhecimento.

No entanto, a distinção é fundamental para a modelagem do aluno. Supor que o modelo do aluno é uma base de conhecimento implica em supor que:

- O aluno não possui concepções incorretas (o que não é razoável);
- O sistema é capaz de inferir corretamente o estado cognitivo do aluno (o que não parece uma suposição realista; na melhor das hipóteses, o modelo do aluno é uma aproximação útil).

De acordo com Genesereth e Nilsson (1987), comportamento lógico das concepções do aluno assemelha-se muito mais a uma lógica de crenças do que a uma lógica de conhecimento: as concepções estão sujeitas a revisão; o aluno não é logicamente onisciente; e sua teoria pode ser inconsistente. Além disso, o modelo do aluno é na verdade um conjunto de crenças: crenças do tutor a respeito das crenças do aluno. Este conjunto está sujeito a revisão, pois não somente as hipóteses do tutor podem estar incorretas, como também o próprio estado cognitivo do aluno muda com o tempo, em conseqüência da interação entre aluno e sistema.

Para McTargat (2001), a habilidade de um STI para distribuir apropriadamente instruções individualizadas para os alunos depende da qualidade e relevância da informação obtida da interação do aluno com o sistema e armazenada no modelo do aluno. Isto, por sua

vez, depende do tipo e nível de sofisticação da representação do conhecimento usado no sistema, e da eficácia dos métodos usados para extrair novas informações sobre o aluno e incorporá-las ao modelo do aluno. Como o conhecimento do aluno muda, o **modelo do aluno** deve incorporar dinamicamente essas mudanças. Um tutor humano está constantemente avaliando o que o aluno conhece, e está estimando uma taxa de aprendizagem para guiá-lo através do conteúdo. O problema, então, de modelar o aluno, é definir uma forma de testá-lo e avaliá-lo, e que contruir e desenvolver uma representação do conhecimento do aluno.

Segundo Everson (1995) apud McTaggart (2001), é fundamental discutir as formas nas quais as aproximações psicométricas podem ser aplicadas ao problema de modelar o aluno. Estas novas técnicas incluem o uso de modelos teóricos item-resposta, reconhecimento de padrões estatísticos, e redes de inferência Bayesiana. Construir um modelo de aluno mais efetivo terá também um impacto sobre o modelo instrucional.

2.2.3.2 *Modelo do Domínio*

Este é o módulo responsável por armazenar todo o conhecimento do especialista sobre o tema a ser ensinado ao aluno. A representação deste conhecimento pode se dar por diversas formas: redes semânticas, regras de produção, *frames*, *scripts*, orientação a objetos, lógica, dentre outras. Isto implica em dizer que o conteúdo a ser ensinado deve ser armazenado neste módulo em uma base de conhecimento, e não em uma base de dados. Este é um dos principais pontos que diferenciam ITSs de CAIs. Do contrário, o sistema teria informação sem possibilidade de “raciocinar” sobre ela para tomada de decisão.

A escolha de uma dessas formas de representação de conhecimento deve ser feita de acordo com o domínio em questão (SANCHO, 1998; POLSON; RICHARDSON, 1999). Desta forma, existem algumas classificações quanto à natureza do domínio:

- Declarativo: modela-se o conhecimento sobre o domínio usando-se casos-exemplo que resumem o conteúdo a ser ministrado e auxiliam o processo de ensino-aprendizagem através de problemas resolvidos.
- Procedural: assuntos orientados a tarefas, tais como linguagens de programação, são exemplos típicos de domínios procedimentais.
- Heurístico: descreve formas de utilizar o conhecimento (procedimental ou declarativo) na resolução de problemas, diferenciando o STI em forte ou fraco (KONZEN; FROZZA,

2000).

Várias pesquisas nesta área estão em andamento. Questões sobre como representar o conhecimento através de conceitos e modelos mentais ao invés de usar fatos e procedimentos ainda é um problema em aberto (BECK et al., 2007). A escolha sobre a forma de representação mais adequada deve recair sobre aquele método que melhor e mais facilmente atenda aos requisitos de representação e manipulação do raciocínio.

O modelo de domínio, segundo McTaggart (2001), é organizado em conhecimentos declarativos e procedurais num domínio específico. Regras de produção e redes semânticas são duas formas de armazenar o conhecimento do especialista. A forma apropriada é determinada pelo tipo e complexidade do conhecimento a ser representado. Desenvolver um modelo de domínio que forneça uma cobertura abrangente do conteúdo não é uma tarefa trivial.

A relação entre a técnica que fornece os fundamentos para se representar um domínio de conhecimento e sua implementação no sistema é um ponto-chave para se alcançar os objetivos de um STI. O método instrucional bem sucedido dependerá das representações definidas para o domínio e do modelo do aluno implementado no sistema.

2.2.3.3 Modelo do Tutor

O funcionamento básico de todo o STI recai sobre este componente. Ele é responsável por gerar toda e qualquer reação do sistema frente a uma ação do usuário. Quando um aluno faz uma requisição ao STI, o modelo do tutor é responsável por: consultar os dados deste aluno no modelo do aluno (desempenho, objetivos, motivação, etc.); selecionar uma estratégia de ensino que melhor se enquadre no perfil deste aluno e construir o material a ser exibido usando informações e documentos presentes no modelo do domínio, sendo estes igualmente escolhidos segundo a estratégia de ensino adotada. O conteúdo apresentado pode ser um tópico ainda não visto, um problema a ser resolvido ou uma ajuda sobre o tópico atual.

Beck et al. (2007) ressalta a necessidade de se ter estratégias-metas e a capacidade do STI de escolher uma delas para ensinar um domínio. Uma vez escolhida uma estratégia, é necessário definir algumas tarefas de baixo nível (*low level issues*) para concretização do uso desta estratégia. Essas tarefas estão vinculadas à aspectos que, de acordo com Half (1988), representam tutoria, currículo e instrução. Segundo este autor, o significado de currículo, neste caso, é a seleção e seqüenciamento dos recursos educacionais que serão apresentados

aos alunos, e o de instrução é a apresentação, de fato, do material aos alunos.

A decisão do tutor a respeito do conteúdo a ser apresentado ao estudante, para Beck et al. (2007), depende de três tarefas de baixo nível:

– Seleção de tópicos: ao recomendar leituras didáticas aos alunos, possivelmente um professor (visando um máximo rendimento pessoal dos alunos) escolheria tópicos diferentes para alunos diferentes, tendo em vista as limitações ou níveis de conhecimento de cada um. No caso de um STI, deseja-se o mesmo comportamento do tutor humano. No entanto, a escolha do tópico que o aluno deve estudar segue sempre a estratégia-meta aplicada ao aluno. Rever um tópico pode ser uma boa estratégia quando o aluno encontra dificuldades nele. No entanto, uma maior fixação do tema pode não ser necessária a um aluno que já tem o entendimento sobre ele, atrasando assim o seu rendimento.

– Geração de problemas: selecionado o tópico, resta a tarefa de criar questões dentro deste domínio. Novamente aqui, um tutor humano construiria vários problemas com níveis de dificuldade diferentes. Os problemas seriam distribuídos aos alunos conforme a capacidade de cada um em resolvê-los. O importante é que a dificuldade seja apropriada para o nível de conhecimento do aluno.

– *Feedback* (ajuda): pode ser que a escolha do problema, pelo STI, não tenha sido a adequada. Se isto acontecer, provavelmente o aluno encontrará dificuldades para solucionar o problema.

Provavelmente, essas são as situações mais indicadas para uma intervenção do sistema no aprendizado do aluno. Santos et al. (1997) mencionam a dificuldade para se delimitar quando e como o sistema deve tomar controle da interação. Mesmo concordando-se com uma intervenção por parte do ITS em caso de dúvidas do usuário, ainda tem-se outra dificuldade: como realizar essa intervenção? Beck et al. (2007) propõe consultas ao modelo do aluno: quanto mais bem ranqueado for o aluno em um dado tópico, mais resumida será a ajuda; por outro lado, quanto menor a habilidade do mesmo com o tópico, mais completa será a ajuda (chegando até a uma certa obviedade).

Normalmente, seleção de estratégias de ensino em alto nível não recebe muita atenção na construção de ITSs frente ao uso de tarefas de baixo nível (BECK et al., 2007). Embora pesquisas na área de educação já tenham identificado várias estratégias de ensino em potencial para ITSs (KEARSLEY, 2006), a grande maioria não identifica explicitamente as

estratégias usadas no ensino e adotam uma delas implicitamente (MAJOR, 1992). Um bom encaminhamento seria a escolha dinâmica de uma estratégia, baseada no módulo do aluno, a partir da implementação de diversas estratégias, com o propósito de uma maior personalização do ensino. Beck et al. (2007) ainda aponta a possibilidade de acrescentar informações no módulo do aprendiz a respeito da eficiência de cada estratégia aplicada a um mesmo aluno. A seguir descrevem-se algumas das estratégias de ensino mais utilizadas (KONZEN; FROZZA, 2000):

– Ensino Socrático (diálogo exploratório): o aluno deve indicar inicialmente quais os tópicos que já conhece. A partir daí, o diálogo com o tutor é explorado buscando-se aprofundar seus conhecimentos naquela área. O diálogo é conduzido através de perguntas e as conclusões devem ser tiradas pelo próprio aluno.

– Ensino reativo: o domínio a ser ensinado depende das perguntas do aluno. O material a ser apresentado é construído baseado em suas dúvidas e hipóteses, como se o conhecimento reagisse às questões levantadas pelo aluno.

– Ensino por treinamento: comumente usado em resolução de problemas, aluno e ITS trabalham juntos na solução dos mesmos. O aluno é monitorado e o ITS intervém sempre que o mesmo executa algo que não seja correto. No entanto, o sistema somente expõe sua concordância ou não com as soluções do aluno. Por vezes fornece dicas para induzi-lo a corrigir seus erros e, em último caso, mostra ao aluno como a tarefa deve ser feita.

– Ensino baseado em casos: áreas como história, biologia, geografia, psicologia, filosofia e outras de cunho descritivo têm grande dificuldade de modelagem em regras de produção. Isto porque seriam necessárias tantas delas para se modelar todo o domínio, que poderia-se inviabilizar a implementação. O uso de casos-exemplo que sumarizam o domínio é uma alternativa para estes domínios. O processo de ensino-aprendizagem ocorre através do estudo de problemas resolvidos. Esta técnica de IA procura em uma base de casos o mais semelhante ao que se encontra exposto, para que este seja solucionado.

– Ensino baseado em ambientes exploratórios: normalmente ligados a ambientes de simulação, incentiva o ensino através de situações criadas pelo próprio aluno. O tutor finaliza a interação apontando o resultado das ações do aluno dentro do ambiente.

– Ensino por orientação: privilegia uma maior liberdade e menor intervenção no

processo de aprendizagem do aluno. Quando este se encontra em uma situação difícil, faz requisições e perguntas ao tutor. Este trabalha apenas como um orientador, esperando sempre que o aluno procure para solução de dúvidas, ao invés de monitorá-lo constantemente, corrigindo-lhe erros por ventura cometidos.

– Ensino com utilização de hipertextos: o aluno navega por uma estrutura de hipertexto seguindo seus objetivos, afeições e intuições. Ao mudar o roteiro de ensino proposto, através de ligações (*links*) nos documentos, visitando outros que lhe despertou interesse, o aluno tem a possibilidade de estudar o que quer, tornando-se mais participativo e dinâmico.

– Ensino com utilização de generalização: geralmente usado no ensino de programação, instrui os alunos no desenvolvimento de programas, mostrando-lhes erros na estrutura, sintaxe e semântica, explicando o motivo dos erros e iniciando as correções.

– Ensino com utilização de acabamento: á uma evolução da estratégia de ensino com utilização de generalização. Um aluno inexperiente pode se desmotivar rapidamente ao verificar uma série de erros em seu programa e a proposição de uma única solução por parte do tutor. A estratégia com utilização de acabamentos forneceria, por exemplo, um programa parcialmente completo. Caberia ao aluno fazer modificações e extensões.

– Ensino aprender-fazendo (*learning-by-doing*): envolve alunos, professores e especialistas. Segundo Giraffa (1997), esta estratégia pode auxiliar muito no aprendizado de ambientes exploratórios, pois permite descobrir como os alunos usam os recursos de treinamento que o sistema tem disponível.

Cada uma das estratégias de ensino descritas é composta por várias táticas de ensino. Half (1988) define táticas de ensino como formas de apresentação e organização do conteúdo a ser aprendido pelo aluno. Konzen e Frozza (2000) apontam alguns exemplos de táticas de ensino:

- Uso de diferentes níveis de conceitos sobre um domínio específico;
- Uso de diferentes níveis de dificuldades em exercícios sobre um domínio específico;
- Uso de diferentes formas de exemplos em um domínio específico.

Ohlson (1987) apud Vicari e Giraffa (2003) também aborda uso de táticas de ensino que podem ser empregadas por ITS (preferencialmente aplicadas às áreas de ciência exatas). As

táticas sugeridas são, conforme Vicari e Giraffa:

– Tática de apresentação do objetivo: consiste na definição de termos necessários para a descrição do processo computacional necessário para induzir o aluno à recordação. Recordação é um dos passos envolvidos no raciocínio indutivo baseado na observação e descoberta.

– Tática de apresentação de precursores: um precursor é uma habilidade que o aprendiz deve ter antes de tentar aprender um processo. Não precisa ser um pré-requisito. O tutor apenas relembra como uma situação semelhante já foi resolvida. O Processo de lembrança dos passos utilizados na solução de problemas similares pode ser feito através da revisão e da marcação dos passos que já são familiares ao aluno [...]

– Tática de representação de propósitos: consiste em esclarecer, para o aluno, um determinado procedimento, ou seja, o que se pode alcançar através de um procedimento. O tutor pode descrever o propósito de um novo procedimento, levando em conta o seu objetivo e o resultado esperado com sua aplicação. Os procedimentos já utilizados podem ser exibidos como contra-exemplos no que concerne às limitações dos anteriores em face ao novo procedimento oferecido.

– Tática de apresentação de justificativas: um tutor pode justificar um procedimento através de anotações, relacionando cada passo executado na busca da solução de um problema. Pode fazer uso de procedimentos equivalentes, desde que já tenham sido descritos e justificados.

– Tática de relacionamento de erros (*bugs*): se aplica de forma intencional de modo a marcar o passo errado gerado durante a execução de um processo, ou seja, o conhecimento é todo estruturado e associado a uma coleção de erros que permitam identificar quais os pontos onde o aluno apresenta dificuldades ou falsas concepções.

– Tática de relacionamento de solução do aluno: o tutor pode induzir o aluno a fazer uma auto-verificação, ou seja, fazer uma verificação dos passos que seguidos, descobrir as possíveis causas do erro, buscar explicações e a identificação do erro ocorrido.

De qualquer forma, inúmeras outras táticas de ensino podem ser aplicadas na implementação de uma estratégia de ensino. Da mesma forma, se pode definir um conjunto de táticas que atendam a determinada estratégia.

2.2.3.4 Interface

A interface é a responsável pela interação aluno-computador. Uma dos focos de pesquisa é encontrar a melhor forma de apresentação do conteúdo ao usuário. Isto implica na decisão correta da metáfora a ser usada na interação com o estudante.

O projeto de interfaces para aplicativos toma novos rumos com o surgimento da Web e a popularização da Internet, em 1993 (FERREIRA FILHO, 2005). O marco desta transformação foi o lançamento da primeira versão do navegador Mosaic desenvolvido por Marc Andreessen e Eric Bina no *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA) da Universidade de Illinois (BANK, 2004). Conforme Ferreira Filho (2005, p.49):

Este software possibilitava navegar pela Internet através de uma interface gráfica. Neste momento, surge o embrião do acesso a conteúdo multimídia pela Web expandindo a criação de Berners-Lee (2005) e dando fim à primeira parte da história iniciada por Bush (2005) e Nelson (2005), que possibilitaria o tráfego de conteúdo como imagens, textos, sons e vídeos através de uma rede com dispositivos heterogêneos usando HTML.

Apesar do avanço das técnicas de implementação de interfaces, para sistemas hipermídia adaptativos e para STI, o tema **interface homem-computador** continua sendo uma importante área de pesquisa nas Ciências da Computação (McTAGGART, 2001). Uma boa interface irá antecipar a ação do usuário, ser consistente, prover um alto nível de interação, podendo fazer uso de metáforas (OREY; NELSON, 1993 apud McTAGGART, 2001). Ainda, segundo McTaggart, o aluno deve se familiarizar com a interface ao longo do uso do sistema, com isto, qualquer carga cognitiva adicional deve ser minimizada.

Um exemplo de alto grau de interação entre sistema e aluno pode ser observado no projeto KERMIT¹⁸ (SURAWEERA; MITROVIC, 2004), onde, através da interface, o aluno pode visualizar problemas propostos, construir diagramas Entidade-Relacionamento (ER) em uma ferramenta CASE¹⁹ do STI, receber explicações e ajuda sobre os problemas. Suraweera e Mitrovic alertam para o fato de que os alunos não podem se sentir restringidos pela interface e ela não pode interferir no desempenho dos alunos.

A interface é importante como um meio de comunicação entre aluno e STI, como um ambiente de resolução de problemas (o aluno resolve problemas ou executa tarefas na interface) e como elo de ligação entre os demais componentes do sistema: os modelos do

¹⁸ O KERMIT é um STI aplicado a área de banco de dados, particularmente à modelagem conceitual de base de dados usando o modelo Entidade-Relacionamento (ER)

¹⁹ Acrônimo para Computer Aided Software Engineering.

tutor, do domínio e do aluno.

Vicari e Giraffa (2003) destacam a importância da interface, revelando que a interface é vital para STIs e que “a questão da interação cresce de importância nesta classe de sistemas, pois é na interação que o sistema tutor exerce duas de suas principais funções: a apresentação do material instrucional e a monitoração do progresso do estudante através da recepção da resposta do aluno.”

A monitoração das ações do aluno, no STI, ocorre, de acordo com Vicari e Giraffa, de duas formas:

- Através da análise do histórico do estudante, ou seja, de uma sessão²⁰ para outra e;
- no nível do diagnóstico circunscrito a uma sessão.

Observa-se que o papel da interface, na monitoração do aluno, está vinculado ao diagnóstico de uma sessão de usuário (do aluno), e que esta sessão diz respeito ao seu comportamento no sistema, isto é, que problemas ele acessou, em quais conteúdos multimídia ele clicou, que tipo de ajuda foi solicitada. De forma sucinta, o diagnóstico de uma sessão é a monitoração da interação entre STI e aluno, levando-se em conta o acesso ao material instrucional ou qualquer outro recurso acessível através da interface do sistema.

As possibilidades na apresentação do material instrucional têm avançado com a utilização de ambientes hipermediáticos. Neste panorama, traz-se a opinião de Moran (1998), de que construir conhecimento hoje significa compreender todas as dimensões da realidade, captando e expressando essa totalidade de forma cada vez mais ampla e integral. Acredita-se hoje que o processo de construção do conhecimento é mais bem desenvolvido quando se conecta, junta, relaciona e acessa o objeto de todos os pontos de vista, por todos os caminhos, integrados da forma mais rica possível (FERREIRA FILHO, 2003-b). O termo hiperídia é utilizado quando as informações conectadas compreendem, além de texto, material gráfico, recursos de vídeo, animação, som, animações e simulações. Essa variedade de recursos, aliada à possibilidade de percorrer o material de maneira vinculada à semântica do conteúdo, fazem dos sistemas de hiperídia uma ferramenta de alto potencial para apresentação do material instrucional em STIs (VICARI; GIRAFFA, 2003).

²⁰ O início de uma sessão em um ambiente computacional é quando o aluno entra no sistema, geralmente usando um nome de usuário e senha. O fim da sessão é quando o aluno sai do sistema.

2.3 USO DE STIs NO ENSINO DE ENGENHARIA

Foram realizadas pesquisas nas bases de dados que compõem o Portal de Pesquisas²¹ da CAPES, com o objetivo de verificar a existência de softwares ou pesquisas que abordassem o uso de STIs no ensino de Engenharia. As bases de dados, disponíveis neste sistema de busca, estão indexadas pelas grandes áreas do conhecimento²², sendo que algumas delas apresentam relação direta com os domínios do conhecimento vinculados à Tese (Ciência da Computação, Educação e Engenharia Civil). Desta forma, pode-se usar as grandes áreas de conhecimento, que englobam os domínios citados, como parâmetro para a busca.

O critério de busca aplicado foi a utilização da palavra-chave *tutoring system*, por ser um termo que define a classe genérica de software que está sendo implementado nesta Tese. Realizou-se uma busca cruzando este termo com as grandes áreas definidas pelos domínios vinculados à Tese (Engenharias, Ciências Humanas e Ciências Exatas e da Terra). Na Tabela 1 tem-se o resultado quantitativo das buscas, com o uso de filtro por grande área, tendo como palavra-chave o termo *tutoring system*. Constatou-se que, no caso das buscas para as grandes áreas Engenharias e Ciências Exatas e da Terra, alguns registros eram comuns a ambas as buscas. Contudo, fica evidente que as pesquisas sobre STIs são mais numerosas nas áreas exatas do que nas humanas.

Ao se acrescentar os termos *Civil Engineering* e *Geotechnical*, definidos através de uma busca *booleana*, o resultado foi de zero registros. Conclui-se que dos registros encontrados pela busca inicial, no sistema de busca do Portal de Pesquisa da CAPES, nenhum trabalho refere-se ao uso de STIs em Engenharia Civil ou Engenharia Geotécnica. Em publicações tradicionais como por exemplo a revista indexada *Professional Issues in Engineering Education and Practice*²³ foi encontrado um único trabalho científico associado a STI. Porém, aplicado à Engenharia Mecânica. Já na publicação *Journal of Computing in Civil Engineering*²⁴ foram encontrados três registros de STI na área da Engenharia Civil. Contudo, nenhum trabalho vinculado à Engenharia Geotécnica.

²¹ Portal Web que permite acesso a várias bases de dados de bibliotecas e instituições, no Brasil e no mundo, acessível no endereço <http://www.portaldapesquisa.com.br>.

²² As grandes áreas, de acordo com a classificação do CNPq, são: Ciências Biológicas, Ciências da Saúde, Ciências Agrárias, Ciências Sociais Aplicadas, Engenharias, Ciências Humanas, Ciências Exatas e da Terra, Linguística, Letras e Artes e Outros. Disponível em <http://www.cnpq.br/areasconhecimento/index.htm>.

²³ Publicada pela *American Society of Civil Engineers* – ASCE.

²⁴ Publicada pela *American Society of Civil Engineers* – ASCE.

Tabela 1: Resultados da busca avançada no Portal de Pesquisa da CAPES.

Grande Área	Engenharias	Ciências Humanas	Ciências Exatas e da Terra	Total de Registros
Palavra-chave	tutoring system	tutoring system	tutoring system	
Registros encontrados	2293	993	2354	5640

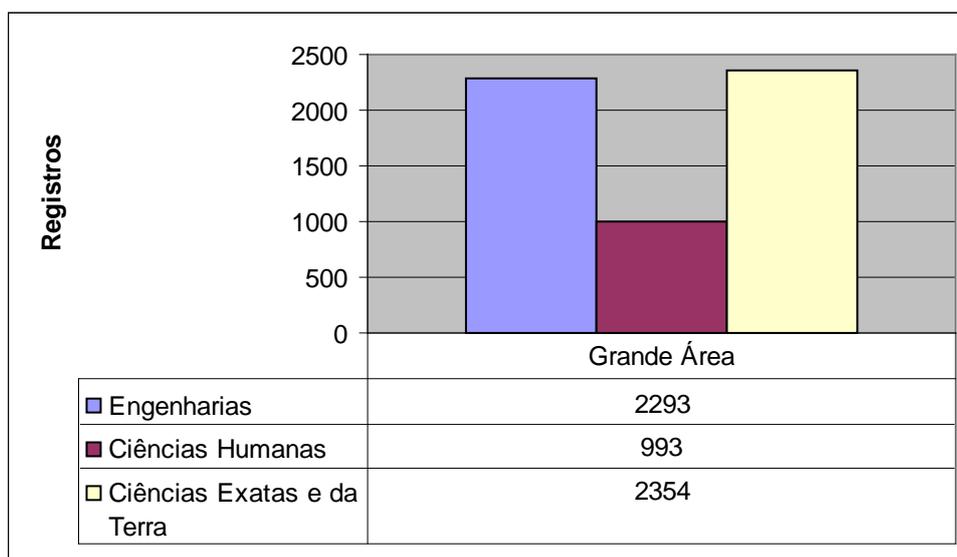


Figura 9: Gráfico comparativo dos resultados da busca no Portal de Pesquisa CAPES

3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

Identificou-se na revisão de literatura as características desejadas no futuro profissional de Engenharia, bem como possíveis meios para se privilegiar o desenvolvimento destas características. O aprendizado por projetos (NOBRE et al., 2006; PAHL, 2005; TIMM, 2005; ZABALA, 2002; NAVEIRO, 2001; NAVEIRO; OLIVEIRA, 2001; OLIVEIRA, 2001; SOUZA FILHO; CASTRO, 2001; AMORIN; MARTINS FILHO, 2001; MEDEIROS, 2001) é indicado como uma forma de ensinar Engenharia levando-se em conta as necessidades de formação do engenheiro e o desenvolvimento das habilidades desejadas nesse profissional.

Com o intuito de testar essa hipótese, foi implementada no STI a metodologia de aprendizado por projetos valendo-se de uma interface (bem como uma camada de controle que contém outros módulos da aplicação) onde o aluno executa tarefas relacionadas a atividade de projetar.

Ao longo da interação com a interface do STI, os alunos desenvolvem e representam o raciocínio usado na solução do problema, de forma que sejam estimulados a fazer a síntese do conhecimento necessário para se realizar um projeto de fundações. Os detalhes da metodologia de aprendizagem por projeto estão presentes na implementação dos módulos do STI, que são detalhados nos itens 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4.

Partindo-se da definição da técnica de ensino, definiu-se o escopo da aplicação. O conteúdo abordado trata do problema da escolha do tipo de fundação. A solução de um problema de fundações envolve várias fases, nas quais a escolha do tipo de fundação é a mais crítica, por envolver além o domínio do conteúdo de mecânica dos solos, análise crítica e equacionamento do problema, fundamentado na experiência prática. Esta fase envolve, portanto, conhecimento heurístico, regras e estratégias de raciocínio obtidos na observação e análise de situações semelhantes ocorridas no passado, obtidas da prática profissional ou estudo teórico de casos documentados. No caso do aluno de Engenharia, ele provavelmente não conta com o conhecimento tácito proveniente da atuação profissional e, conseqüentemente, terá mais dificuldade em resolver um problema do que um profissional experiente.

Em função das características e habilidades exigidas de um engenheiro, no que diz

respeito às ações executadas no encaminhamento de uma solução viável para o problema da escolha do tipo de fundação, sugere-se que o exercício cognitivo associado a esta atividade privilegie o desenvolvimento das habilidades e características desejadas no perfil do futuro profissional de Engenharia, apresentadas no item 2.1 e em consonância com a metodologia de aprendizagem baseada em projeto (item 2.1.3.3).

3.1 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS NO CONTEXTO DA ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES

Um problema caracteriza-se por três situações temporais: uma situação inicial indesejada que representa o problema a ser resolvido; um resultado desejado; e as limitações, num dado momento, que impedem a transformação da situação inicial indesejada no resultado esperado. Nesse sentido, deve-se compreender as condições de contorno que envolvem o projeto de fundações, particularizado para o problema da escolha do tipo de fundação. Esse é o domínio que está implementado no STI e dele derivam as situações-problema que são apresentadas aos alunos.

A escolha do tipo de fundação pode ser considerada um subproblema central, na solução do projeto de fundações por centrar-se na experiência anterior, onde o acúmulo de conhecimento: características e condições construtivas, bom ou mau comportamento de certo tipo de solução adotada para a condição específica, problemas executivos enfrentados com o solo ou perfil em questão, comprovação de sucesso ou insucesso de determinados procedimentos, impacto ambiental associado à técnica escolhida, etc. constitui-se em elemento valioso na solução do problema.

De um modo geral, a solução de um problema de fundações a partir do projeto pode ser considerado como constituído das seguintes fases:

- caracterização da estrutura que será suportada pelas fundações;
- determinação do carregamento (solicitações);
- determinação da ocorrência e do comportamento do solo (investigação do subsolo);
- escolha do tipo de fundação;
- projeto propriamente dito, ou dimensionamento.

As fundações podem ser definidas como elementos estruturais de transição entre a estrutura de uma construção e o solo sobre o qual ela se apoia, a fim de transmitir com segurança, as solicitações oriundas da construção. São incluídas nas solicitações que atuam numa fundação, além de seu peso próprio, o peso próprio da construção e todas aquelas que podem atuar ao longo de sua vida útil.

– O mecanismo de interação que ocorre entre o solo e a estrutura de fundações para transmitir as solicitações, é considerado seguro, quando:

- é garantido que o solo não sofrerá ruptura;
- é garantido que as deformações no solo serão compatíveis com as deformações que a construção admite;
- é garantido que os elementos estruturais das fundações não sofrerão colapso.

De um modo geral, os diferentes tipos de fundações são classificados em dois grandes grupos, de acordo com a forma de transferência da carga ao solo:

Fundações superficiais ou diretas são elementos de fundação que transmitem a carga ao terreno, predominantemente através de sua base. As fundações superficiais incluem os seguintes tipos de fundação: sapatas (isoladas, associadas e corridas), blocos, radier e vigas de fundação.

Fundações profundas ou indiretas são elementos de fundação que transferem a carga ao terreno ao longo de sua superfície lateral (resistência de fuste) e/ou pela base (resistência de ponta). As fundações profundas incluem as estacas e os tubulões.

As estruturas apresentam uma grande variedade de tipos: residências unifamiliares (térreas ou assobradadas), edifícios residenciais, comerciais, prédios industriais, depósitos, armazéns, pavilhões, coberturas, viadutos, pontes, silos, bases de obras provisórias, bases para radar, equipamentos de precisão, estações elevatórias de água ou esgoto, linhas de transmissão de energia elétrica, e outras.

Na Tese a classificação das estruturas baseia-se em AZEVEDO (1999), para fins de projeto de fundações, em 4 grupos, por necessidade de desenvolvimento do sistema:

- TIPO 1: são aquelas estruturas cuja segurança e função para a qual se destinam não é afetada pela ocorrência de eventuais recalques, como por exemplo: armazéns, depósitos,

pavilhões e coberturas em geral.

– TIPO 2: são estruturas de obras correntes residenciais ou comerciais, tais como: prédios de apartamentos, prédios de escritório ou mistos.

– TIPO 3: são aquelas estruturas cuja segurança ou função para a qual se destinam é afetada pela ocorrência de eventuais recalques; são também chamadas de estruturas sensíveis a recalques. São exemplos deste tipo de estrutura: equipamentos e instalações industriais, tais como impressoras modernas, equipamentos com necessidade de manutenção de horizontalidade e/ou verticalidade rigorosa (balanças de precisão e base de radar), pontes rolantes.

– TIPO 4: são estruturas únicas e especiais, com características de solicitações e desempenho que não se enquadram nos tipos anteriores e que podem ser submetidas a situações de carga muito elevadas.

A solução de qualquer projeto de fundação requer, inicialmente, a caracterização do nível de carregamento (grandeza), tipo (compressão, tração, horizontal, vertical, inclinada) e atuação das cargas (permanente, acidental) que devem ser transmitidas ao solo através das fundações. (AZEVEDO, 1999; HACHICH, 1998)

As informações necessárias sobre o carregamento são, geralmente, provenientes do projeto estrutural da construção. As solicitações sobre as fundações devem considerar todas as características específicas do problema, tais como: cargas permanentes, acidentais, peso próprio, ação de água (subpressão e empuxo), vento e outras solicitações geradas nas etapas construtivas e vida útil da obra.

Na Tese, contudo, o tipo de carregamento foi limitado à carga vertical, axial, e centrada de compressão. Durante a interação do aluno com o STI, no processo de solução do problema, as informações de projeto mostram apenas a carga média aplicada em pilares (Figura 8). Da mesma forma, sistema utiliza para a escolha dos tipos de fundações a carga média aplicadas nos pilares.

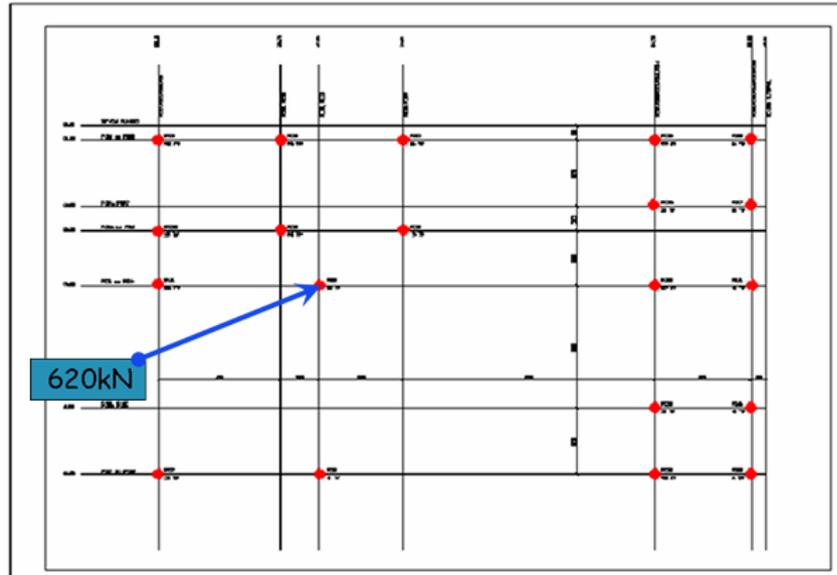


Figura 10: exemplo de informação de projeto relativo a carga média aplicada em pilares.

Conhecido o valor médio da carga de compressão nos pilares, o mesmo pode ser classificado em cinco níveis: muito baixo, baixo, médio, alto e excepcional, conforme tabela abaixo.

Tabela 2: Classificação das cargas em função do valor médio

VALOR MÉDIO DA CARGA (P) (em toneladas)	CLASSIFICAÇÃO DO CARREGAMENTO
$P \leq 10$	MUITO BAIXO
$10 < P \leq 50$	BAIXO
$50 < P \leq 100$	MÉDIO
$100 < P \leq 300$	ALTO
$P > 300$	EXCEPCIONAL

As cargas provenientes da estrutura são transmitidas ao solo através das fundações, portanto, conhecer o subsolo em termos de suas características de resistência e compressibilidade é fundamental para escolher o tipo de fundação e projetá-lo adequadamente. É a partir dessas informações que o engenheiro de fundações avalia as condições de comportamento do solo, sob carga.

As informações sobre o subsolo são obtidas através de investigação do mesmo. O nível da investigação é função da complexidade do problema, tipo da obra e avaliação do risco que

uma investigação deficiente das condições do subsolo terá sobre o custo da solução.

Na Tese, com o objetivo de facilitar a análise das condições do subsolo, considera-se o mesmo como constituído de cinco camadas de referência (superficial, subsuperficial, intermediária, profunda e muito profunda) em função da profundidade.

A Figura 11 apresenta o modelo do subsolo adotado pelo especialista. Este modelo é adotado como referência na Tese, a fim de facilitar e simplificar as futuras considerações que serão feitas sobre o subsolo.

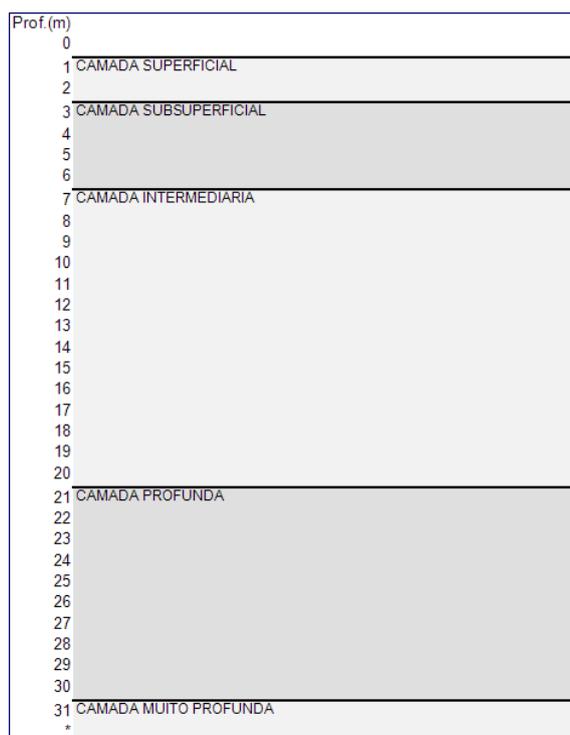


Figura 11: representação do modelo do subsolo

A investigação de campo mais difundida no Brasil, para obtenção de informações do subsolo, é a Standard Penetration Test (SPT). Esse teste fornece informações da estratigrafia do solo e a partir de correlações pode-se obter um valor para sua capacidade de carga. As informações obtidas na sondagem referem-se à identificação das camadas do subsolo, profundidade do lençol freático e ao índice de resistência à penetração (N_{SPT}) para a determinação qualitativa das condições de compacidade e consistência dos solos.

A partir dos valores do índice de resistência à penetração (N_{SPT}), geralmente medidos a cada metro de avanço da sondagem, pode ser inferida, empiricamente, a resistência de cada camada de solo.

Para definir a resistência de cada camada do subsolo (ver modelo, Figura 11), são considerados os valores do índice de resistência à penetração pertencentes à camada e, a partir deles, é definido um valor do índice (N_{SPT}) representativo da camada.

Eventualmente, com base nas informações da sondagem SPT do subsolo, o engenheiro de fundações pode julgar necessárias investigações complementares, a fim de conhecer melhor o comportamento do solo. As investigações complementares podem ser feitas através de amostras indeformadas ou parcialmente deformadas para ensaios de laboratório, ou através de ensaios de campo, tais como: prova de carga direta no terreno, ensaio de palheta (Vane Test), penetração estática (Cone) ou ensaios pressiométricos.

Na Tese, optou-se por limitar o sistema a trabalhar com informações de SPT até 20 metros de profundidade baseadas no modelo simplificado do subsolo (camadas superficial, subsuperficial e intermediária). Esta escolha justifica-se no fato de que em projetos usuais de engenharia as fundações são normalmente executadas até profundidades em torno de 20 metros. Procura-se no sistema, centrar o aprendizado a casos usuais, pois problemas de maior complexidade devem ficar a cargo de especialistas, não sendo foco desta pesquisa.

Além dessas considerações, o sistema trabalha com apenas uma fonte de informação sobre o subsolo: a sondagem SPT. As informações desse tipo sondagem (Figura 12) estão disponíveis para o aluno, sendo que para cada problema de projeto se tem um resultado de SPT, e do perfil de sondagem pode-se abstrair os dados para serem usados no encaminhamento da solução do problema. A alternativa do usuário resolver o problema corretamente, porém sem considerar as características do subsolo não é aceita no sistema, pois a o ato de projetar sem as informações mínimas necessárias não representa prática corrente e não é recomendada.

Conhecidos o nível de carregamento, o tipo de estrutura e as condições do subsolo, o engenheiro de fundações faz uma análise crítica do problema, buscando encontrar uma solução que atenda as condições impostas por critérios de desempenho adequados da fundação, custos mínimos e viabilidade de execução.

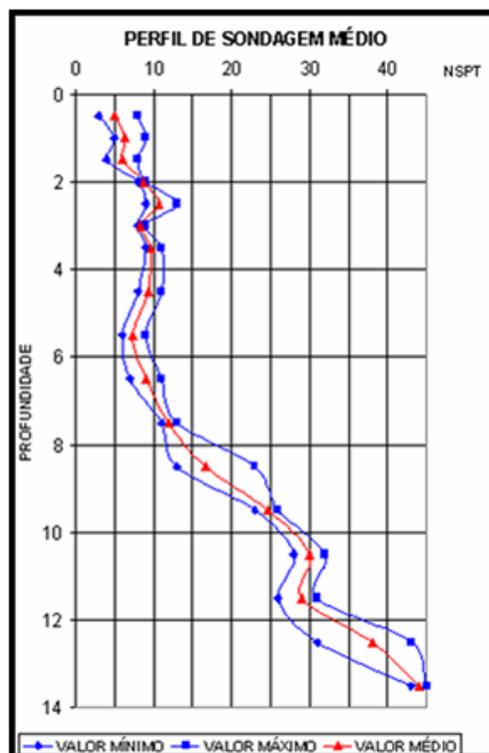


Figura 12: perfil de sondagem SPT

Nesta análise são utilizados pelo engenheiro de fundações seus conhecimentos teóricos da Mecânica dos Solos (segurança à ruptura e recalques), conhecimento sobre execução e comportamento dos diferentes tipos de fundações, normas e códigos específicos referentes às fundações, sua experiência de casos anteriores semelhantes, regras empíricas, práticas (conhecimento heurístico), casos de obras semelhantes, fatores econômicos e condições de contorno da obra, tais como: condições da vizinhança; disponibilidade de equipamentos e pessoal técnico experiente, bem como condições de acesso, espaço disponível para a utilização do equipamento, disponibilidade de energia elétrica; disponibilidade de materiais na região para executar as fundações, como água, materiais para concreto moldado no local, pedras de alicerce, presença de usina de concreto, fornecedores de pré-moldados, elementos metálicos, etc.; prática regional; prazo necessário de execução; volume de serviços, com implicações da instalação de equipamentos especiais no canteiro.

Como função dos itens listados no parágrafo anterior, a escolha do tipo de fundação pode ser considerada em duas etapas denominadas:

- análise das soluções tecnicamente viáveis;
- solução final.

Na análise das soluções tecnicamente viáveis o engenheiro de fundações seleciona todos os tipos de fundações (superficiais ou profundas) que satisfazem as condições que caracterizam o problema (carregamento, comportamento da estrutura e comportamento do solo). A partir desta seleção é, então, definida a solução final de projeto.

Na solução final de projeto, faz-se uma análise do contexto do problema e escolhe-se aquele tipo de fundação, dentre as soluções tecnicamente viáveis selecionadas na etapa anterior, que melhor responde às condições do problema, em termos de desempenho, custo e execução. A Figura 13 esquematiza o processo de escolha do tipo de fundação descrito neste capítulo, empregado pelo engenheiro de fundações na solução de problemas reais. Este diagrama é uma simplificação do mapa conceitual apresentado na Figura 3. Escolhido o tipo de fundação, são feitos o dimensionamento e o detalhamento da solução final de projeto, o qual não será descrito, por não incluir-se nos objetivos deste trabalho.

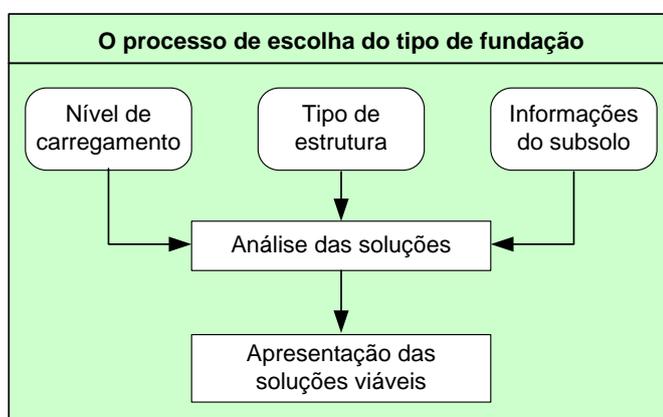


Figura 13: processo de escolha do tipo de fundação. Adaptado de Azevedo (1999, p.121)

Considerando o tempo e o esforço de desenvolvimento, ficou estabelecido que os problemas de escolha de tipos de fundação, implementados no STI, levariam em consideração os tipos de fundações tecnicamente adequados às condições do subsolo, nível de carregamento e tipo de estrutura (análise das soluções viáveis), deixando de considerar as condições que atuam nas restrições de possibilidades e, portanto, na definição da solução final.

No procedimento para definição da solução, o aluno deve selecionar os tipos de fundações tecnicamente adequados (superficiais e/ou profundas) a partir das condições de carregamento, comportamento da estrutura e do solo, os quais consistem-se nas informações que o engenheiro utiliza na solução de problemas reais de fundações.

Em síntese, o STI procura reproduzir a realidade vivenciada pelo profissional da Engenharia de Fundações ao realizar a tarefa de escolher as soluções tecnicamente viáveis (primeira etapa da escolha do tipo de fundação). A implementação realizada propõe confrontar o aluno com as situações que ele encontrará quando estiver atuando profissionalmente na análise das soluções tecnicamente viáveis que devem ser apresentadas como solução de um problema escolhido no sistema. Nesse sentido, para corroborar, ou não, se o STI apresenta adequadamente o cenário adequado para o ensino de Engenharia de Fundações e atende ao rigorismo conceitual inerente ao domínio, realizou-se um pesquisa qualitativa com um especialista da área²⁵.

A simulação da atividade profissional é proporcionada pela apresentação de problemas de projeto para serem resolvidos ao longo da utilização do STI. O objetivo do aluno é encaminhar soluções tecnicamente viáveis para esses problemas. Esse é o escopo geral da estratégia. Contudo, para pôr em prática a estratégia de aprendizagem por elaboração de projetos usa-se como subterfúgio algumas táticas de ensino (item 2.2.3.3) vinculadas com as formas de apresentação e organização do conteúdo a ser aprendido bem como com o diálogo entre o STI e o aluno. Essas táticas são coordenadas pelo modelo do tutor, sendo que a implementação é vista no item 3.2.3.

Partindo-se do conteúdo que se quer ensinar e assumindo-se que a estratégia pedagógica de aprendizagem baseada em projetos (ABP) trata de forma apropriada as questões formuladas sobre a formação do engenheiro contemporâneo, nos próximos itens se tem a visão geral da arquitetura do STI, julgada a mais adequada para por em prática a ABP, e detalha-se a implementação de cada componente da estrutura do sistema.

3.2 VISÃO GERAL DA ARQUITETURA ADOTADA

Uma vez definida a estratégia educacional como sendo a ABP 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.

²⁵ A entrevista com as perguntas e repostas e a identificação do entrevistado está no Anexo B. A pesquisa resumiu-se a um entrevistado em função da qualificação - exposta no anexo - profissional e docente desse especialista.

A arquitetura adotada para construir o STI foi a clássica (ver Figura 4), onde o modelo do aluno baseou-se na técnica de *overlay* (item 2.2.3.1), o modelo do domínio baseou-se nas regras do Sistema Especialista de Azevedo (1999) e no repositório de Objetos Educacionais para Engenharia de Fundações de Ferreira Filho (2005) e o modelo de tutor foi fundamentado na ABP e na experiência docente do Professor Doutor Fernando Schnaid²⁶.

Uma visão mais abrangente pode ser visualizada na Figura 14, onde pode-se observar o modelo do domínio, do aluno e do tutor, e a máquina de inferência *Java Expert System Shell* (JESS), que tem a função de analisar os fatos obtidos através da interação do aluno com a interface e encontrar as regras que possam ser usadas para esse conjunto de fatos.

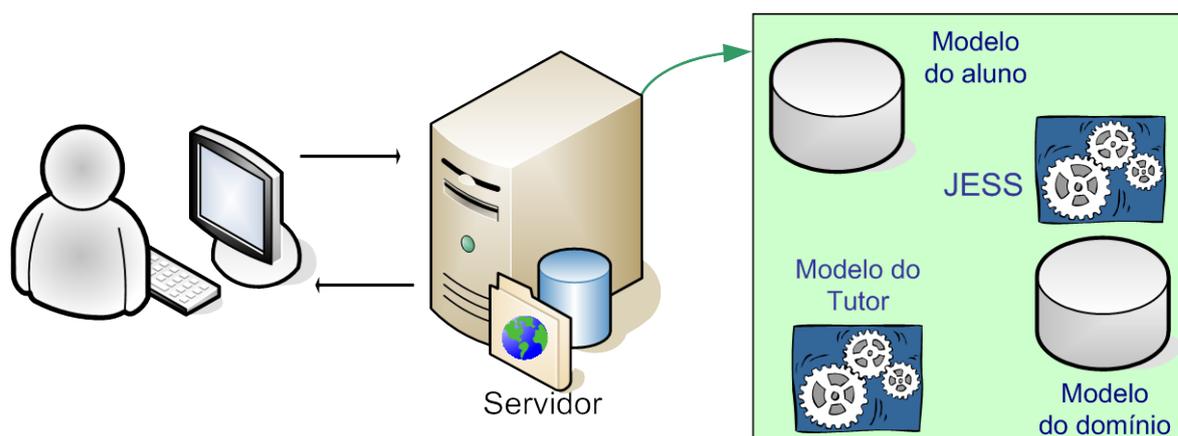


Figura 14: Visão geral do STI na Web, usando a máquina de inferência JESS

As principais características do STI desenvolvido foram identificadas no item 2.2 e são aqui sintetizadas com base nas recomendações do relatório técnico do *Office of Technology Assessment* (U.S. CONGRESS, 1988), órgão do governo dos Estados Unidos, que identifica os tópicos que devem nortear o desenvolvimento e implementação de um STI:

- Entendimento de como alunos e especialistas solucionam problemas, afim de desenvolver um mecanismo que permita ao STI gerar o modelo de aluno e personalizar a instrução;

²⁶ Ph.D. em Engenharia Civil pela Universidade de Oxford, Inglaterra, e Pós-Doutorado pela Universidade de Western Austrália, é hoje professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Atua como pesquisador do CNPq e dedica-se a atividades de ensino, pesquisa e consultoria nas áreas de investigação geotécnica, fundações e geotécnica ambiental. Na UFRGS coordena o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e o Laboratório de Ensaios Geotécnicos e Geoambientais, tendo orientado mais de 40 teses de mestrado e doutorado. É professor visitante de universidades na Inglaterra, Escócia, Austrália, Argentina e Uruguai. Autor de outros 3 livros, sua produção envolve ainda mais de 100 trabalhos técnicos publicados nacional e internacionalmente. Sua participação foi fundamental na concepção dos enunciados dos problemas e nas táticas associadas à estratégia pedagógica implementada, resultando em um comportamento que simula a didática do professor.

- Definição de estratégias e táticas baseadas na tutoria humana, ou seja, habilitar o STI a intervir na ação do aluno (quando interromper, quando explicar, quando apresentar conteúdo complementar ou quando apresentar outro problema);
- Representação de sistemas reais onde os alunos poderão manipular, 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.

Com base nessas definições, detalha-se, nos próximos itens deste Capítulo, as técnicas computacionais usadas na implementação do STI desenvolvido nesse trabalho.

3.2.1 Implementação da Interface

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 (a revisão sobre o tema foi realizada no item 2.2.3.4) derivou-se dos pressupostos identificados nesses dois aspectos, sendo que as proposições foram definidas a partir de uma análise de requisitos²⁷ que estabeleceu o funcionamento geral do sistema. No Quadro 2 apresenta-se esses requisitos e as condições impostas por cada um. Já na Figura 15 é apresentado o diagrama dos mesmos requisitos funcionais, no entanto, explicitando as relações entre si. Essas foram as condições que delinearam o desenvolvimento da interface do STI.

A partir dos requisitos definidos para a interface²⁸, identificou-se as ações do aluno no

²⁷ A análise de requisitos, bem como o desenvolvimento do STI, seguiu os conceitos de modelagem de sistemas computacionais apoiados pela linguagem UML (Unified Modeling Language).

²⁸ Julgou-se adequado inciar a descrição da implementação pela interface, pois dela derivam as características e comportamentos que definem a implementação dos outros módulos do STI.

STI e o contexto das interações. Essas ações foram modeladas em um diagrama, chamado Diagrama de Caso de Uso (Figura 16), que explicita de forma simples o comportamento externo do sistema, pelo ponto de vista do usuário. Ele se refere a funcionalidade proposta para o sistema, onde cada caso de uso registrado no diagrama tem uma descrição que apresenta as funcionalidades que guiaram a implementação da interface e do sistema em geral. Essas informações são apresentadas na Quadro 3, onde se tem um conjunto de elementos que explicitam a sequência de eventos vinculadas ao uso do STI por um dado aluno.

Quadro 2: Descrição textual dos requisitos da interface.

Nome	Descrição funcional
 Interface	Raiz das análises dos requisitos funcionais para a interface.
 Solução	O sistema deve prover um meio para o aluno representar formalmente o raciocínio usado para resolver o problema e definir uma solução viável.
 Explanação	O sistema envia mensagens em reação às ações executadas pelo aluno no STI.
 Problemas de Projeto	Aluno escolhe problema para resolver.
 Login	O sistema necessita que o usuário registre a sessão através de nome de usuário e senha.
 Enunciado	Os problemas são apresentados em forma de enunciado que simula uma situação real profissional.
 Conteúdo Instrucional	O sistema sugere conteúdo ao aluno na forma de dicas ou informando o link para conteúdo do repositório de Objetos Educacionais.
 Anotações	O sistema retorna os registros de anotações sobre o conteúdo realizadas pelo aluno no STI.
 Sessão do usuário	A partir do Login o sistema deve abrir e manter uma sessão de usuário.
 Diálogos	O STI pode questionar, pôr em dúvida ou corroborar as ações do aluno através de diálogo textual. Esse diálogo, na verdade, é uma comunicação composta por ações do aluno e finalizada por respostas às ações por meio de texto.
 Não fornecer valores	O enunciado deve apresentar o problema sem apresentar objetivamente os parâmetros. Espera-se, dessa forma, fazer com que o aluno exercite a habilidade de identificação de variáveis e verificação das condições estabelecidas pelo problema.

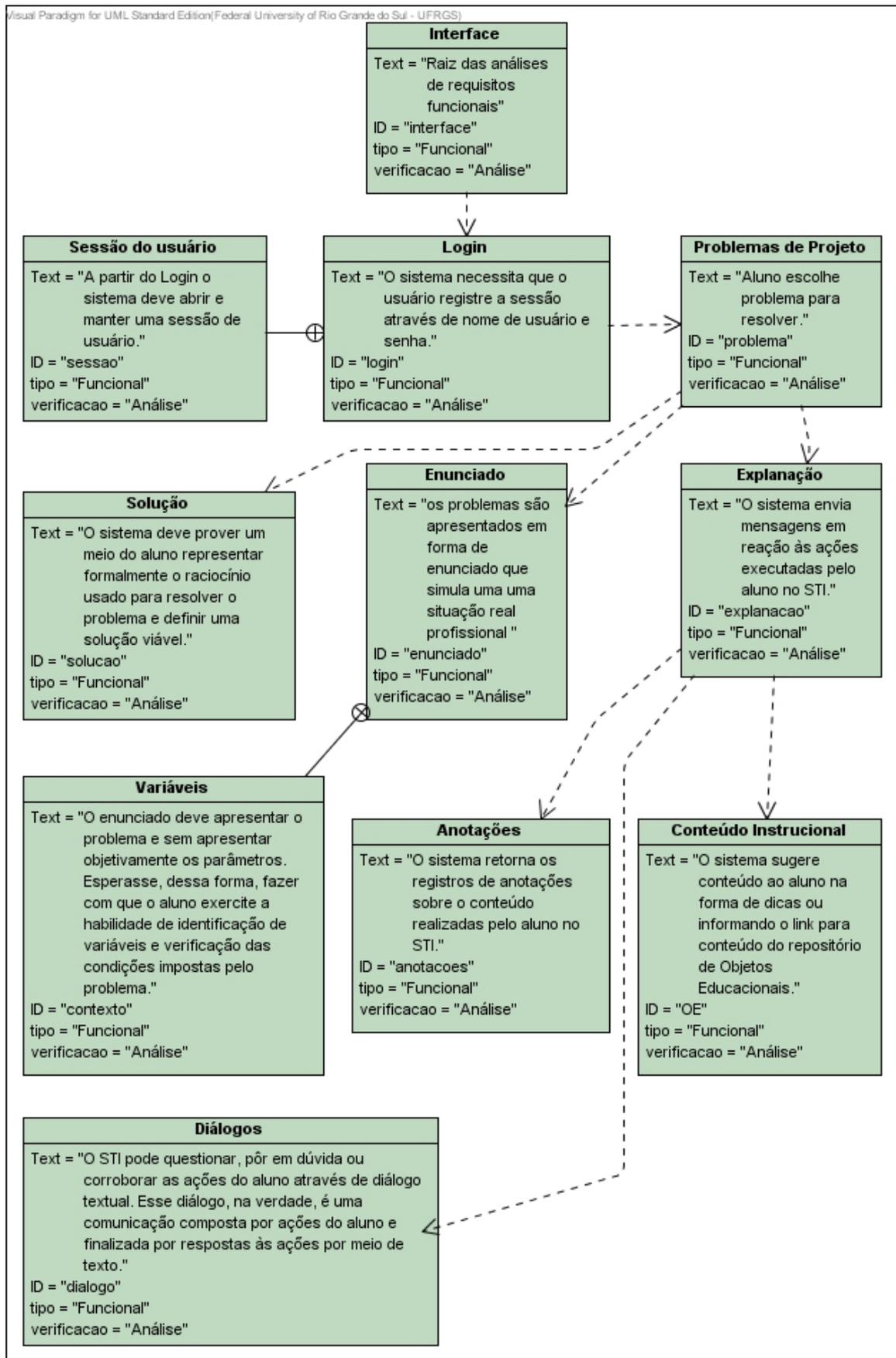


Figura 15: Diagrama de requisitos funcionais da interface e suas relações.

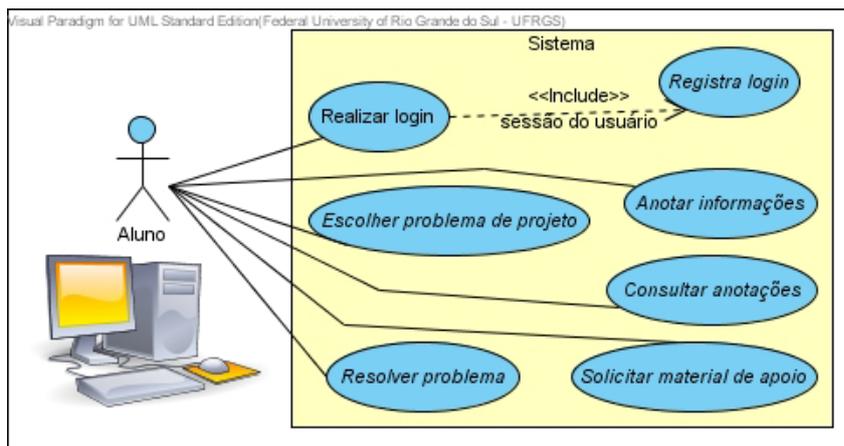


Figura 16: Diagrama de Casos de Uso.

Quadro 3: Registro dos casos de uso e seu detalhamento textual.

Ranking²⁹	Nome do Caso de Uso	Descrição
Alto	Realizar login	Para que o STI possa realizar o acompanhamento e registro das atividades, torna-se necessário que o aluno identifique-se através das suas informações de login.
Alto	Registra login	Se o nome de usuário e senha forem válidos, o sistema registra a entrada do aluno no sistema, cria uma sessão de uso e passa a acompanhar as atividades realizadas.
Alto	Escolher problema de projeto	A primeira tarefa do aluno é selecionar um problema de projeto para resolver. Os problemas tem níveis de dificuldade diferentes, embora não seja explicitado ao aluno.
Alto	Resolver problema	Uma vez escolhido o problema, o aluno é levado a uma seqüência de estágios onde ele interage com o sistema, culminando na apresentação da solução para o problema de projeto escolhido.
Médio	Solicitar material de apoio	A qualquer momento o aluno pode consultar a base de dados em busca de informações que complementem ou apóiem o processo de tomada de decisão.
Baixo	Consultar anotações	O aluno pode consultar qualquer informação inserida (no bloco de notas)
Baixo	Anotar informações	Anotar qualquer informação que julgar necessária para a solução do problema.

O recursos disponíveis na interface, portanto, foram pensados para atender os requisitos funcionais e os casos de uso modelados. Contudo, além de atender as condições de contorno

²⁹ O ranking diz respeito a importância do elemento para o funcionamento do sistema. Ranking igual a alto significa que o caso de uso é crítico e que o sistema não terá o comportamento esperado se este elemento não funcionar conforme os requisitos. Ranking igual a médio significa que o sistema funcionará, mas sem todo o potencial que possui. Ranking baixo significa que o elemento não influi no desempenho e comportamento do sistema.

apresentadas pelos requisitos, foi necessário se definir a forma de se implementar computacionalmente as funcionalidades previstas. Pensando-se nisso, foi adotado o paradigma *Model-View-Controller* (MVC) por julgar ser compatível com a estrutura do STI proposto nessa Tese (Figura 17). A adoção desse paradigma para o projeto da arquitetura tem impacto nas decisões relativas à implementação da interface e das camadas de software subjacentes.

A idéia central desse padrão de projeto de software é a divisão da aplicação em objetos do modelo do dados e a apresentação de informações ao usuário. Os objetos referentes ao domínio são auto-contidos e não fazem referência a apresentação das informações na interface. Dessa forma, os elementos da interface são usados como subterfúgio para capturar as ações do usuário e repassá-las à camada controladora ou para receber informações que devem são apresentadas ao usuário.

A interface, portanto, está vinculada à camada de visualização e contém os elementos de interação do usuário com o STI, permitindo que o sistema obtenha as informações necessárias para processar as táticas da estratégia pedagógica e que se comunique com o aluno, conforme apresentado no item 2.2.3.4.

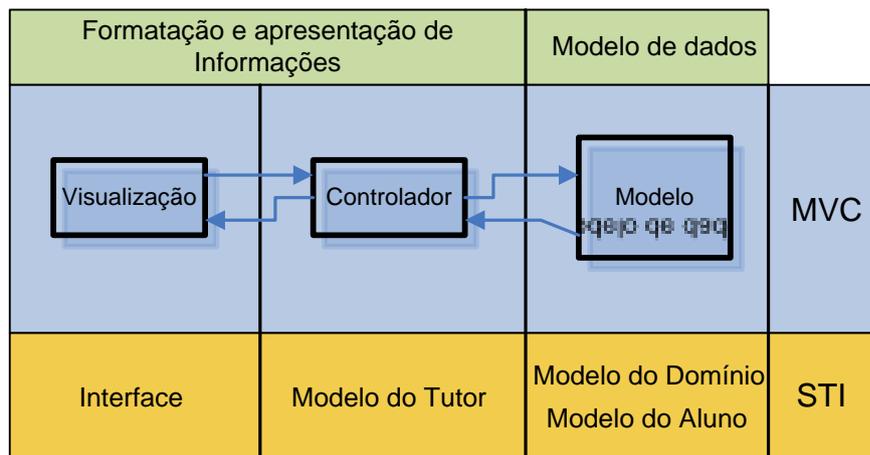


Figura 17: Correspondência do padrão MVC com a arquitetura do STI.

As ações representadas pelos casos de uso descritos na **Error! Reference source not found.** desencadeiam um fluxo de dados representando a seqüência de processos (mais especificamente, de mensagens passadas entre objetos) nas camadas internas do STI. Como existe uma quantidade de métodos distribuídas ao longo das classes que compõem a programação do sistema, tornou-se difícil determinar a seqüência global do comportamento. Para isso, usou-se diagramas de seqüência (tipo de diagrama UML) que representam a troca

de mensagens nas camadas internas da aplicação de uma forma simples e lógica. Esse recurso permite que se projete as necessidades das camadas de controle (modelo do tutor) e do modelo de dados (modelo do domínio e do aluno) a partir das ações e objetos da interface.

Para os casos de uso modelados, todas as ações são originárias da interface e a partir daí se desenvolve o processo de comunicação entre os objetos do sistema. A primeira ação que o aluno deve realizar é abrir uma sessão de uso. Essa ação serve para que o STI verifique a existência de registros do aluno no banco de dados e instancie uma representação do aluno no sistema, caso as informações de *login* forem validadas (Figura 18).

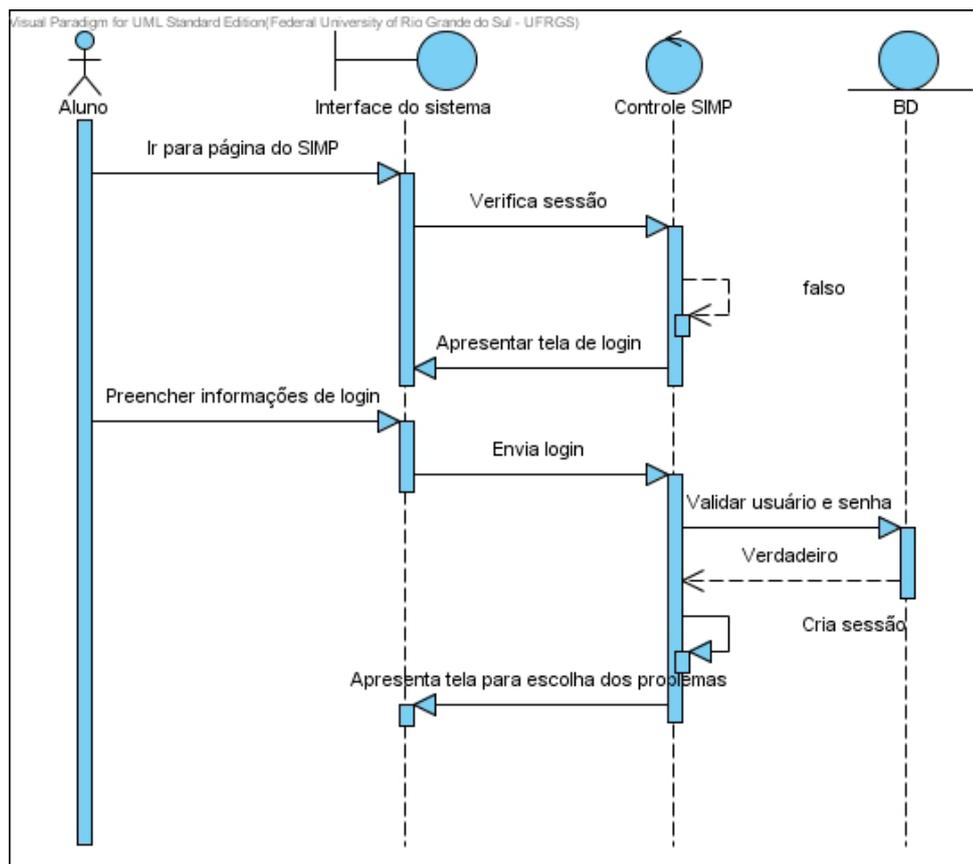


Figura 18: Diagrama de sequência para o caso de uso Realizar Login.

A instância do aluno associada a uma sessão de uso permite ao sistema realizar o acompanhamento e registro das atividades executadas aplicando as táticas de ensino associadas à estratégia pedagógica. Os detalhes das táticas e da estratégia serão vistos no item 3.2.3.

A próxima ação do aluno é a escolha de um problema para resolver (Figura 19). A escolha é realizada através de um clique em uma lista de problemas (é apresentado apenas um título formado pela palavra problema seguido por caracteres numéricos como, por exemplo,

Problema 02). Ao escolher o problema, a interface envia uma mensagem para as classes controladoras (modelo do tutor) que, por sua vez, ativam métodos para obtenção de parâmetros associados ao problema escolhido (título, enunciado, nível de dificuldade, variáveis de projeto). Ao final dessa seqüência o sistema vincula os parâmetros do problema à sessão do aluno e apresenta o enunciado na interface do STI.

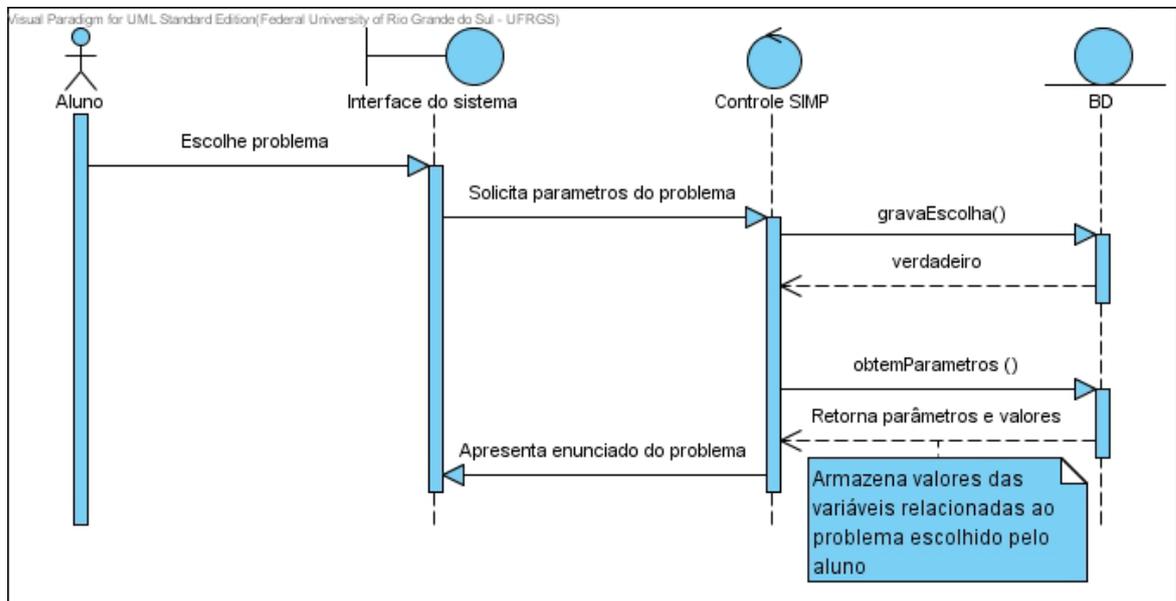


Figura 19: Diagrama de seqüência para o caso de uso Escolher Problema.

Com o enunciado disponível na interface, aluno é levado a uma seqüência de estágios onde ele interage com o sistema, culminando na apresentação da solução para o problema de projeto escolhido (Figura 20). Ao longo do processo de equacionamento do problema, o aluno pode, a qualquer momento, gravar informações em uma área de anotações pessoais e consultar diretamente o repositório de objetos educacionais, independente das sugestões do STI.

Buscando-se a integração de todas as camadas da aplicação, decidiu-se pelo uso de tecnologias Java para o desenvolvimento de todos os componentes do STI. Dessa forma, os elementos da interface foram desenvolvidos usando-se a tecnologia *Java Server Pages* (JSP). Segundo Ferreira Filho (2005), o objetivo da tecnologia JSP é a criação e a gerência simplificadas de aplicações Web dinâmicas, classe de software na qual se enquadra o STI dessa Tese, permitindo que se combine HTML com segmentos de código Java no mesmo documento. Essa característica trás todas as vantagens da plataforma Java (portabilidade multi-plataforma, acesso a banco de dados, manipulação de arquivos no formato texto, captura de informações a partir de formulários, registro de informações sobre o usuário e

sobre o servidor onde a aplicação está hospedada) e a integração da interface com outros recursos do STI (motor de inferência e componente de conexão com banco de dados).

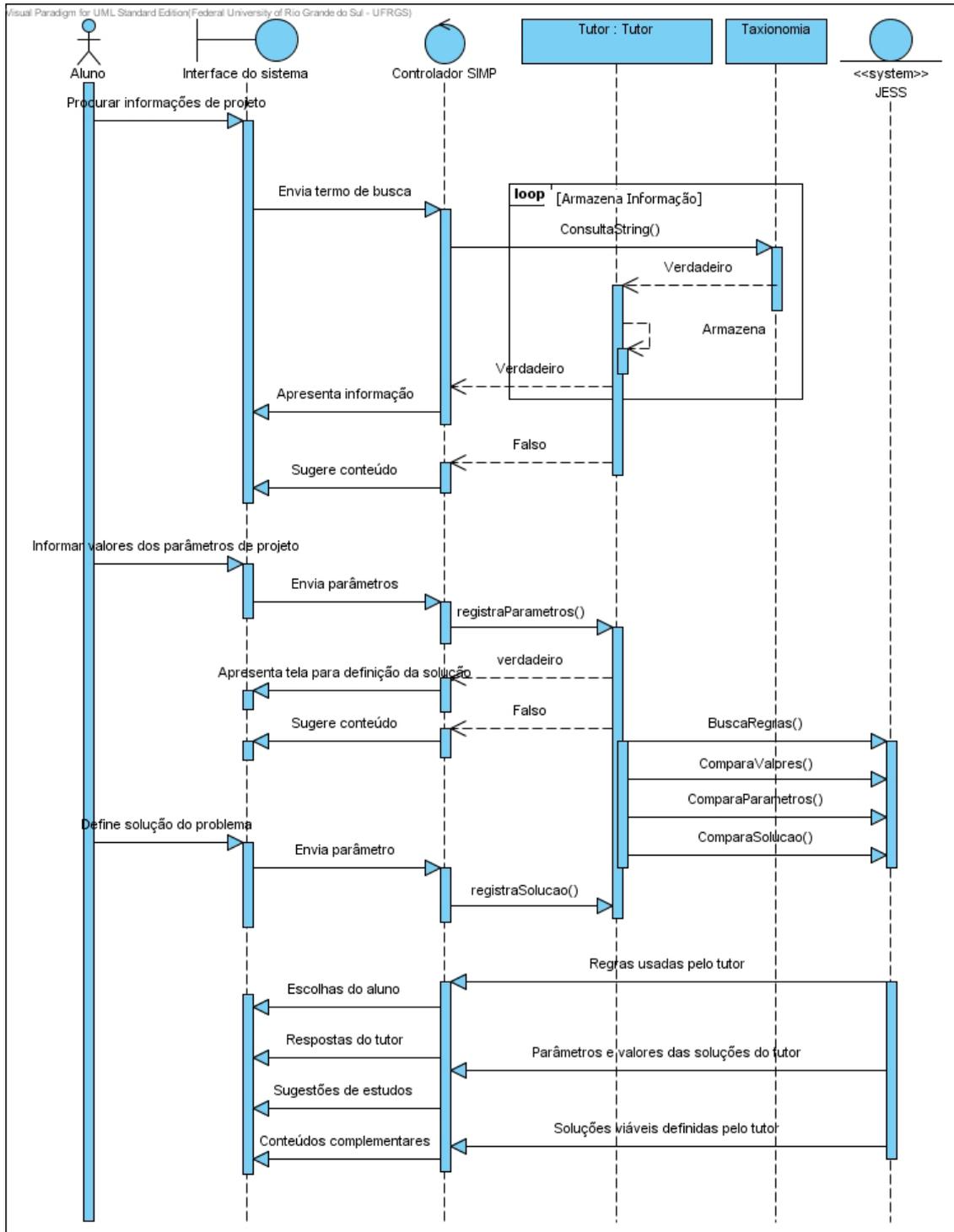


Figura 20: Diagrama de seqüência para o caso de uso Resolver Problema.

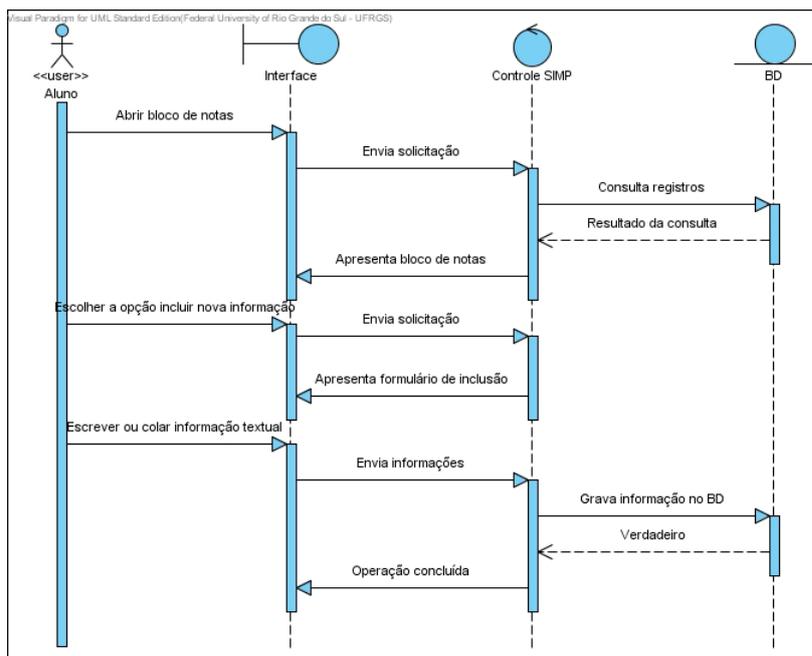


Figura 21: Diagrama de seqüência para o caso de uso Anotar e Consultar Informações.

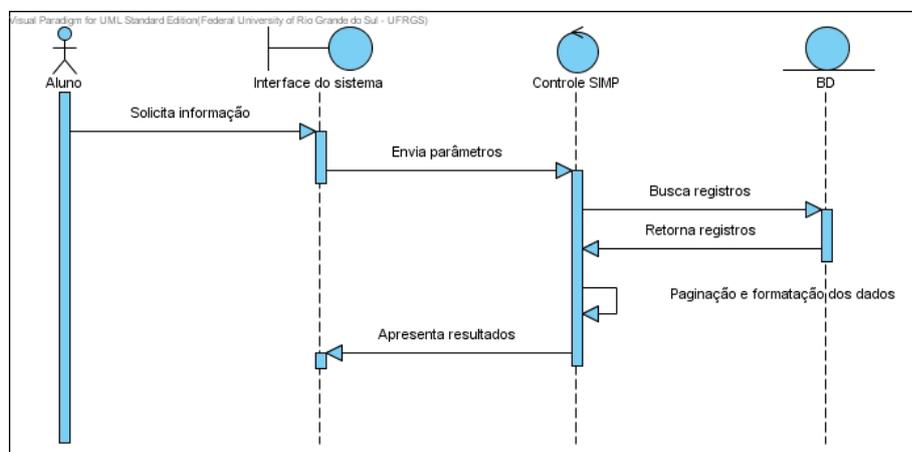


Figura 22: Diagrama de seqüência para o caso de uso Solicitar Material de Apoio

Com essa tecnologia foram criados os elementos específicos da interface, distribuídos em um conjunto de telas que foram desenvolvidas a partir dos requisitos e dos casos de uso. A interface apresenta desde a tela de *login* até um conjunto de recursos multimídia, passando pelo conjunto de problemas, um ambiente de execução de tarefas e um módulo de explanação (responsável pela comunicação entre o STI e o aluno - indagações do STI a respeito das escolhas do aluno, respostas à solicitações de ajuda, apresentação de material educacional multimídia ou textual, e outros tipos de comunicação envolvendo as tarefas do aluno). Esses elementos da interface são descritos com detalhes e contextualizados no item 4.

3.2.2 Implementação do 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, no padrão de projeto MVC (Figura 17), 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 (a revisão sobre o tema foi realizada no item 2.2.3.2) 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, cinquenta artigos e cinco animações, produzidos a partir de outros projetos do qual o autor foi integrante (FERREIRA FILHO, 2004-b, 2003-a; TIMM et al., 2003; SCHNAID et al., 2002) e de sua dissertação de mestrado (FERREIRA FILHO, 2005). 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.

O mapeamento dos objetos educacionais é feito em uma tabela do banco de dados. Essa tabela contém campos que seguem as recomendações do grupo de trabalho da Dublin Core Metadata Initiative³⁰ (DCMI) para Educação, que busca refinar um conjunto de metadados específicos para objetos desse domínio. A descrição dos campos e o vocabulário específico dos metadados está disponível no Apêndice D. A visão parcial do modelo do domínio, apresentando a estrutura do banco de dados e o arquivo de *script* contendo as regras, é apresentada na Figura 23.

As informações contidas no banco de dados, bem como os recursos educacionais aos quais ele se refere, integram o modelo do domínio do STI. Esse conjunto de informações e de objetos educacionais compõem o acervo de conteúdo complementar e é usado como material instrucional de apoio, ora apresentado ao aluno pelo STI, ora consultado diretamente pelo

³⁰ A DCMI é uma organização dedicada a promover a adoção de padrões de metadados para interoperabilidade de sistemas. Os metadados descrevem recursos em rede através do uso de um vocabulário especializado para descrever recursos e facilitar a busca de informação. A DCMI possui grupos de trabalhos interessados no desenvolvimento de metadados para domínios específicos. Essa tese adota as recomendações do grupo de trabalho DCMI *Education Community*.

aluno.

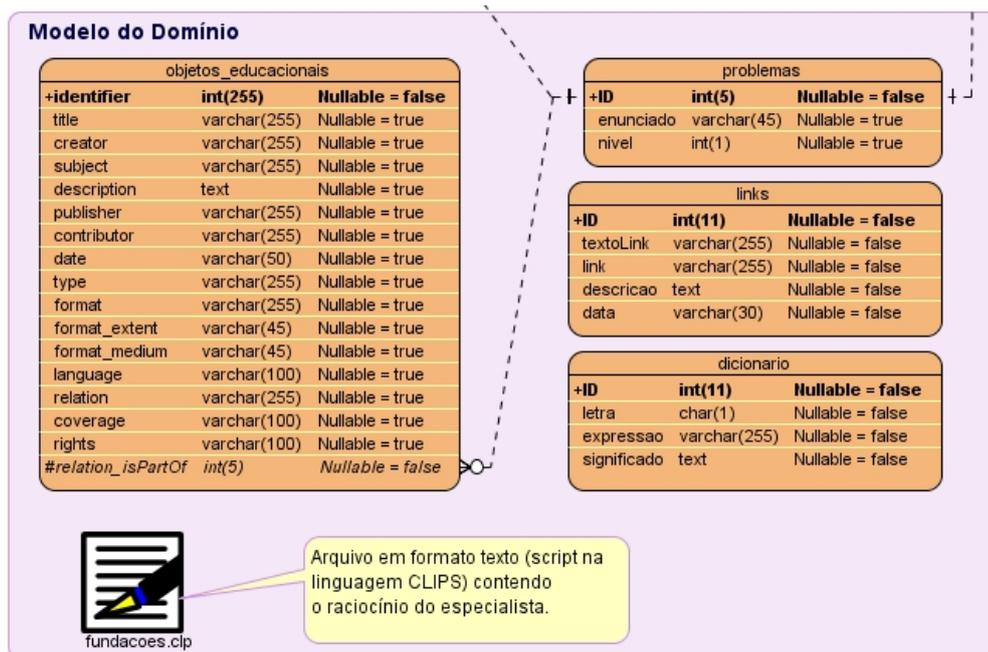


Figura 23: Representação gráfica parcial do modelo do domínio.

O modelo do domínio conta também com um conjunto de classes Java (Figura 24) que implementam funções utilizadas para consultar, gravar, editar e apagar registros do banco de dados bem como operar sobre as regras do STI, disponibilizando o resultado para as classes vinculadas ao modelo do tutor. As classes usam a tecnologia Java Servlets e são implementadas no container Jakarta Tomcat.

O conjunto de regras que integra o modelo do domínio estão implementadas em um arquivo de *script*, no formato de texto, chamado fundações.clp, como pode ser visto no esquema gráfico da Figura 23. As regras são derivadas do trabalho de Azevedo (1999), no qual desenvolveu um Sistema Especialista (SE) para escolha do tipo de fundação. Em seu trabalho, Azevedo usou o software KAPPA-PC³¹, no qual a base de regras era implementada na linguagem LISP (*LISt Processing*) e encapsulada no sistema, assim como todos os outros componentes, como uma **caixa preta**.

³¹ Azevedo (1999) usou a *shell* Kappa-PC, um software proprietário, tipo *stand-alone* (é necessário instalar o software na máquina do usuário), onde apenas um usuário, por vez, acessava o sistema localmente. Toda a implementação (a base de conhecimento, o máquina de inferência e a memória de trabalho) era encapsulada no software.

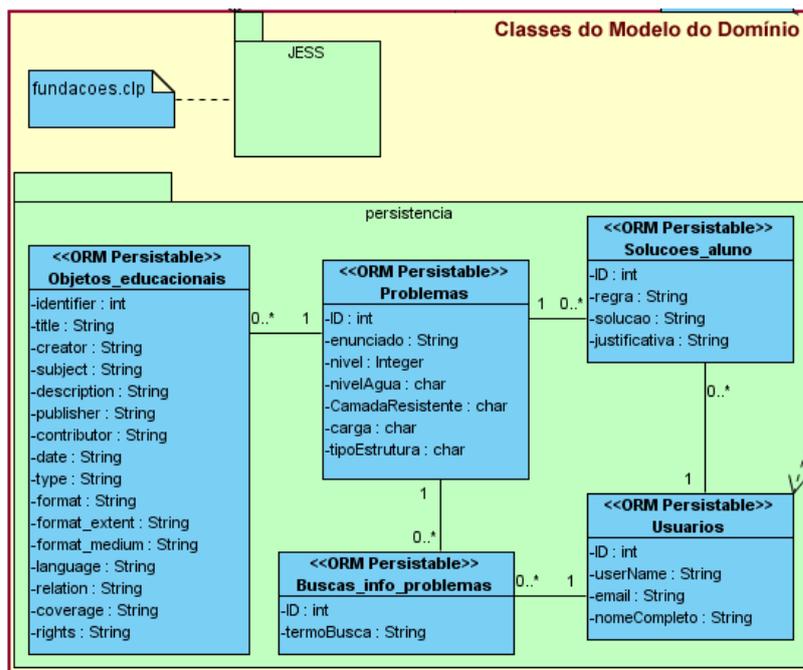


Figura 24: Diagrama explicitando as classes pertencentes ao modelo do domínio.

Usando-se como ponto de partida as regras definidas e validadas por Azevedo (idem) em sua Tese, realizou-se uma transposição para a linguagem CLIPS - linguagem de *script* compreendida pelo JESS. No Apêndice E se tem o conjunto de regras do sistema usando a nova sintaxe.

O JESS é uma máquina de inferência adotada para a arquitetura do STI e foi inspirada na *shell*³² CLIPS³³. Contudo, o JESS é totalmente desenvolvido em Java³⁴, o que garante integração com a Web e com a própria linguagem Java, usando todas as funcionalidades de ambas. A escolha foi influenciada pelos requisitos funcionais detalhados no item 3.2.1.

O princípio adotado para a implementação da base de regras na nova linguagem obedece

³²*Shell*, em computação, refere-se a uma interface entre um usuário/programador e um programa/ambiente/sistema (WIKIPEDIA, disponível em < [http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_\(computing\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Shell_(computing)) >). Para todos os efeitos, se adotará neste trabalho o termo **software** como sinônimo de *shell*.

³³ Acrônimo para *C Language Integrated Production System*, implementada em linguagem C, desenvolvida pela NASA, agência espacial dos EUA (FRIEDMAN-HILL, 2003).

³⁴ “A linguagem Java, apesar de ser propriedade da empresa Sun Microsystems, teve seu código fonte aberto e disponibilizado na Internet para que qualquer desenvolvedor pudesse criar e agregar novas funcionalidades à linguagem, o que vem acontecendo desde 1995. Como consequência, vem se tornando uma linguagem robusta e com mais recursos e soluções de terceiros à disposição dos usuários e programadores, além da própria Sun lançar atualizações periódica com novos recursos para a plataforma Java. O ambiente Java é constituído de várias partes: um *framework* de desenvolvimento, um ambiente de execução, a linguagem propriamente dita e as interfaces de programação, que são conhecidas como *Application Programming Interface* (APIs). O conjunto destas partes chama-se Plataforma Java e pode ser dividido no ambiente de execução chamado Máquina Virtual Java (*Java Runtime Environment* - JRE) e no pacote de desenvolvimento *Java Development Kit* (JDK).” (FERREIRA FILHO, 2005, p.56)

as condições impostas pelos requisitos do STI e segue duas abordagens:

1. A modelagem do método de resolução de problemas (de Engenharia de Fundações, no caso) deve estar representada em um formalismo que permita o processamento computacional;
2. A representação do conhecimento deve estar separada do componente que executa o processamento computacional.

Os aspectos dessas duas abordagens foram atendidos pela implementação das regras em um arquivo de texto puro usando-se a linguagem de *script* CLIPS. Esse arquivo de texto contendo as regras é acessado pelo motor de inferências, responsável pelas tarefas de manipulação dos fatos que compõem a memória de trabalho e execução das regras que se enquadram no padrão criado por esses fatos.

Um motor de inferências tem, em termos mais simples, o propósito de aplicar continuamente um conjunto de declarações (regras) a um conjunto de dados (a memória de trabalho). Um sistema de produção típico tem um conjunto de regras fixas, enquanto a memória de trabalho muda constantemente.

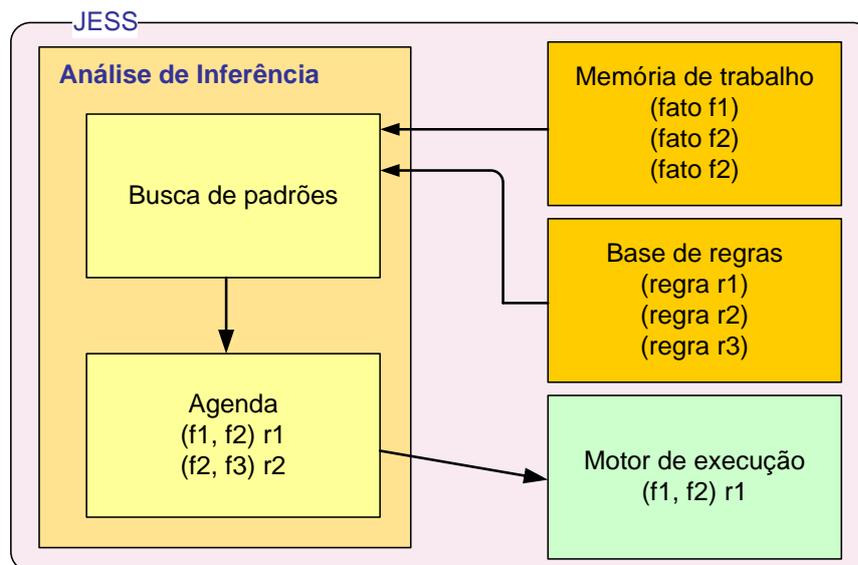


Figura 25: Detalhe de funcionamento do JESS.

O controle da interação entre o usuário e o STI, incluindo a manipulação das regras, é realizado por classes Java que implementam o processamento das informações provenientes das inferências na interface; do tratamento das informações da memória de trabalho, da base de regras e do banco de dados; das informações sobre o aluno; e das tomadas de decisão

referentes as estratégias pedagógicas. A visão geral dessa interação é apresentada na Figura 26.

No próximo item apresenta-se o modelo do aluno, que completa a base de informações utilizada pelo STI e está topologicamente no mesmo nível do modelo do domínio.

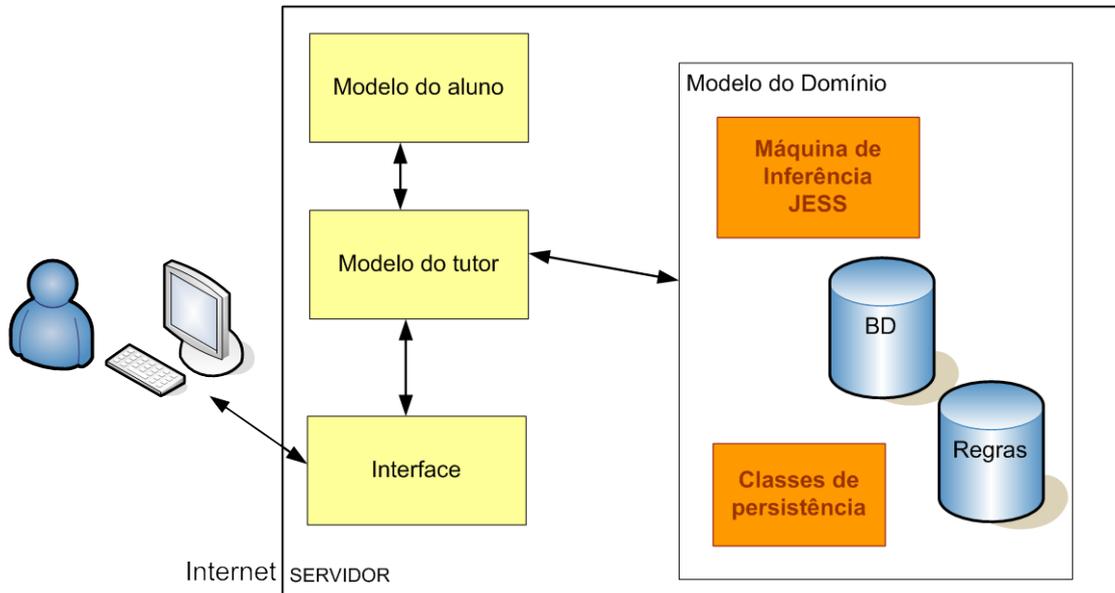


Figura 26: Visão geral do STI mostrando os componentes do modelo do domínio.

3.2.3 Implementação do Modelo do Aluno

O modelo do aluno é estabelecido a partir da sua interação com a interface e, assim como o modelo do domínio, faz parte da camada de modelo de dados, segundo o padrão MVC (Figura 17). Essa interação ocorre nas ações que o aluno executa no processo de resolução do problema que é apresentado na interface do sistema. Essas ações e interfaces são exemplificadas no Capítulo 4. A implementação está baseada na captura de informações provenientes das ações do aluno durante a solução de problemas apresentados pelo STI (Figura 19 e Figura 20). Essas ações são gravadas em um banco de dados e posteriormente usadas para avaliação do desempenho do aluno. O resultado dessa avaliação é usado para as tomadas de decisão em relação às táticas de ensino implementadas no modelo do tutor (a revisão sobre o tema foi realizada no item 3.2.3).

O processo de registro das ações do aluno ocorre a partir da sequência de interações com o sistema (Figura 19 e Figura 20), como segue:

1. O STI apresentará um conjunto de problemas para o aluno resolver;
2. O aluno escolhe um problema;
3. O aluno pode buscar por informações complementares relacionadas ao problema;
4. A qualquer momento o aluno pode armazenar informações provenientes dos objetos educacionais do repositório ou de fontes externas em uma área de anotações pessoais;
5. O aluno determina os parâmetros abstraídos do problema e atribui valores a eles;
6. Por fim, seleciona o tipo de fundação tecnicamente adequada, dentre uma lista de possíveis soluções, a partir das condições de carregamento, comportamento da estrutura e do solo identificadas no problema.

Esses passos simulam a atividade profissional do engenheiro e o processo que ele utiliza na solução de problemas reais de projeto de fundações (itens 2.1.3.3 e 3.1). Para armazenar as informações referentes a esse processo, o STI armazena um conjunto de valores vinculados à variáveis, definindo tuplas³⁵ em um banco de dados que compõem o modelo do aluno.

São quatro conjuntos de dados que integram o modelo do aluno: os registros pessoais como nome de usuário e senha; os registros relativos às buscas por informações de projeto; os registros das anotações pessoais; e os registros sobre o processo de solução do problema como as regras que representam os aspectos do raciocínio do aluno, tipo de fundação escolhido e justificativas da escolha. As tabelas do banco de dados que armazenam as informações relativas ao modelo do aluno são apresentadas na Figura 27. Nessa figura mostra-se a conexão com as tabelas (Figura 23) que compõem o modelo do domínio (item 3.2.2), apresentando o escopo geral do banco de dados e as relações entre seus atributos.

³⁵ Tuplas são um conjunto de objetos que compartilham as mesmas características ou possuem as mesmas propriedades. Em sistemas de gerenciamento de bancos de dados pode ser considerado como sinônimo de registro. Corresponde a uma linha em um banco de dados relacional.

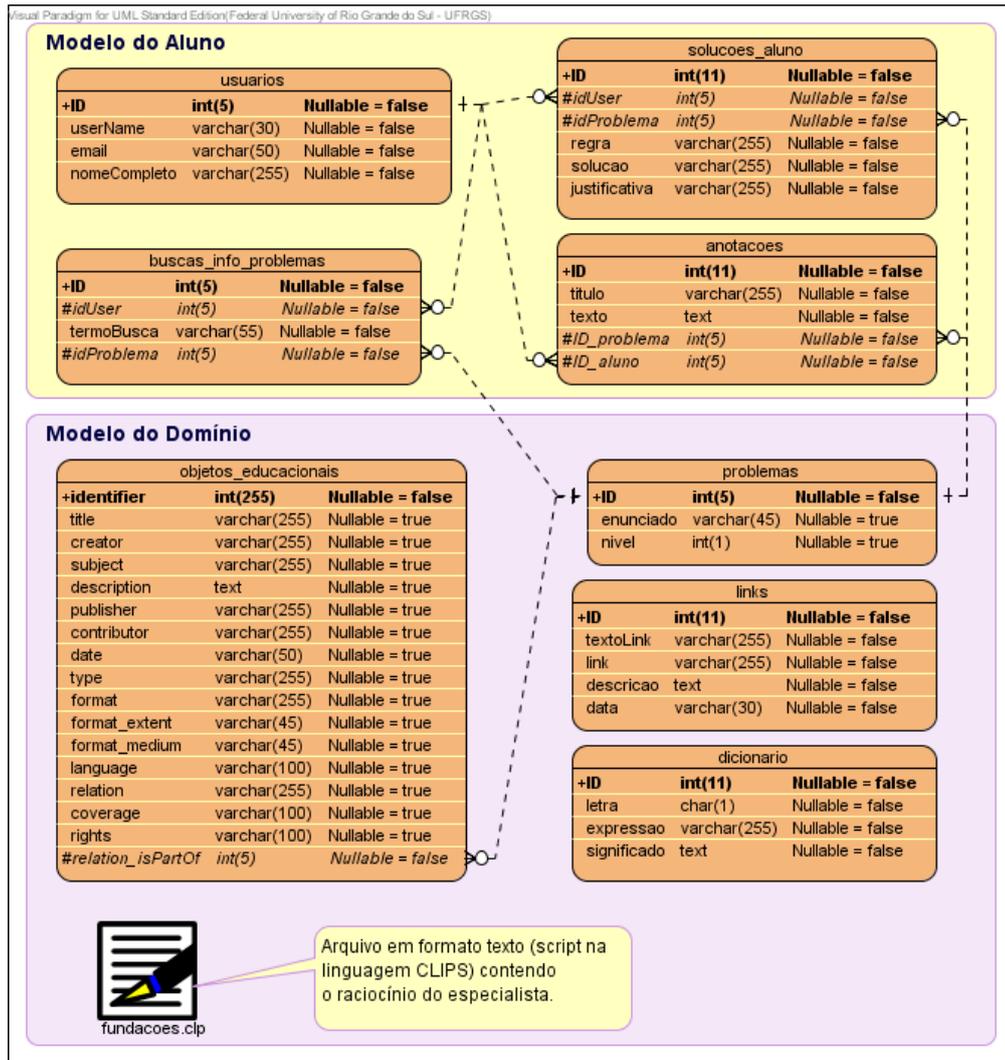


Figura 27: Tabelas do banco de dados relacional referentes ao modelo do domínio e do aluno.

As regras têm papel central no STI e demonstram os aspectos do raciocínio usado pelo aluno para definir a melhor tipo de fundação para o problema. Esta técnica de representação permite ao STI inferir sobre o estágio cognitivo do aluno, comparando as regras e a solução final, para um dado problema, com as opções do especialista armazenadas no modelo do domínio.

A interpretação das regras se dá de duas formas: através de erros conceituais e da falta de conceitos. Se, na comparação com as regras do especialista, o aluno não propor o uso de determinada variável, isto caracterizará falta de conceito. Por outro lado, se usar uma variável fora do contexto para determinado problema, caracterizará um erro conceitual. Esta análise de desempenho entre o aluno e o especialista baseia-se no modelo *Overlay* (ver Figura 8).

Para tornar possível a implementação da técnica de *Overlay* na modelagem do aluno, restringiu-se o conjunto de variáveis disponíveis para o aluno operar adotando-se as mesmas

variáveis utilizadas na representação do conhecimento do especialista, presente no modelo do domínio. As regras nas quais o STI se baseia foram derivadas do SE de Azevedo (1999), que utilizava dezoito variáveis. No presente trabalho, como esclarecido no item 3.1, desconsiderou-se as variáveis relacionadas à informações genéricas do subsolo. Dessa forma, o conjunto de atributos passou para um total de dez variáveis. Na Quadro 4 apresenta-se o conjunto de parâmetros adotados no STI bem como a descrição do escopo de utilização e os possíveis valores que se pode atribuir a cada um.

Quadro 4: Tabela com descrição das variáveis consideradas para montagem das regras do aluno.

Variável	Descrição
CARGA	Refere-se ao nível de carregamento do elemento de fundação a ser projetado (Apêndice B). Valores possíveis: muito baixo, baixo, médio, alto e excepcional.
ESTRUTURA	Refere-se ao tipo de estrutura (Apêndice A). Valores possíveis: Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3 e Tipo 4.
INFORMACAO	Refere-se ao tipo de informação disponível do subsolo (Apêndice B). Valores possíveis: SPT.
PROFSPT	Refere-se à profundidade de sondagem SPT. Os valores que a variável pode assumir basei-se no modelo simplificado de solo, apresentado na Figura 11. Valores possíveis: superficial, subsuperficial e intermediária.
AGUASPTSUP	Refere-se à presença de água no solo, a partir das informações do ensaio SPT. Os valores que a variável pode assumir baseiam-se no modelo simplificado de solo, apresentado na Figura 11. Valores possíveis: sim e não.
AGUASPTSUB	Refere-se à presença de água no solo, a partir das informações do ensaio SPT. Os valores que a variável pode assumir baseiam-se no modelo simplificado de solo, apresentado na Figura 11. Valores possíveis: não, superficial e subsuperficial.
AGUASPTINTER	Refere-se à presença de água no solo, a partir das informações do ensaio SPT. Os valores que a variável pode assumir baseiam-se no modelo simplificado de solo, apresentado na Figura 11. Valores possíveis: não, superficial, subsuperficial e intermediária.
RESPTSUP	Refere-se à resistência da camada superficial do solo (modelo simplificado do solo apresentado na Figura 11 do item 3.1), a partir das informações do ensaio SPT. Valores possíveis: baixíssima, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.
RESPTSUB	Refere-se à resistência da camada subsuperficial do solo (modelo simplificado do solo apresentado na Figura 11 do item 3.1), a partir das informações do ensaio SPT. Valores possíveis: baixíssima, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.
RESPTINTER	Refere-se à resistência da camada intermediária do solo (modelo simplificado do solo apresentado na Figura 11 do item 3.1), a partir das informações do ensaio SPT.

Valores possíveis: baixíssima, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

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. Na Figura 28 apresenta-se um gráfico que mostra o conjunto completo de variáveis implementadas no modelo do domínio e um subconjunto representando as escolhas do aluno para um dado problema. Nesse gráfico fica evidente que o modelo do aluno é composto por subconjuntos do modelo do domínio.

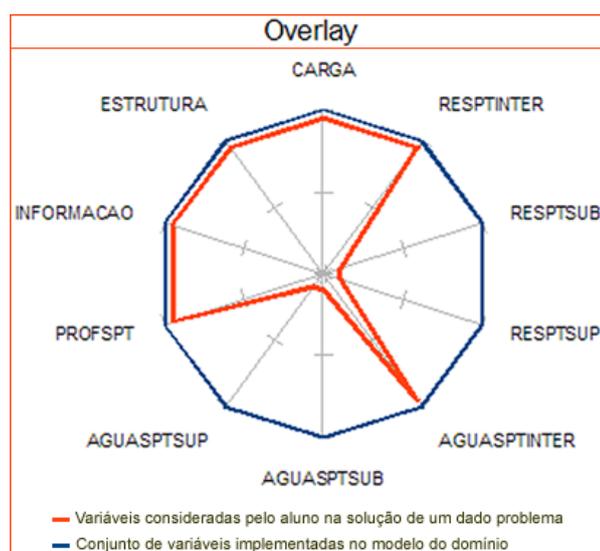


Figura 28: Representação gráfica da técnica de *Overlay*.

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.

A partir das escolhas de quais variáveis considerar e de quais valores atribuir é construída a representação do conhecimento do aluno. Na Figura 29 pode-se observar a forma de representação dos aspectos do raciocínio, capturados através da interação com a interface, e a representação do conhecimento do especialista para um mesmo problema, ambos constituídos por elementos condicionais.

Nota-se que, na solução dos problemas, não se utiliza todos os parâmetros disponíveis no

sistema e na regra do especialista existe um conjunto de variáveis e conjunto de valores que representam as possíveis soluções do especialista. No exemplo, a variável RESPTSUP pode receber quatro valores diferentes e com qualquer desses valores a regra 0155 é ativada.

A solução proposta pelo aluno, se correta, usa as mesmas variáveis e um único valor para a variável RESPTSUP (pois a implementação atual não trabalha com matriz de valores). As outras possibilidades que tornam a regra e, conseqüentemente, a representação do raciocínio intermediário incorretas são: atribuir o valor **muito baixa** para a variável RESPTSUP ou considerar uma variável qualquer que não corresponda às condições impostas pelo problema. Dessa forma, se fornece meios para que, através do raciocínio intermediário que levou o aluno à escolha de um determinado tipo de fundação, o STI possa avaliar o desempenho do aluno.

A decisão de quais táticas utilizar, de acordo essa análise do desempenho, é encargo do modelo do tutor, cuja implementação é vista no próximo item.

Exemplo de regra criada pelo aluno
<pre>(defrule ALUNO (and (ESTRUTURA == TIPO_3) (INFORMACAO == C.SONDAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO) (PROFSPT == A.SUPERFICIAL) (RESPTSUP == F.MUITO_ALTA) (AGUASPTSUP == NAO)) => (ação desencadeada se a regra for ativada)</pre>
Exemplo de regra do modelo do domínio
<pre>(defrule REGRA_0155 (and (ESTRUTURA == TIPO_3) (INFORMACAO == C.SONDAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO) (PROFSPT == A.SUPERFICIAL) (or (RESPTSUP == C.BAIXA) (RESPTSUP == D.MEDIA) (RESPTSUP == E.ALTA) (RESPTSUP == F.MUITO_ALTA)) (AGUASPTSUP == NAO)) => (ação desencadeada se a regra for ativada)</pre>

Figura 29: Representação dos elementos condicionais que representam os aspectos do raciocínio do especialista e do aluno.

3.2.4 Implementação do 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 e representa o controle no padrão de projeto MVC (Figura 17).

Quando o aluno faz uma requisição ao STI (ações representadas nos diagramas de seqüência do item 3.2.1), o tutor³⁶ 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 (item 2.1.3), cuja a natureza das atividades encontra equivalência, em alguns aspectos, com as estratégias denominadas Aprender-Fazendo (*Learning-by-Doing*) e Resolução de Problemas (item 2.2.3.3). Contudo, as técnicas empregadas no presente trabalho contornam uma limitação da Resolução de Problemas, onde o sistema somente exhibe sua concordância, ou não, com as soluções do aluno ou fornece dicas para induzi-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 (item 2.1.3.3).

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 30.

³⁶ A partir desse ponto do texto, usa-se a expressão **tutor** para se fazer referência às classes do componente responsáveis pelas ações e atividades de tutoria do STI. Usa-se **modelo do tutor** para se referir à composição geral do componente.

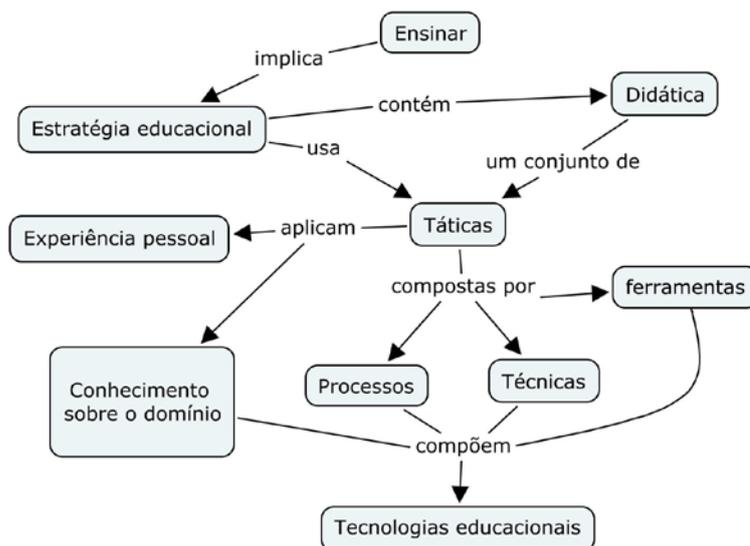


Figura 30: Mapa conceitual sobre o vínculo entre estratégia educacional e didática.

Uma capacidade fundamental para a personalização da instrução, e por isso não menos importante, é a habilidade de avaliar o aluno. A avaliação das escolhas e ações executadas ao longo do processo de solução dos problemas é o que permite ao STI sugerir um conteúdo ou escolher a frase correta para se comunicar com o aluno. Por exemplo, a escolha de uma variável que não pertence à solução do problema dá subsídios para que o STI questione o porquê da escolha e encontre no banco de dados conteúdo que direcione o estudo do aluno para o tópico relacionado à deficiência detectada.

Desta forma, para que o STI tenha competência para avaliar e ensinar, é necessário modelar corretamente os problemas, indicando para o sistema, de forma precisa, os parâmetros a serem observados (Quadro 4). Os conceitos associados a esses parâmetros são trabalhados com o aluno através da modelagem dos problemas que ele tem que resolver. Os problemas são relacionados com o processo de elaboração de projetos e os passos relativos ao encaminhamento das possíveis soluções (Figura 31), supostamente, envolvem o emprego das habilidades desejadas para um engenheiro e são inerentes a sua atividade profissional.

Na Figura 32 se tem um paralelo entre as etapas empregadas para solução de um problema real e as etapas relacionadas aos problemas da escolha do tipo de fundação, modelados e implementados no sistema.

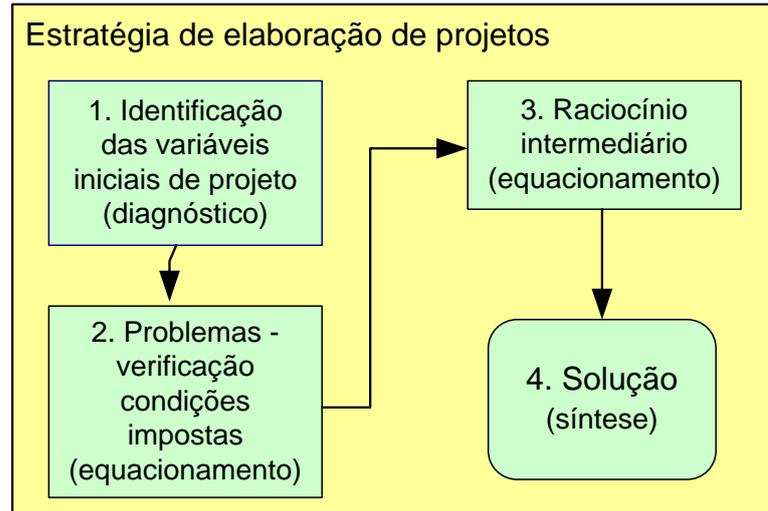


Figura 31: Representação gráfica dos passos que o aluno deve percorrer até propor a solução de um problema, segundo a abordagem de elaboração de projetos.

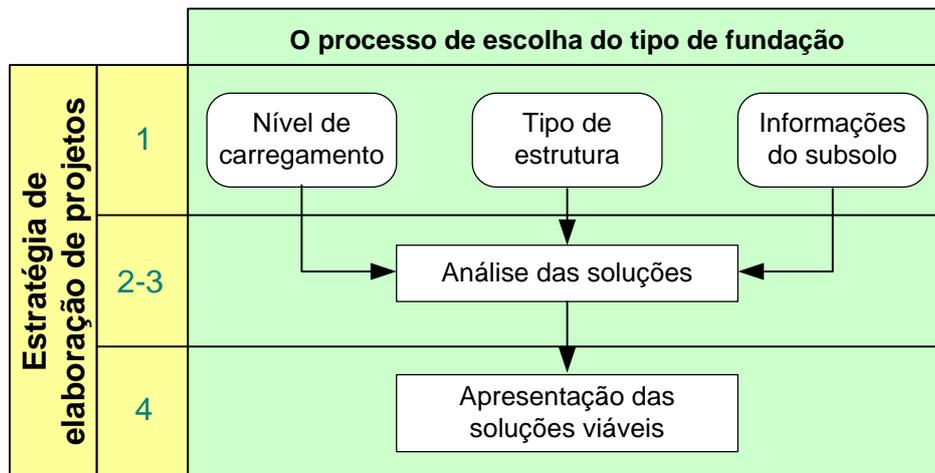


Figura 32: Fases da escolha do tipo de fundação e etapas da estratégia baseada na elaboração de projetos, referentes à Figura 31, adaptado de Azevedo (1999, p.121).

No processo de solução dos problemas, a primeira ação do aluno é identificar as informações iniciais necessárias para se desenvolver um projeto de fundações. Essas informações são referentes ao nível do carregamento, tipo de estrutura e informações do subsolo (dentre os quais, a presença de água no solo e o seu nível).

Nessa etapa, o sistema oferece uma ferramenta de busca para o aluno pesquisar, através de palavras-chave, a existência das informações iniciais de projeto. O conteúdo sobre os parâmetros iniciais de projeto está associado a um vocabulário. Se o aluno realizar a pesquisa com uma palavra que esteja nesse vocabulário, o conteúdo é apresentado ao aluno. Cada informação de projeto está associado a um vetor de dimensão quatro, com valores iniciais igual a zero. Caso a palavra usada para a busca remeta a uma das variáveis, a posição

correspondente a esta variável assume o valor 1 (um), indicando que o aluno sabe da existência desta variável e da necessidade de obter informações sobre ela para poder projetar de forma confiável e eficiente. Isto vale para cada uma das quatro variáveis iniciais.

Caso o aluno use palavras que são do uso corrente da engenharia de fundações, mas não são pertinentes para o momento, o STI sugere conteúdo referente ao tópico, indicando o caminho onde o aluno pode encontrar informações (provenientes de repositório recursos educacionais) a respeito do assunto. Os diálogos e sugestões de conteúdo estão presentes em todas as etapas de solução de problemas, sendo que cada um deles foi preparado para desafiar aluno e avaliar a capacidade de efetuar o diagnóstico e o equacionamento do problema. Em relação a este aspecto, nem sempre todas as variáveis (Quadro 4) são relevantes para a solução do problema. O aluno deve identificar quais as necessárias para solucionar o problema, bem como extrair do problema, ou do conteúdo associado ao problema, os valores para cada variável.

A partir das variáveis escolhidas e dos valores atribuídos, o STI monta uma representação do raciocínio do aluno em forma de regras de produção (ver Figura 29). A regra é avaliada de acordo com a regra do modelo do especialista, para um mesmo problema. A partir dessa avaliação, o STI sugere diálogos e conteúdos para auxiliar o aluno na construção do conhecimento. A última etapa é a solução, ou conjunto de soluções viáveis, e a justificativa da escolha realizada para um determinado problema.

Para o sistema cumprir a função de tutoria, não bastam as técnicas empregadas para obter informações do aluno. Dois aspectos foram levado em consideração: como apresentar o conteúdo e como indexá-lo. Para permitir que o sistema apresente informações pertinentes, em cada etapa da solução de problemas, o STI precisa ter o conteúdo estruturado de acordo com os tópicos do domínio. Já a instrução é a apresentação do material aos alunos e a comunicação realizada pelo sistema.

O seqüenciamento adotado fundamenta-se no cronograma da disciplina Fundações, da grade curricular do curso de Engenharia Civil da UFRGS. O cronograma, que de agora em diante será chamado currículo, é dividido em quatro partes: concepção de obras de fundações, capacidade de suporte de fundações superficiais e profundas, recalques em fundações superficiais e profundas e dimensionamento estrutural de fundações superficiais e profundas. O currículo completo, com destaque para o tópico que é considerado neste trabalho, está detalhado no Anexo A.

Nesse trabalho, usa-se somente os conceitos abordados na primeira parte do currículo da disciplina, ou seja, concepção de obras de fundações. Para cada um dos itens deste tópico, tem-se associado um conjunto de recursos (*e-books*, vídeos, imagens, artigos, animações e dicionário de expressões técnicas inglês/português) para ser oferecido como apoio ao aluno.

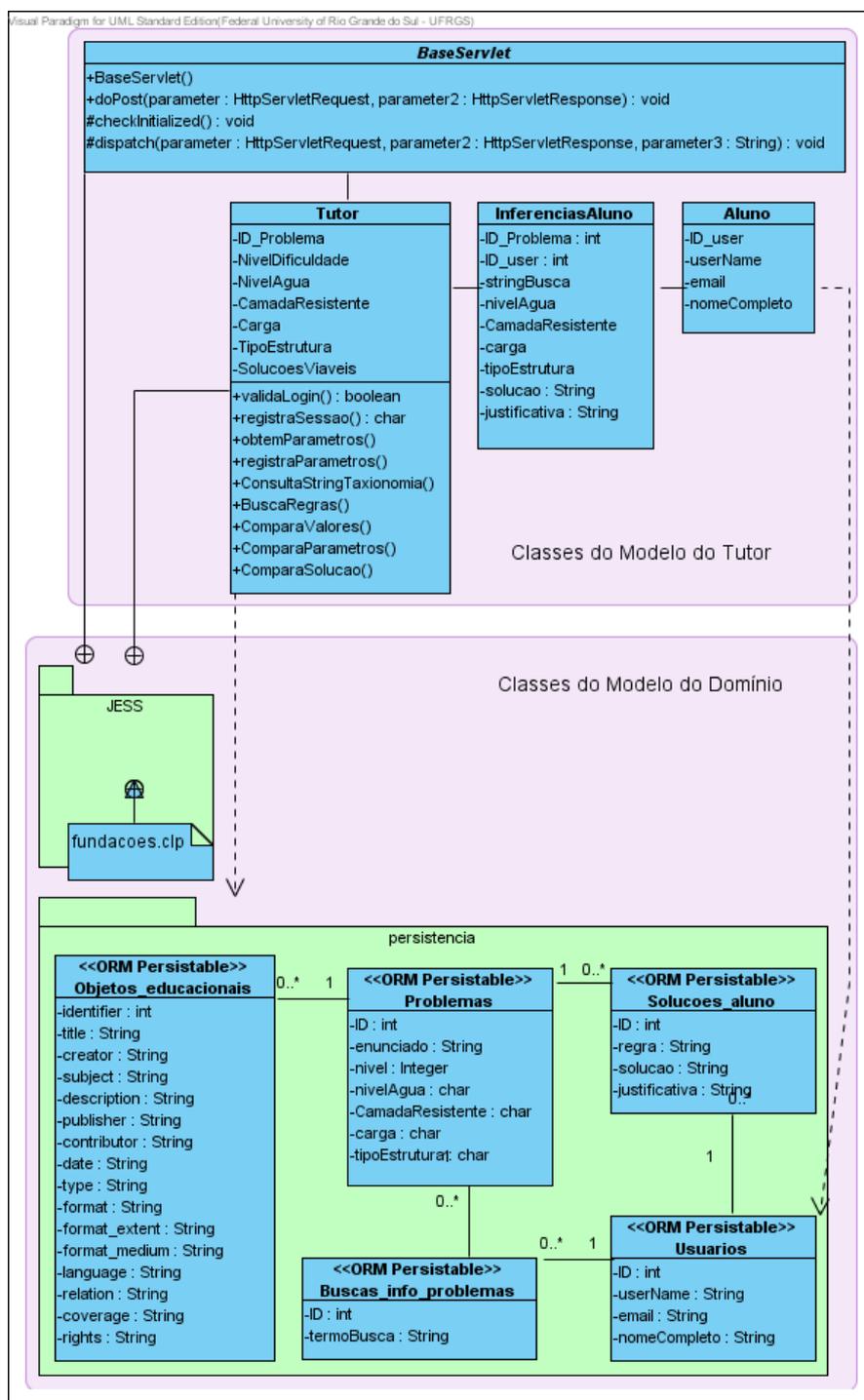


Figura 33: Diagrama de classes da camada de controle e suas relações com as classes do modelo do domínio (Figura 24).

A indexação das informações e dos recursos educacionais obedece às etapas da estratégia

baseada na elaboração de projetos (Figura 31) e do processo de escolha do tipo de fundação (Figura 32), ou seja, para cada conceito abordado durante o processo existe um conjunto de recursos que pode ser solicitado pelo aluno ao STI ou sugerido ao aluno pelo STI.

O controle e aplicação das táticas de avaliação do aluno e de instrução personalizada são realizadas por classes e métodos que têm a função de obter as informações a partir das inferências do aluno na interface, avaliar as inferências, solicitar informações do modelo do aluno e do domínio (sempre que necessárias), gravar registros no modelo do aluno e decidir o quê, quando e como apresentar ao aluno. O diagrama apresentando as classes do modelo do tutor e suas relações com as classes do modelo do domínio são apresentadas na Figura 33.

No próximo capítulo é apresentado o protótipo do STI, com a descrição das tecnologias que o compõem e do funcionamento geral do sistema pelo ponto de vista do usuário.

4 DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO

O STI possui um conjunto de recursos que estão disponíveis ao aluno no menu localizado horizontalmente, abaixo da área que apresenta o nome do sistema. Para acessar a área de resolução de problemas é necessário clicar no link **simulador de projetos**. A primeira ação do aluno no sistema é realizar o *login* (Figura 34). Os dados fornecidos pelo aluno são comparados aos registros no banco de dados (tabela usuários na Figura 27) e, se forem validados, uma sessão do aluno é criada e a tela para seleção de problemas é apresentada.



Figura 34: Tela de login no STI.

Os problemas têm níveis de dificuldade diferenciados (Figura 35) e, nessa tela, o aluno pode selecionar qualquer um deles. Ao clicar em um problema, o sistema avança para a área onde será apresentado o enunciado e cria uma outra variável de sessão. Essa nova variável assume um valor que identifica o problema escolhido.

A sessão de usuário tem, portanto, um par de variáveis, cuja a função é identificar o aluno e o problema que ele está resolvendo. O processo de solução de um problema se desenrola por uma seqüência de etapas e as variáveis permitem que o sistema identifique, ao longo de uma sessão de uso, o aluno e qual o problema ele está no momento. Todas as ações executadas estão vinculadas a um aluno e a um problema e, dessa forma, o modelo do aluno vai sendo

construído.



Figura 35: Tela inicial do simulador de projetos, com o conjunto de problemas a serem resolvidos.

Ao escolher um problema, clicando sobre ele, o aluno é levado para a área de resolução deste problema específico. Nessa área o aluno encontra o enunciado do problema, onde apresenta-se uma simulação de uma situação real, que ocorre na prática profissional. O problema é definido de forma que não apresente explicitamente valores para parâmetros de projeto.

Pressupõe-se que esse subterfúgio leve o aluno a se confrontar com uma situação que faz parte da dinâmica e da natureza do trabalho do engenheiro. Em geral, os projetos de fundações têm como ponto de partida o tipo de edificação que irá se construir e o local onde a obra será realizada. É tarefa do engenheiro identificar variáveis iniciais de projetos e verificar condições impostas. A partir daí, parte-se para a solicitação de informações complementares e equacionamento do problema. Em síntese, o enunciado do problema emula uma situação em que o aluno está sendo contratado para fazer o projeto de fundações de uma edificação (Figura 36).

Para propor uma solução de projeto, pressupõe-se que o aluno saiba solicitar as informações básicas para executar um projeto confiável e que tenha a capacidade de analisar

as possíveis soluções para o problema proposto. Em uma situação real, o aluno deveria solicitar ao contratante (ao STI) informações sobre o tipo de estrutura para a qual ele estaria projetando as fundações e, por consequência, o nível de carregamento imposto ao solo, por esta estrutura. Ainda seria necessário informações complementares, como informações do subsolo.

A estratégia de não disponibilizar explicitamente os dados e forçar o aluno a buscá-los no STI foi complementada por uma ferramenta de busca. Sendo assim, sem que haja indução quanto aos conceitos e informações necessárias à solução do problema, aluno pode solicitar informações que ele julgue necessárias para realizar o projeto. Esta ferramenta de busca possui um vocabulário associado às variáveis de projeto que o aluno deve buscar (nível de carregamento, nível d'água e perfil do solo). O tipo de estrutura, que é a quarta variável, está implícita no enunciado do problema. Se o aluno tentar apresentar uma solução, sem ter encontrado todas as variáveis, o sistema detecta quais informações não foram solicitadas ou encontradas e sugere conteúdo complementar.



Figura 36: Área de resolução de um problema específico, com a definição do problema e ferramentas para operar sobre o domínio.

Quando a expressão utilizada na busca encontra correspondência a um termo do vocabulário associado a uma variável de projeto, o registro é apresentado para o aluno. Na Figura 37 pode-se observar o resultado da busca para a pesquisa sobre o nível de carregamento, com a informação em forma de uma planta de cargas. As informações apresentadas ao aluno não fornecem valores de forma objetiva, mas gráficos e imagens que exigem interpretação para obtenção de dados. As Figuras 37, 38, 39 e 40 demonstram como as informações são apresentadas. Essa forma de obtenção de dados é a mesma que o aluno-engenheiro irá encontrar na sua atividade profissional.

Além das informações necessárias para o encaminhamento da solução do projeto, estão disponíveis outras informações que não estão diretamente ligadas à solução do problema, mas que fazem parte do escopo da disciplina de Projeto de Fundações, disciplina do Departamento de Engenharia Civil da UFRGS, e que servem de material de apoio ao aluno. Essas informações estão disponíveis no menu principal e dão acesso direto ao repositório de objetos educacionais, ao dicionário de expressões técnicas inglês-português de Engenharia Geotécnica, aos livros eletrônicos e à links diversos da área, sendo que o aluno pode consultar a qualquer momento.

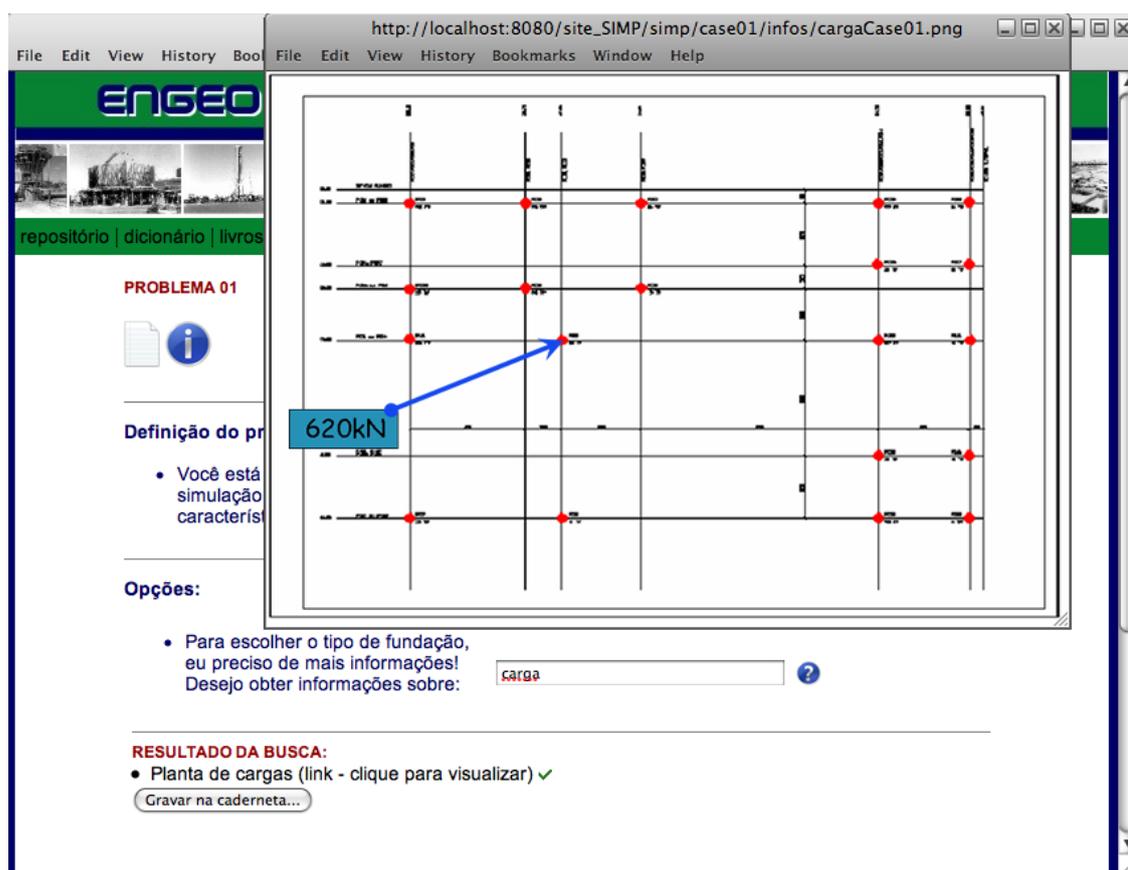


Figura 37: Resultado da busca para a pesquisa sobre o nível de carregamento.

PROFUNDIDADE	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
0,5	areia-argilosa
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	argila-siltosa
4,5	
5,5	
6,5	silte argiloso
7,5	
8,5	
9,5	
10,5	
11,5	
12,5	
13,5	

Figura 38: Gráfico de descrição da estratigrafia do solo proveniente da busca por informações do subsolo.

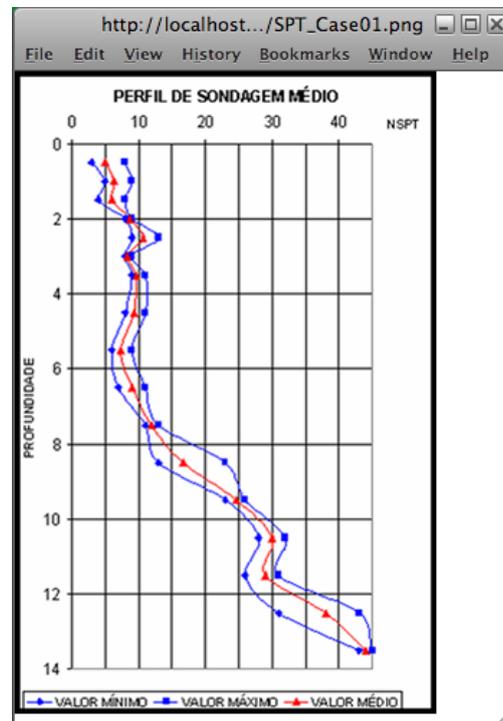


Figura 39: Gráfico apresentando perfil de sondagem SPT proveniente da busca por informações do subsolo.

Uma vez que o aluno tenha encontrado algum registro relacionado ao problema, essa informação pode ser armazenada para que fique disponível, a qualquer momento, durante as etapas posteriores da solução do problema. Para isso, basta que o aluno clique no botão **Gravar na caderneta** (Figura 37). Essa solicitação faz com que a informação encontrada fique disponível para ser acessada a partir da ferramenta Caderneta de Campo e vinculada ao problema em questão.



Figura 40: Imagem de satélite proveniente da busca pelo local de execução da obra.

A caderneta de campo é um recurso usado habitualmente por engenheiros para anotações diversas e a ferramenta implementada no STI tem o mesmo objetivo: permitir que o aluno-engenheiro possa tomar notas de informações pertinentes ao problema que está sendo resolvido e consultá-las a qualquer momento. O acesso ao recurso se dá pelo ícone de um bloco de anotações localizado no canto superior esquerdo (Figura 41). A janela que abre apresenta as informações gravadas a partir do resultado das buscas ou de anotações realizadas diretamente na caderneta de campo. O aluno pode gravar qualquer informação, proveniente de qualquer fonte, que julgue relevante para a solução do problema.



Figura 41: Acesso à caderneta de campo e anotações gravadas.

No momento em que o aluno julgar-se apto ele prossegue para a próxima etapa clicando no botão **Avançar**. Nesse momento, o tutor avalia a atuação do aluno e, se identificar que o aluno não obteve todas as informações necessárias para realizar um projeto confiável, sugere conteúdo de acordo com a deficiência detectada. O alerta é mostrado na tela e o aluno tem a opção de visualizar as sugestões do tutor (Figura 42).

O STI oferece o grupo completo de variáveis representadas no modelo do domínio (Quadro 4) e dessas opções deve-se determinar o subconjunto que representa os parâmetros corretos para o problema que deve ser resolvido. A tela mostrando essa etapa da solução do problema é apresentada na Figura 43.

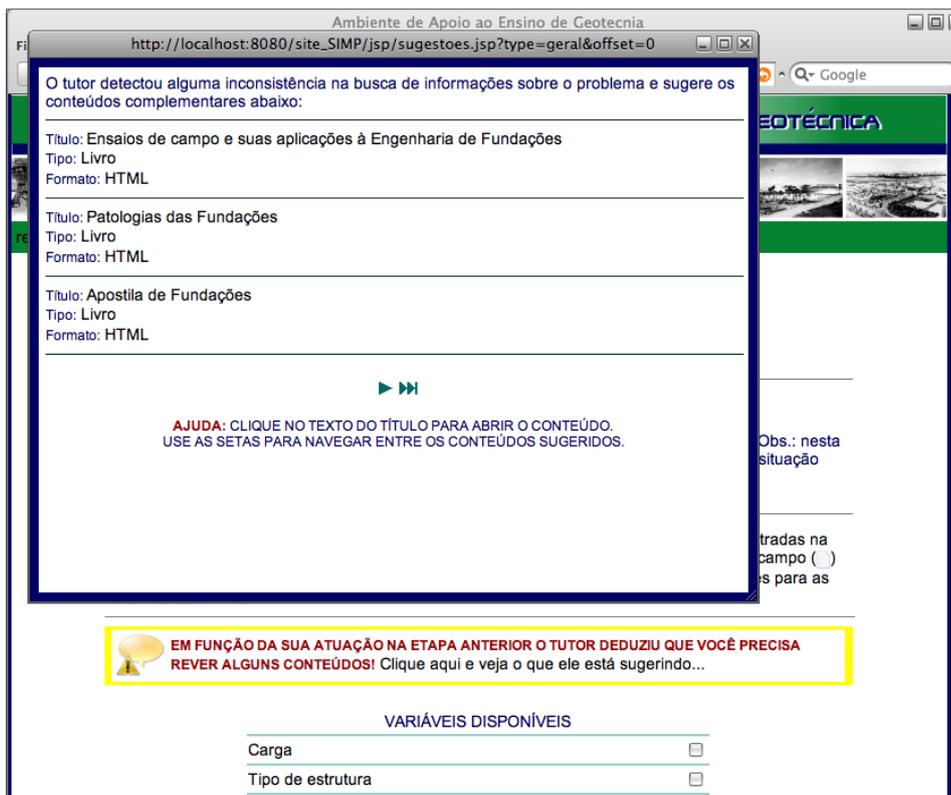


Figura 42: Janela na camada inferior mostrando a intervenção do tutor em função da avaliação do desempenho do aluno. Na janela sobreposta encontra-se o conteúdo sugerido para o aluno estudar.

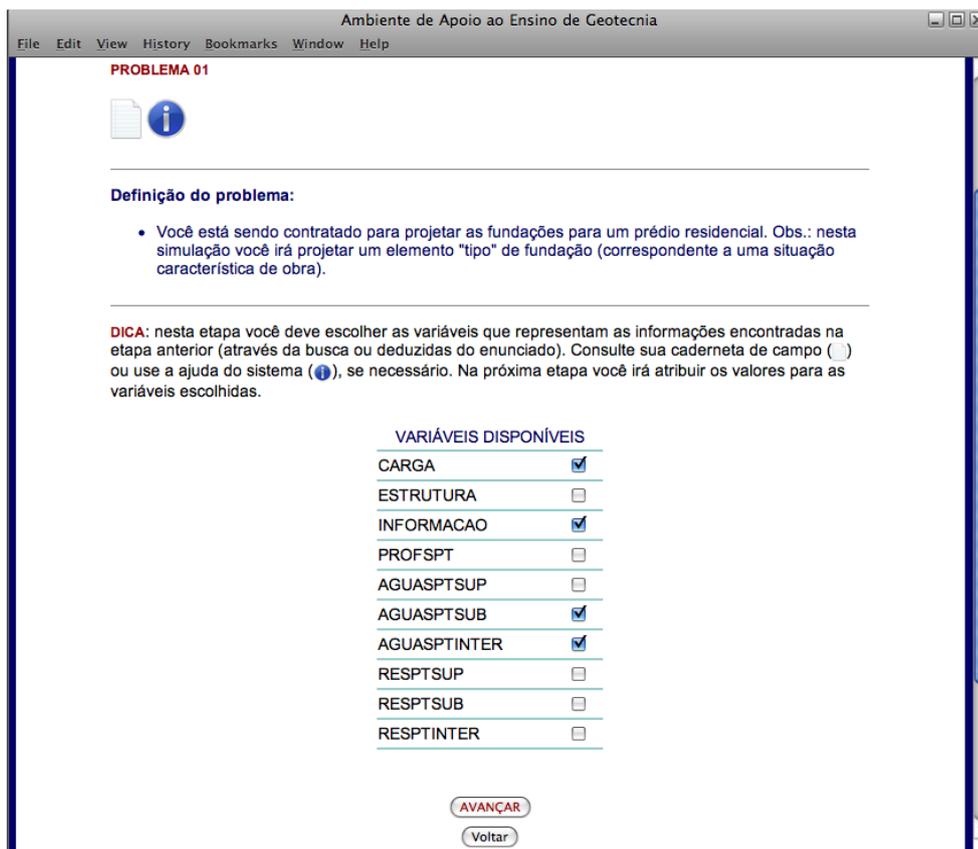


Figura 43: Conjunto completo de variáveis disponíveis no sistema.

A seleção correta das variáveis é, evidentemente, um item relevante no processo de solução do problema. Contudo, além da escolha correta das variáveis, a atribuição dos valores configura-se como um elemento de igual importância. Nesse aspecto, fica clara a exigência da interpretação acurada do enunciado do problema e a solicitação precisa, ao STI, das condições de contorno de onde pode-se obter as variáveis complementares bem como seus valores.

A etapa seguinte diz respeito à atribuição de valores para as variáveis escolhidas na fase anterior (Figura 43). Os valores que podem ser assumidos foram apresentados na Quadro 4 e estão indexados a suas respectivas variáveis. Uma representação dessa etapa pode ser visualizada na

Figura 44: Atribuição de valores às variáveis relacionadas ao problema em questão.

Na última etapa de solução do problema, o sistema apresenta a *Left Hand Side* (LHS)³⁷

³⁷ Uma regra de produção é composta por um padrão de fatos a serem comparados com as inferências da memória de trabalho (chamada *Left Hand Side* - LHS) e pelas ações a serem executadas (*Right Hand Side* - RHS), caso a comparação dos fatos da memória de trabalho encontrem equivalência no padrão (LHS) da regra.

para o conjunto de variáveis e valores definidos pelo aluno. Juntamente com a LHS da regra, o STI solicita ao aluno a escolha dos tipos de fundação que representam as soluções tecnicamente viáveis para o problema e a justificativa para tais escolhas (Figura 45). Esses últimos dois itens do processo de solução compõem a RHS. Uma vez que a regra está definida, ela passa a integrar o modelo do aluno.

A regra do aluno gerada ao longo da interação com o STI pode ser comparada com a regra do especialista para um dado problema. Essa comparação pode ser solicitada pelo aluno através do botão **Comparar solução** (Figura 46).

Figura 45: Etapa final de solução do problema.

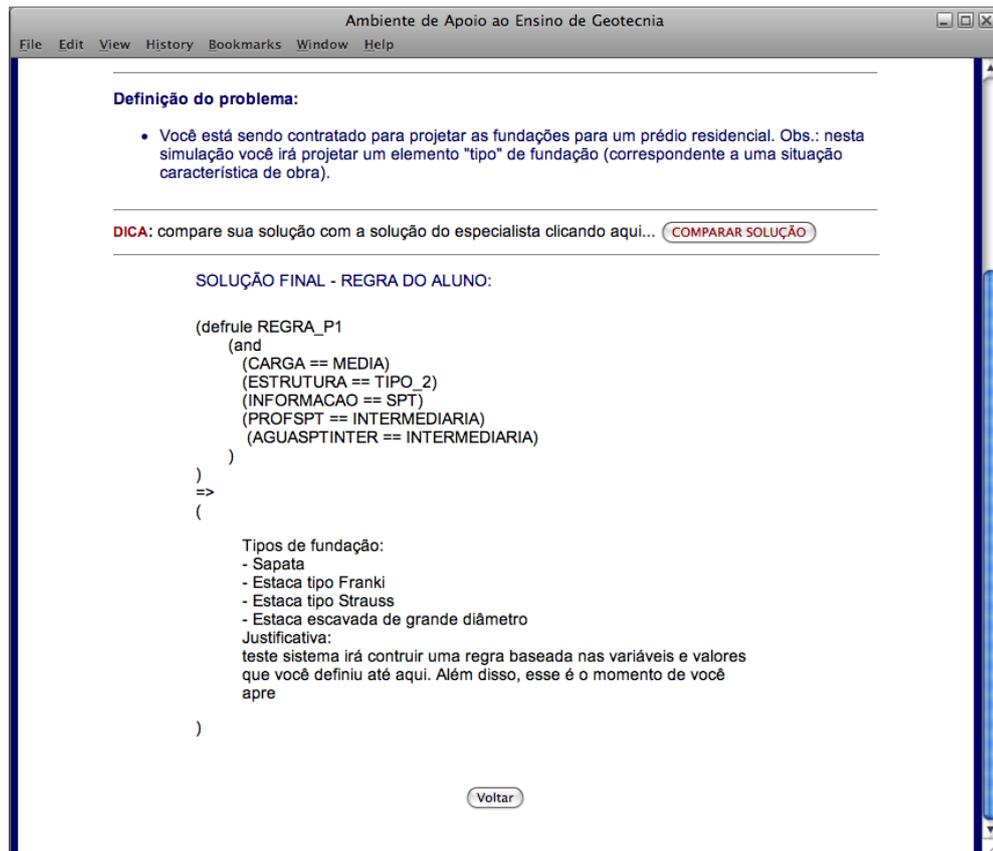


Figura 46: Resultado apresentando regra criada pelo aluno e a possibilidade de aluno comparar a sua solução com a do especialista.

O aluno pode resolver um problema quantas vezes desejar. Após ter resolvido o problema escolhido, ele pode tanto resolver o mesmo problema novamente quanto resolver outro problema disponibilizado pelo sistema. Os resultados das sugestões de conteúdo (que estão vinculadas às deficiências conceituais e de conhecimento do aluno) e as regras geradas pelo aluno ficam armazenadas no modelo do aluno. Com isso, se cria a possibilidade de o sistema aprimorar as sugestões de conteúdo da mesma forma que a identificação das deficiências do aluno começam a ficar mais evidentes na medida em que os conceitos e conhecimentos identificados como deficientes se repetem na solução dos problemas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS FUTURAS DE TRABALHO

Considerando que a finalidade desta Tese é contribuir para os aspectos pedagógicos do Ensino de Engenharia, através da implementação da ABP em um STI, os resultados alcançados permitem afirmar que os objetivos foram alcançados, especialmente em relação a:

- Concepção, desenvolvimento e implementação de um STI capaz de abordar problemas cognitivos e pedagógicos relativos ao ensino de Engenharia, particularizado para 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;

- Implementar estratégia pedagógica fundamentada no modelo cognitivo do engenheiro e baseada em elaboração didática de projeto, destinada ao desenvolvimento de habilidades desejáveis para o futuro profissional de Engenharia, bem como para reduzir a 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;

- Implementar um modelo de domínio composto de um conjunto de recursos educacionais multimídia e do conhecimento, além de uma base de regras que representa a perícia de um especialista humano sobre Engenharia de Fundações;

- Vincular os recursos educacionais às etapas de concepção de obras de fundação, de forma a associá-los ao conhecimento do especialista e do aluno, permitindo que o sistema faça sugestões relevantes de conteúdos durante a atividade de resolução de problemas;

- Utilizar a técnica de *Overlay* para representar o conhecimento e aspectos do raciocínio do aluno. A técnica permite a comparação com as regras definidas a partir do conhecimento do especialista, sendo inédita no desenvolvimento de sistemas tutores para o ensino de engenharia;

- Conceber e desenvolver uma interface Web que torne possível a implementação da estratégia proposta, que permita que os alunos interajam com o domínio a partir de um conjunto de problemas sobre Engenharia de Fundações, que comporte a visualização dos recursos educacionais do repositório sempre que necessário ou que o aluno desejar, e que

forneça *feedback* ao aluno, interativamente, na forma de dicas, sugestões e questionamentos;

Com base no desenvolvimento realizado, é possível ainda tecer algumas considerações de caráter mais geral. 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 desenvolvimento do STI. No caso dessa Tese, a Engenharia, a Computação e Educação.

Em versões futuras desse sistema, deve ser implementado um conjunto maior de problemas de Engenharia de Fundações, com diferentes graus de dificuldade. Outra sugestão é a implementação ampliação das regras, dando maior robustez STI. Essas novas regras levarão em consideração o estado da arte na solução de problemas de Engenharia de Fundações. Além disso, a incorporação de agentes agregaria características que ampliariam a possibilidade de interação do STI com o aluno através das capacidades de percepção do meio, comunicação, mobilidade e autonomia associadas a essas entidades de software.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPERT, S. R.; SINGLEY M. K.; FAIRWEATHER, P. G. Deploying Intelligent Tutors on the Web: an architecture and an example. **International journal of artificial intelligence in education**, AIED, Glasgow, Scotland, UK , v.10, p.183-197. 1999.

AMORIM, F. A. S.; MARTINS FILHO, P. D. Sobre a importância do estudo da metodologia de projeto no ensino de engenharia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA**. 29., PUC-RS, Porto Alegre. Anais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Ensino de Engenharia, 2001. (CD-ROM).

Ausubel, D.P.; Novak, J.D.; Hanesian, H. **Educational psychology**. New York: Holt, Rinehart and Winston. Publicado em português pela Editora Interamericana, Rio de Janeiro, 1980.

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.

BANK, D. **The Java Saga**. Disponível em < http://www.wired.com/wired/archive/3.12/java.saga_pr.html > . Acesso em Jun. de 2004.

BAYLOR, A. L.; KIM, Y. Pedagogical Agent Design: the impact of agent realism, gender, ethnicity and instructional role. In: **INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS: 7th International Conference, ITS 2004**, 7. 2004, Maceió, Alagoas, Brazil. Proceedings. v.1, n.1, p.592-603. Berlin: Springer-Verlag, 2004.

BAZZO, W.; PEREIRA, L. T. do V. **Introdução à engenharia: conceitos, ferramentas e comportamentos**. 1.ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

BECK, J.; STERN, M.; HAUGSJAA, E. Applications of AI in Education. **ACM Crossroads, Association for Computing Machinery Journal**. 1996. Disponível em: < <http://www.acm.org/crossroads/xrds3-1/aied.html> > . Acessada em 12 de Jan. de 2007.

BERNERS-LEE, T. **Information management: a proposal**. Hypertext proposal. Internal Report. CERN, 1990. Disponível em <http://www.w3.org/History/1989/proposal.html>. Acesso em Fev. de 2005.

BERTOLETTI, A. C. **SAGRES – Um sistema com apresentação adaptável de informações e suporte à interação em grupo**, 1997. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação. Porto Alegre – RS, Brasil, 1997.

BOUTINET, J. P. **Antropologia do projeto**. 5. ed. Porto Alegre: ARTMED Editora, 2002.

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

BUSH, V. **As We May Think**. Disponível em <<http://www.w3.org/History/1945/vbush/>>. Acessado em Fev. de 2005.

CARNEIRO, M. L. F.; GELLER, M.; TAROUCO, L. M. R. Groupware e os ambientes de EAD. **Revista informática na educação: teoria e prática**. Porto Alegre, v.5, n.2, p.11-21, Nov. de 2002.

CARR, B.; GOLDSTEIN, I. **Overlays: a theory of modeling for computer-aided instruction**, Technical Report, AI Lab Memo 406, MIT. 1977.

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

BYUNG-IN, C. et al. A Curriculum Planning Model for an Intelligent Tutoring System. In: **International Florida AI Research Society Conference, FLAIRS-99**, 12., 1999, Orlando, FL, USA. Proceedings. p.197-201. AAAI Press, 1999.

CURILEM G.M.J.; AZEVEDO F.M. Implementação dinâmica de atividades num sistema tutor inteligente. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, SBIE 2001**, 12., 2001, Vitória, Espírito Santo, Brasil. Anais. Disponível em <<http://www.inf.ufes.br/~sbie2001/figuras/artigos/a114/a114.htm>>. Acessado em 25 de Jan. de 2007.

FENRICH, P. **Creating instructional multimedia solutions: practical guidelines for the real world**. Santa Rosa, CA, USA: Informing Science Press, 2005.

FERREIRA, A. B. H. **Aurélio século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3. ed. Curitiba: Editora Positivo, 2004.

FERREIRA FILHO, R. C. M. et al. Produção e implantação do modelo de curso à distância via web. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA: o ensino da graduação e suas interfaces com a pós-graduação, a pesquisa e a extensão**, 31., Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003-a.

FERREIRA FILHO, R. C. M. et al. Robótica Industrial: experiencia de desarrollo e implantación de un curso a distancia. In: **CONGRESO INTERNACIONAL EDUTEC' 2003: gestión de las tecnologías de la información y la comunicación en los diferentes ámbitos educativos**, 2003, Caracas - Venezuela. Proceedings. Disponível em: <<http://www.ucv.ve/edutec/Ponencias/11.doc>>. Acesso em Dez. de 2003-b.

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.

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.

FERREIRA FILHO, R. C. M. et al. Implementação de Sistema Tutor Inteligente para Geotecnia. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO**, 15., 2004, Manaus - AM. Anais, v.1, n.1, p.625-627. Manaus – AM: Editora da Universidade Federal do Amazonas, 2004-c.

FERREIRA FILHO, R. C. M. et al. Proposta de sistema tutor inteligente para engenharia geotécnica. Renote - **Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.cinted.ufrgs.br/renote/>>. Acesso em Dez. de 2004-d.

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.

FRIEDMAN-HILL, E. **Jess in action: rule-based systems in Java**. Greenwich: Manning Publications Co., 2003.

GAVA, T. B. S. **Estações de aprendizagem: um modelo baseado em ontologias**, 2003. Tese (doutorado). Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Vitória – ES, Brasil, 2003.

GENESERETH, M.; NILSSON, N. J. **Logical foundations of Artificial Intelligence**. Los Altos, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1987.

GIRAFFA, L. M. M. **Fundamentos de teorias de ensino-aprendizagem e sua aplicação em sistemas tutores inteligentes**. Trabalho Individual, TI - 487. Porto Alegre: CPGCC/UFRGS, 1995.

GUEDES, G. T. A. **UML 2: guia prático**. São Paulo: Editora Novatec, 2007.

HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Pini, 1998.

HALL, L. et al. Design empathic agents: adults versus kids. In: **INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS: 7th International Conference, ITS 2004**, 7., 2004, Maceió, Alagoas, Brazil. Proceedings. v.1, n.1, p.604-613. Berlin: Springer-Verlag, 2004.

HALFF, H. M. Curriculum and Instruction in Automated Tutors. In: POLSON, M.; RICHARDSON, J. J. **Foundations of Intelligent Tutoring Systems**. p.79-108. Hillsdale, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1988.

HARTLEY, J. The design and evaluation of an adaptive teaching system. **International journal of man-machine studies**. v.2, p.421-436. 1973.

HARTLEY, J.; SLEEMAN, D. Towards more intelligent teaching systems. **International journal of man-machine studies**. v.2, p.215-236. 1973.

HERNÁNDEZ, F. **Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho**. 5. ed. Porto Alegre: ARTMED Editora, 1998.

HERNÁNDEZ, F.; VENTURA, M. **A organização do currículo por projetos de trabalho: o conhecimento é um caleidoscópio**. 5. ed. Porto Alegre: ARTMED Editora, 1998.

JAVA COMMUNITY PROCESS. **Community Development of Java Technology Specifications**. Disponível em <<http://jcp.org>>. Acesso em Jun. de 2004-a.

JAVA COMMUNITY PROCESS. JSR 54: **JDBC™ 3.0 Specification**. Palo Alto, CA-USA: Sun Microsystems Inc, 2001.

JAVA COMMUNITY PROCESS. **JSR 154: Java™ Servlet 2.4 Specification**. Santa Clara, CA-USA: Sun Microsystems Inc, 2003.

JAVA COMMUNITY PROCESS. JSR 245. **JavaServer™ Pages 2.1**. Santa Clara, CA-USA: Sun Microsystems Inc, 2004-b.

JOHN MCCARTHY'S HOME PAGE. Página pessoal do Professor John McCarthy. Disponível em: < <http://www-formal.stanford.edu/jmc/>>. Acesso em: 07 de Jan. de 2007.

KEARSLEY, G. **Explorations in learning and instruction: the theory into practice database**. Disponível em: <<http://tip.psychology.org>>. Acesso em: 15 Dez. de 2006.

KONZEN, A.A, FROZZA, R. Clever Tutor: an intelligent tutor system applying a hybrid strategy of teaching. In: **IASTED – INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS AND ADVANCED TECHNOLOGY IN EDUCATION (CATE 2000)**. Proceedings... Cancun, México, p. 148-158, 2000.

KURZWEIL, R.. **The age of intelligent machines**. Cambridge: MIT Press, 1992.

LONGO, W. P. Alguns impactos do desenvolvimento científico e tecnológico. **DataGramaZero** - Revista de Ciência da Informação, Rio de Janeiro, v.8, n.1, Fev. 2007.

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

MAJOR, N.; REICHGELT, H. COCA: a shell for intelligent tutoring systems. In: **INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS: 2nd International Conference, ITS 1992**, 1992, Montréal, Canada. Proceedings. v.1, n.1, p.523-530. Berlin: Springer-Verlag, 1992.

MARTINI, R. M. A influência do Positivismo na educação do engenheiro: Comte injustiçado? (Tentando uma abordagem imparcial da obra de Comte). In: SCHNAID, F; M. A. ZARO; TIMM, M. I. **Ensino de engenharia: do positivismo à construção das mudanças para o século XXI**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

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.

McTAGGART, J. **Intelligent Tutoring System and education for the future.** CI 512X. Literature Review, 2001.

MEDEIROS, L. M. S. Argumentos em favor do desenho projetual na educação. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional.** Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001.

MILITITSKY, J. O Desafio de formar engenheiros como transformadores sociais. **Engenharia.** Porto Alegre: Escola de Engenharia da UFRGS. v.1, n.9, p.2, Ago. de 1998. Suplemento mensal.

MORAN, J. M. **Mudanças na comunicação pessoal: gerenciamento integrado da comunicação pessoal, social e tecnológica.** São Paulo: Paulinas, 1998.

MORAN, J. M. Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologia. **Revista Informática na Educação: teoria e prática.** Porto Alegre. v.3, n.1, p.137-144, Set. de 2000.

MURRAY, T. Authoring Intelligent Tutoring Systems: an analysis of the state of the art. **International journal of artificial intelligence in education, AIED,** Glasgow, Scotland, UK, v.10, p.98-129. 1999.

NAKABAYASHI, K. et al. Architecture of an Intelligent Tutoring System on the WWW. In: **8TH WORLD CONFERENCE OF THE AIED SOCIETY: knowledge and media in learning systems,** 8., 1997, Kobe, Japan. Proceedings. 1997. Disponível em < http://www.contrib.andrew.cmu.edu/~plb/AIED97_workshop/Nakabayashi/Nakabayashi.html >. Acessada em 29 de Jan. de 2007.

NAVEIRO, R. M. Conceitos e metodologia de projeto. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional.** Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001.

NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. Evolução e atualidade do projeto. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional.** Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001.

NELSON, T. H. **Xanalogical Structure, Needed Now More than Ever:** Parallel Documents, Deep Links to Content, Deep Versioning and Deep Re-Use. Disponível em <http://www.xanadu.com.au/tes/XUsurvey/xuDation.html>. Acesso em Fev. de 2005.

NOBRE, J. C. S. ET AL. Aprendizagem Baseada em Projeto (Project-Based Learning – PBL) aplicada a software embarcado e de tempo real. **17º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação.** 17., 2006, Brasília. Anais. ISBN 85-7669-094-2. 2006. Disponível em <<http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=736>> Acessado em Dezembro de 2006.

OLIVEIRA, V. F. A importância do projeto no processo de ensino/aprendizagem. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional.** Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001.

PAHL, G. ET AL. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações.** São Paulo: Edgar Blücher, 2005.

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

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.

QUARESMA, A. R. et al. Investigações geotécnicas. In: HACHICH, W. et al. **Fundações: teoria e prática.** 2 ed. São Paulo: Pini, 1998.

REZENDE, S. O. **Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações.** Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

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

SANCHO, J. M. **Para uma Tecnologia Educacional.** Porto Alegre: ArtMed, 1998.

SANTOS, G. H. R.; VIEIRA, F. M.; HASEGAWA, R.; NUNES, M. G. V. SASHE: Autoria de aplicações hipermídia para o ensino. In: **VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO**, 8., 1997. São José dos Campos. Anais. p.425-440. São Paulo: ITA, 1997.

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.

SCHNAID, F.; NACCI, D.; MILITITSKY, J. **Aeroporto Internacional Salgado Filho: infra-estruturacivil e geotécnica**. 1ª ed. Porto Alegre: Editora Sagra-Luzzato, 2001.

SCHNAID, F. Núcleos de Pesquisa em Ensino de Engenharia são necessidade urgente! In: SCHNAID, F; M. A. ZARO; TIMM, M. I. **Ensino de engenharia: do positivismo à construção das mudanças para o século XXI**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

SCHNAID, F.; BARBOSA, F.; TIMM, M. I. Cabeça de engenheiro. In: SCHNAID, F; M. A. ZARO; TIMM, M. I. **Ensino de engenharia: do positivismo à construção das mudanças para o século XXI**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2006.

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.

SILVEIRA, M. A. **A formação do engenheiro inovador : uma visão internacional**. Rio de Janeiro, PUC-Rio: Sistema Maxwell, 2005.

SILVEIRA, M. A. Planificação de conteúdos e de problemas: um ensaio sobre a didática do conceito de estabilidade. **Revista de Ensino de Engenharia**, ABENGE, Brasília, v.22, n.1, p. 33-48, Jun. de 2003.

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). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Computação. Porto Alegre – RS, Brasil, 2001.

SMITH, R. J.; BUTLER, B. R.; LeBOLD, W. K. **Engineering as a Career**. McGraw Hill: New York, NY, 1983.

SOARES M. V. Diretrizes curriculares? O perfil desejado pela ABENGE do engenheiro do novo milênio pode ser alcançado? Uma proposta de caminho. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO EM ENGENHARIA**, 26., 1998, São Paulo. Anais. São Paulo : USJ/ABENGE, 1998.

SOUZA FILHO, R. S.; CASTRO, E. B. P. Auxílio informatizado ao processo de projeto. In: NAVEIRO, R. M.; OLIVEIRA, V. F. **O projeto de engenharia, arquitetura e desenho industrial**: conceitos, reflexões, aplicações e formação profissional. Juiz de Fora: Ed. UFJF, 2001.

SURAWEERA, P.; MITROVIC, A. An Intelligent Tutoring System for Entity Relationship Modelling. **International journal of artificial intelligence in education**, AIED, Glasgow, Scotland, UK , v.14, p.375-417. 2004.

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.

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.

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.

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.

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.

VICARI, R. M. **Tutor Prolog - idealização, projecto e desenvolvimento**, 1990. Tese (doutorado). Universidade de Coimbra. Doutorado em Engenharia Electrotécnica e Computadores. Coimbra, Portugal, 1990.

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

WESTBROOK, R. B. John Dewey (1859 - 1952). **Prospects**: quarterly review of comparative education. v.23, n.1 e 2, p.289-305, Berlin: Springer-Verlag, 1993.

ZABALA, A. **A prática educativa**: como ensinar. Porto Alegre: ARTMED Editora, 1998.

ZABALA, A. **Enfoque globalizador e pensamento complexo**: uma proposta para o currículo escolar. Porto Alegre: ARTMED Editora, 2002

APÊNDICE A

TIPOS DE ESTRUTURAS

Na tese as estruturas são classificadas, para fins de projeto de fundações, em 4 grupos, por necessidade de desenvolvimento do sistema:

- TIPO 1: são aquelas estruturas cuja segurança e função para a qual se destinam não é afetada pela ocorrência de eventuais recalques, como por exemplo: armazéns, depósitos, pavilhões e coberturas em geral.

- TIPO 2: são estruturas de obras correntes residenciais ou comerciais, tais como: prédios de apartamentos, prédios de escritório ou mistos.

- TIPO 3: são aquelas estruturas cuja segurança ou função para a qual se destinam é afetada pela ocorrência de eventuais recalques; são também chamadas de estruturas sensíveis a recalques. São exemplos deste tipo de estrutura: equipamentos e instalações industriais, tais como impressoras modernas, equipamentos com necessidade de manutenção de horizontalidade e/ou verticalidade rigorosa (balanças de precisão e base de radar), pontes rolantes.

- TIPO 4: são estruturas únicas e especiais, com características de solicitações e desempenho que não se enquadram nos tipos anteriores e que podem ser submetidas a situações de carga muito elevadas.

APÊNDICE B
NÍVEIS DE CARREGAMENTO

A solução de qualquer projeto de fundação requer, inicialmente, a caracterização do nível de carregamento (grandeza), tipo (compressão, tração, horizontal, vertical, inclinada) e atuação das cargas (permanente, acidental) que devem ser transmitidas ao solo através das fundações.

As informações necessárias sobre o carregamento são, geralmente, oriundas do projeto estrutural da construção. As solicitações sobre as fundações devem considerar todas as características específicas do problema, tais como: cargas permanentes, acidentais, peso próprio, ação de água (subpressão e empuxo), vento e outras solicitações geradas nas etapas construtivas e vida útil da obra.

O tipo de carregamento que o sistema trabalha foi limitado à carga vertical, axial, e centrada de compressão, como dito no item 3.2.3, conforme a tabela abaixo.

VALOR MÉDIO DA CARGA (P) (em toneladas)	CLASSIFICAÇÃO DO CARREGAMENTO
$P \leq 10$	MUITO BAIXO
$10 < P \leq 50$	BAIXO
$50 < P \leq 100$	MÉDIO
$100 < P \leq 300$	ALTO
$P > 300$	EXCEPCIONAL

APÊNDICE C
CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA DO SOLO

As regras de produção utilizadas no STI são derivadas do sistema especialista de Azevedo (1999) que levava em consideração duas formas de obtenção das características de resistência do solo: informações genéricas e *Standard Penetration Test* (SPT).

INFORMAÇÕES GENÉRICAS DO SOLO

Às vezes, na prática da engenharia, são disponíveis somente informações genéricas sobre o terreno. Estas informações, quando existem, geralmente referem-se à camada superficial (0 a 2 metros) ou também incluem a camada subsuperficial (2 a 6 metros).

As informações genéricas são aquelas observações visuais (qualitativas) que se referem à presença de água do solo, e à resistência da camada, geralmente definidas em relação à ferramenta necessária para a escavação da camada. Em termos gerais, a resistência da camada em função da ferramenta capaz de escavá-la, é definida a seguir:

- Pá comum instável: caracteriza a resistência daquele solo que pode ser escavado com pá comum e as paredes da escavação são instáveis (rompem);
- Pá comum estável: caracteriza a resistência daquele solo que pode ser escavado com pá comum e as paredes da escavação permanecem estáveis;
- Pá de corte: caracteriza a resistência daquele solo que não pode ser escavado com pá comum, necessitando para sua escavação, de pá de corte;
- Picareta: caracteriza a resistência daquele solo que não pode ser escavado com pá de corte, necessitando para sua escavação, de picareta;
- Martelete: caracteriza a resistência daquele solo que não pode ser escavado com picareta, necessitando para sua escavação, de martelete pneumático;
- Rocha aflorando: caracteriza a presença de rocha na camada superficial;
- Rocha confirmada: caracteriza a presença de rocha na camada subsuperficial.

As informações genéricas não são recomendáveis, mas em certos casos, constituem-se nas únicas informações disponíveis sobre o subsolo. Nestes casos, dependendo do nível de carregamento e do tipo de estrutura, algumas orientações gerais para a solução do projeto de fundações podem ser obtidas.

Em relação as informações genéricas do subsolo, o especialista adota algumas estratégias, baseadas em sua experiência, que são reproduzidas pela aplicação desenvolvida na tese, quando a mesma solicita ao usuário, durante uma consulta, dados referentes a esta modalidade de informação.

A ferramenta necessária para escavação de um solo, é indicadora, para o especialista, de outras informações implícitas nesta caracterização da resistência do mesmo. A partir, por exemplo, da informação fornecida por um cliente, de que só é possível escavar uma camada de solo através de picareta, martelo ou se no local a rocha aflora na superfície, o especialista conclui que não existe água livre nos vazios do solo. Somente em solos escaváveis com pá comum e pá de corte, admitem água nos seus vazios (AZEVEDO, 1999).

SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO OU SPT

A sondagem de simples reconhecimento do subsolo é o tipo de investigação mais empregada no Brasil (QUARESMA et al, 1998; SCHNAID, 2000). As informações obtidas na sondagem referem-se à identificação das camadas do subsolo, profundidade do lençol freático e ao índice de resistência à penetração (N_{SPT}) para a determinação qualitativa das condições de compacidade e consistência dos solos. Neste trabalho adota-se, além das camadas superficial (0 a 2 metros) e subsuperficial (2 a 6 metros), a camada intermediária (6 a 20 metros). No STI o aluno responderá ao sistema indicando em qual destas camadas o ensaio foi finalizado, indicando, no caso, a camada resistente (AZEVEDO, 1999).

A partir dos valores do índice de resistência à penetração (N_{SPT}), geralmente medidos a cada metro de avanço da sondagem, pode ser inferida, empiricamente, a resistência de cada camada de solo. Para definir a resistência de cada camada do subsolo, são considerados os valores do índice de resistência à penetração pertencentes à camada e, a partir deles, é definido um valor do índice (N_{SPT}) representativo da camada (QUARESMA et al, 1998; SCHNAID, 2000; AZEVEDO, 1999).

Eventualmente, com base nas informações da sondagem de simples reconhecimento do subsolo, o engenheiro de fundações pode julgar necessárias investigações complementares, a fim de conhecer melhor o comportamento do solo. As investigações complementares podem ser feitas através de amostras indeformadas ou parcialmente deformadas para ensaios de laboratório, ou através de ensaios de campo, tais como: prova de carga direta no terreno, ensaio de palheta (*Vane Test*), penetração estática (Cone) ou ensaios pressiométricos

(HACHICH et al., 1998; SCHNAID, 2000). Nenhum dos ensaios complementares serão considerados no desenvolvimento do STI deste trabalho Brasil.

APÊNDICE D
DESCRIÇÃO DOS METACAMPOS DUBLIN CORE

A tabela objetos_educacionais, que compõe a base de dados do STI, possui os elementos definidos pela Dublin Core, conforme descrições abaixo:

- elemento *title*: armazena o nome do recurso (nome pelo qual o recurso é formalmente conhecido).
- elemento *creator*: é uma entidade responsável por fazer o conteúdo do recurso. Pode ser representado por uma pessoa, organização, empresa, instituição,...
- elemento *subject*: o tópico do conteúdo do recurso. Tipicamente, será expresso como palavras-chaves, frases ou códigos de classificação que descrevem um tópico do recurso. Recomenda-se selecionar um valor de um vocabulário controlado ou esquema de classificação formal.
- elemento *description*: descreve o conteúdo do recurso. Exemplos de descrição incluem, mas não estão limitados a: um resumo, tabela de conteúdo, referência a representação gráfica do conteúdo,
- elemento *publisher*: representa a entidade responsável por fazer o recurso. Exemplos incluem uma pessoa, uma organização, um serviço.
- elemento *contributor*: responsável por fazer contribuições para o conteúdo do recurso. Da mesma forma que *Publisher*, pode ser representado por uma pessoa, organização ou serviço.
- elemento *date*: é associada a data de algum evento do ciclo de vida da pesquisa. Pode ser a data de criação ou de publicação do trabalho.
- elemento *type*: denota a natureza ou o gênero do conteúdo do recurso. Inclui termos que descrevem categorias gerais, funções, gêneros ou níveis de agregação do conteúdo.
- elemento *format*: descreve a manifestação física ou digital do recurso. Pode incluir o tipo de mídia, dimensões do recurso ou identificar o software, hardware ou outro equipamento necessário para disponibilizar ou desenvolver o trabalho.
- elemento *extent*: tamanho ou duração do recurso. É um refinamento do elemento *format*.
- elemento *medium*: representa o meio físico que o recurso é disponibilizado. É uma

refinamento do elemento *format*. Os possíveis valores são: application, audio, example, image, message, model, multipart, text, video

- elemento *identifier*: é uma referência única para o recurso em um dado contexto. Recomenda-se identificar o recurso por meio de *strings* ou números, conforme o tipo de identificação formal do sistema. Inclui o URI (Uniform Resource Identifier) mas não são limitados por ele, incluindo URL, DOI, ISBN,...

- elemento *source*: é uma referência a outro recurso do qual o atual é derivado no todo ou em parte. Pode ser referenciado por *strings* ou números, conforme um sistema de identificação formal.

- elemento *language*: representa a linguagem do conteúdo intelectual do recurso, conforme recomendações do RFC1766³⁸ e do padrão ISO 639.

- elemento *relation*: é uma referência a um recurso relacionado com o conteúdo do atual. Entram aqui as referências bibliográficas ou de onde vieram os dados.

- elemento *coverage*: delimita a extensão ou escopo do conteúdo do recurso - localização espacial, período de tempo ou jurisdição.

- elemento *rights*: armazena as informações dos direitos intelectuais sobre o recurso ou conteúdo.

³⁸ RFC é um acrônimo para o inglês *Request for Comments*. Ele é um documento que descreve previamente os padrões a serem considerados por cada protocolo da Internet. São definidos pela Internet Engineering Task Force (IETF). Disponível em <http://www.ietf.org/>.

APÊNDICE E
BASE DE REGRAS

Neste apêndice apresenta-se alguns itens base de regras modelada para o STI dessa Tese. As regras estão armazenadas em um arquivo de texto (fundações.clp) dentro da arquitetura do sistema.

```
/*
*****
*****
Sistema especialista para escolha do tipo de fundação.
Integrado ao sistema ENGEO, produto da dissertação
de mestrado de Raymundo Ferreira Filho,
e baseado da tese de Sérgio Lund Azevedo
*****
*****/

;(watch all)
(set-strategy depth)
;(view)

(deftemplate MAIN::FUNDACOES
  (declare
    (slot-specific TRUE)
    (backchain-reactive TRUE)
    (ordered FALSE)
  )
  (slot AGUASPTINTER
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot ESTRUTURA
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot PROFSPT
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot RESPTINTER
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot RESPTSUB
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot RESPTSUP
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot INFORMACAO
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot CAMADAGEN
    (type STRING)
    (default ""))
  (slot RESISTGENSUP
    (type STRING)
    (default ""))
  )

;;;;;;;;;;;;;
;;;;;;;;;;;;; ASSERTIVAS DE TESTE ;;;;;;;;;;;;;;
;;;;;;;;;;;;; utilizadas durante o desenvolvimento do sistema ;;;;;;
;;;;;;;;;;;;;
```

```

;(assert (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO))
;(assert (PROFSPT == INTERMEDIARIA))
;(assert (RESPTSUP == MUITO_BAIXA))
;(assert (RESPTSUB == ALTA))
;(assert (RESPTINTER == MUITO_ALTA))
;(assert (AGUASPTINTER == SUBSUPERFICIAL))

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;;;;;;;;;;;;;;; FIM DAS ASSERTIVAS DE TESTE ;;;;;;;;;;
;;;;;;;; utilizadas durante o desenvolvimento do sistema ;;;;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;;;;VISUALIZAÇÃO DAS CLAUSULAS CONDICIONAIS DE UMA REGRA;;;;;
;;;;;;;; utilizadas durante o desenvolvimento do sistema ;;;;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

;ppdefrule MAIN::REGRA20624)

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;;;;;;;; FIM CLAUSULAS CONDICIONAIS DE UMA REGRA ;;;;;;;;;;
;;;;;;;; utilizadas durante o desenvolvimento do sistema ;;;;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;;;;;;;;;;;;;;; REGRAS DO SISTEMA ;;;;;;;;;;;;;;;;;;
;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;

(defrule REGRA0033
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2)
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (or
      (RESISTGENSUB2 == A.PICARETA)
      (RESISTGENSUB2 == B.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB2 == C.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
  crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações

```

superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0034
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (or
      (RESISTGENSUB2 == A.PICARETA)
      (RESISTGENSUB2 == B.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB2 == C.ROCHA_CONFIRMADA)
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
  crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. "crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação. "crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). "crl
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0035
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (or
      (RESISTGENSUB2 == A.PICARETA)
      (RESISTGENSUB2 == B.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB2 == C.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada
  superficial."crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. "
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação. "
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). "
```

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0036
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_1 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (or
      (RESISTGENSUB2 == A.PICARETA)
      (RESISTGENSUB2 == B.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB2 == C.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego de fundação direta apoiada na camada superficial. "crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0037
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (or
      (RESISTGENSUB2 == B.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB2 == C.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada subsuperficial."crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf
```

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. " crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0038
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (RESISTGENSUB2 == A.PICARETA )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
   "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA" crlf
   "COMENTARIO" crlf
   " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s) mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo (informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
   " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0039
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
    (or
      (RESISTGENSUB2 == B.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB2 == C.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
   "Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada subsuperficial." crlf
   "COMENTARIO" crlf
   " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf
```

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. "crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0040

```
(and
  (ESTRUTURA == TIPO_2 )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (RESISTGENSUP == D.PICARETA )
  (RESISTGENSUB2 == A.PICARETA )
)
```

=>

```
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA " crlf
"COMENTARIO" crlf
```

" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s) mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo (informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0041

```
(and
  (or
    (ESTRUTURA == TIPO_1)
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
  )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
  )
  (AGUAGENSUB == A.NAO )
  (or
    (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
    (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
    (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
    (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
  )
)
```

=>

```
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
crlf
"COMENTARIO" crlf
```

```

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

```

```
(defrule REGRA0060
```

```

  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
  )

```

```
=>
```

```
(printout t "RESPOSTA:" crlf
```

```
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial." crlf
```

```
crlf
```

```
"COMENTARIO" crlf
```

```

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf

```

```

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação. " crlf

```

```

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações)." crlf

```

```

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

```

```
(defrule REGRA0061
```

```

  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
  )

```

```
=>
```

```

(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte
novamente o sistema." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0062
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação."
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

```

```

(defrule REGRA0063
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)

```

```

        (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
        (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
        (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
        (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
        (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
        (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
        (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada subsuperficial
com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
escoamento, etc)." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada subsuperficial. " crlf
" No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água,não
justificam o uso de tubulão como solução. " crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível,dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

(defrule REGRA0064
    (and
        (or
            (ESTRUTURA == TIPO_1)
            (ESTRUTURA == TIPO_2 )
        )
        (INFORMACAO == B.GENERICA )
        (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
            (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
            (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
        )
        (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
        (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água,

```

esgotamento d'água, escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível d'água. " crlf

"COMENTARIO" crlf

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. " crlf

" Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

" No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não justificam o uso de tubulão como solução, se a cota de assentamento do mesmo for inferior à cota do nível d'água. A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. " crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0065
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s) mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo (informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```

(defrule REGRA0066
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (or
      (AGUAGENSUB == A.NAO)
      (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    )
    (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
  mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
  (informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
  " Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
  "Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0067
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
  crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações)." ) )

```

```

(defrule REGRA0068
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial com
  medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
  escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota
  do nível d'água." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
  " Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o
  nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for
  inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em
  relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só
  poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações). " ) )

(defrule REGRA0069
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
  crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação. " crlf

```

```

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

(defrule REGRA0070
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
  mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
  (informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte
  novamente o sistema." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0071
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
  subsuperficial." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
  emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
  crlf
  " A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
  custos. " crlf

```

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação." crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações)." crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0072
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada subsuperficial
  com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
  escoamento, etc)." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada subsuperficial. " crlf
  " No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não
  justificam o uso de tubulão como solução. " crlf
  " Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
  localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
  à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
  executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0073
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
```

```

(INFORMACAO == B.GENERICA )
(CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
  )
(AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
(RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água,
esgotamento d'água, escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação
for inferior a cota do nível d'água. " crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o
nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for
inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em
relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só
poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
" No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não
justificam o uso de tubulão como solução, se a cota de assentamento do
mesmo for inferior à cota do nível d'água. A escolha de um dos tipos de
fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações)." crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0074
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
  )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf

```

```

"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte
novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0075
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (or
      (AGUAGENSUB == A.NAO)
      (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    )
    (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
  " Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0076
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
  crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf

```

```

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

(defrule REGRA0077
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial com
  medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
  escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota
  do nível d'água." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
  " Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o
  nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for
  inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em
  relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só
  poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações). " ) )

```

```

(defrule REGRA0078
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
  )
  =>

```

```

(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

(defrule REGRA0079
(and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
        (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
        (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). Após obtê-las, consulte
novamente o sistema." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0080
    (and
        (ESTRUTURA == TIPO_4 )
        (INFORMACAO == B.GENERICA )
        (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
            (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
            (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
        )
        (AGUAGENSUB == A.NAO )
        (or
            (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
            (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
            (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
            (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
        )
    )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf

```

"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada subsuperficial." crlf

"COMENTARIO" crlf

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. " crlf

" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação." crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações)." crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0081

```
(and
  (ESTRUTURA == TIPO_4 )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
  )
  (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
    (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
    (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
    (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
  )
)
```

=>

(printout t "RESPOSTA:" crlf

"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc)." crlf

"COMENTARIO" crlf

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego de fundação direta apoiada na camada subsuperficial. " crlf

" No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não justificam o uso de tubulão como solução. " crlf

" Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. " crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0082

```
(and
  (ESTRUTURA == TIPO_4 )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
  )
  (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
  (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
)
```

=>

(printout t "RESPOSTA:" crlf

"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível d'água. " crlf

"COMENTARIO" crlf

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. " crlf

" Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

" No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não justificam o uso de tubulão como solução, se a cota de assentamento do mesmo for inferior à cota do nível d'água. " crlf

" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. " crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0083

```
(and
  (ESTRUTURA == TIPO_4 )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
)
```

```

        (or
        (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
        (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
        )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
        (or
        (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
        (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL )
        )
    )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0084
    (and
    (ESTRUTURA == TIPO_1 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
        (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
        (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
        (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
        )
        (or
        (AGUAGENSUB == A.NAO)
        (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
        )
        (or
        (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
        (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE )
        )
    )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0085
    (and
    (ESTRUTURA == TIPO_1 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
        (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
        (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
        )
    )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

```

```

        (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
    (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
    (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
    (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0086
    (and
    (ESTRUTURA == TIPO_1 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
    (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
    (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
    (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água,
esgotamento d'água, escoamento, etc)." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o

```

emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. " crlf

" Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação." crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível,dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0087

```
(and
  (ESTRUTURA == TIPO_1 )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
  )
  (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
  )
)
```

=>

```
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda,porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

(defrule REGRA0088

```
(and
  (ESTRUTURA == TIPO_3 )
  (INFORMACAO == B.GENERICA )
  (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
  (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
  )
)
```

```

)
(or
(AGUAGENSUB == A.NAO)
(AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
)
(or
(RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
(RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE )
)
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0089
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " crlf

```

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0090
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada subsuperficial
  com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
  escoamento, etc)." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
  de fundação direta apoiada na camada subsuperficial. " crlf
  " No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água,não
  justificam o uso de tubulão como solução. " crlf
  " Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
  localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
  à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
  executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível,dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0091
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    )
  )
```

```

        (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
        (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda,porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0092
    (and
        (ESTRUTURA == TIPO_2 )
        (INFORMACAO == B.GENERICA )
        (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
            (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
            (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
            (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
        )
        (or
            (AGUAGENSUB == A.NAO)
            (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
        )
        (or
            (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
            (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE )
        )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda,porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0093
    (and
        (ESTRUTURA == TIPO_2 )
        (INFORMACAO == B.GENERICA )
        (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
            (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
            (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
            (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
        )
        (AGUAGENSUB == A.NAO )
        (or
            (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
            (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
        )
    )
)

```

```

        (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0094
    (and
        (ESTRUTURA == TIPO_2 )
        (INFORMACAO == B.GENERICA )
        (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
        (or
            (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
            (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
            (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
        )
        (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
        (or
            (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
            (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
            (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
        )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água,
esgotamento d'água, escoamento, etc)." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

```

" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação." crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0095
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s) mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo (informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
  " Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0096
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (or
      (AGUAGENSUB == A.NAO)
      (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    )
  )
  (or
```

```

        (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
        (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0097
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). "v
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações)." crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0098
  (and

```

```

(ESTRUTURA == TIPO_4 )
(INFORMACAO == B.GENERICA )
(CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
(AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA)
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada subsuperficial
com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
escoamento, etc)." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada subsuperficial. " crlf
" No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água,não
justificam o uso de tubulão como solução. " crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível,dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

(defrule REGRA0099
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
    )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf

```

```
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda,porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0100
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (or
      (AGUAGENSUB == A.NAO)
      (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
      (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA )
    )
  )
  =>
```

```
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda,porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0101
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
```

```

)
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações)." crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0102
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água,
esgotamento d'água, escoamento, etc)." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

```

" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. " crlf

" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma indicação. " crlf

" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações)." crlf

" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

```
(defrule REGRA0103
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s) mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo (informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
  " Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0104
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (or
      (AGUAGENSUB == A.NAO)
```

```

        (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    )
    (or
    (RESISTGENSUB3 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUB3 == C.PA_DE_CORTE)
    (RESISTGENSUB3 == D.PICARETA )
    )
)

=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0105
    (and
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
    (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
    (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
    (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == A.NAO )
    (or
    (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
    (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
    )
)

=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
subsuperficial." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
crlf
" A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
custos. " crlf
" Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
indicação." crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações)." crlf
" Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

```

```

(defrule REGRA0106
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == B.SUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB3 == E.MARTELETE)
      (RESISTGENSUB3 == F.ROCHA_CONFIRMADA )
    )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada
  subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água,
  esgotamento d'água, escoamento, etc)." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
  carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
  emprego de fundação direta ou tubulão apoiado na camada subsuperficial. "
  crlf
  " Como a fundação deverá ser assentada na camada inferior àquela onde se
  localiza o nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação
  à presença de água.No caso de rebaixamento d'água, o mesmo só poderá ser
  executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
  " A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de
  custos. " crlf
  " Salienta-se que a natureza da informação apresentada não é precisa nem
  recomendável, portanto a solução deve ser considerada apenas uma
  indicação." crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " crlf
  " Sobre generalidades, pressão admissível,dimensionamento e disposições
  construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
  superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações)." crlf
  " Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo,
  propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância dos
  tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0107
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    (INFORMACAO == B.GENERICA )
    (CAMADAGEN == SUPERFICIAL_E_SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUP == A.PA_COMUM_INSTAVEL)
      (RESISTGENSUP == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
      (RESISTGENSUP == C.PA_DE_CORTE )
    )
    (AGUAGENSUB == SUBSUPERFICIAL )
    (or
      (RESISTGENSUB4 == A.PA_COMUM_INSTAVEL)

```

```

        (RESISTGENSUB4 == B.PA_COMUM_ESTAVEL)
        (RESISTGENSUB4 == C.PA_DE_CORTE )
    )
)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0108
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2)
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4 )
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (RESPTSUP == BAIXISSIMA )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0109
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (or
      (RESPTSUP == MUITO_BAIXA)
      (RESPTSUP == BAIXA)
      (RESPTSUP == MEDIA)
      (RESPTSUP == ALTA)
      (RESPTSUP == MUITO_ALTA )
    )
    (AGUASPTSUP == NAO )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
crlf

```

```
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
" Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o
estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples
reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações)." ) )
```

```
(defrule REGRA0110
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (or
      (RESPTSUP == MUITO_BAIXA)
      (RESPTSUP == BAIXA)
      (RESPTSUP == MEDIA)
      (RESPTSUP == ALTA)
      (RESPTSUP == MUITO_ALTA )
    )
    (AGUASPTSUP == SIM )
  )
  =>
```

```
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial com
medidas especiais (rebaixamento de nível d'água, esgotamento d'água,
escoamento, etc.) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota
do nível d'água" crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o
nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for
inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em
relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só
poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
" Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o
estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples
reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )
```

```
(defrule REGRA0111
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (RESPTSUP == MUITO_BAIXA )
  )
```

```

)
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
"COMENTARIO" crlf
" A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
(informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
" Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
" Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0112
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (or
      (RESPTSUP == BAIXA)
      (RESPTSUP == MEDIA)
      (RESPTSUP == ALTA)
      (RESPTSUP == MUITO_ALTA )
    )
    (AGUASPTSUP == NAO )
  )
=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
" Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o
estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples
reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações)." ) )

(defrule REGRA0113
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2 )
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (or
      (RESPTSUP == BAIXA)
      (RESPTSUP == MEDIA)
      (RESPTSUP == ALTA)
      (RESPTSUP == MUITO_ALTA )
    )
    (AGUASPTSUP == SIM )
  )

```

```

=>
(printout t "RESPOSTA:" crlf
"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial com
medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água,
escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota
do nível d'água." crlf
"COMENTARIO" crlf
" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de
carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego
de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
" Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o
nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for
inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em
relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só
poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf
" Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o
estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples
reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). " crlf
" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
fundações). " ) )

(defrule REGRA0114
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == SONDAEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (RESPTSUP == MUITO_BAIXA )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "NÃO USAR FUNDAÇÃO DIRETA." crlf
  "COMENTARIO" crlf
  " A solução é o emprego de fundação profunda, porém a escolha do(s) tipo(s)
  mais adequado(s) para o caso depende de melhor caracterização do subsolo
  (informações do subsolo em maior profundidade). " crlf
  " Após obtê-las, consulte novamente o sistema. " crlf
  " Sobre investigações do subsolo consulte o item 4 (Investigações
  geotécnicas, geológicas e observações locais) da Norma Brasileira NBR
  6122 (Projeto e execução de fundações). " ) )

(defrule REGRA0115
  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == SONDAEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL )
    (or
      (RESPTSUP == BAIXA)
      (RESPTSUP == MEDIA)
      (RESPTSUP == ALTA)
      (RESPTSUP == MUITO_ALTA )
    )
    (AGUASPTSUP == NAO )
  )
  =>
  (printout t "RESPOSTA:" crlf
  "Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial."
  crlf
  "COMENTARIO" crlf

```

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf
 " Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). " crlf
 " Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA0116

```

  (and
    (ESTRUTURA == TIPO_3 )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO )
    (PROFSPT == SUPERFICIAL)
    (or
      (RESPTSUP == BAIXA)
      (RESPTSUP == MEDIA)
      (RESPTSUP == ALTA)
      (RESPTSUP == MUITO_ALTA )
    )
    (AGUASPTSUP == SIM )
  )

```

=>

(printout t "RESPOSTA:" crlf

"Usar fundação direta (bloco ou sapata) apoiada na camada superficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível d'água. " crlf

"COMENTARIO" crlf

" Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, a solução para o caso é o emprego de fundação direta apoiada na camada superficial. " crlf

" Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. " crlf

" Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). " crlf

" Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). "))

(defrule REGRA20337

"comment"

```

  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2)
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO)
    (PROFSPT == INTERMEDIARIA)
    (or
      (RESPTSUP == BAIXISSIMA)
      (RESPTSUP == MUITO_BAIXA)
    )
  )

```

```

        (RESPTSUB == MUITO_ALTA)
        (or
        (RESPTINTER == ALTA)
        (RESPTINTER == MUITO_ALTA))
        (AGUASPTINTER == SUBSUPERFICIAL)
    )
=>
    (printout t "RESPOSTA: Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou
    tubulão apoiado na camada subsuperficial com medidas especiais
    (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc) se a
    cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível d'água, ou
    estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido com pré-furo da camada
    subsuperficial, ou estaca metálica."
    "COMENTÁRIO: Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível
    de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o
    emprego de fundação direta ou tubulão apoiada na camada subsuperficial ou
    estaca. Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se
    localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação
    for inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser
    tomadas em relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o
    mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. No
    presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não justificam
    o uso de tubulão como solução, se a cota de assentamento do mesmo for
    inferior à cota do nível d'água. As estacas disponíveis, a partir do nível
    de carregamento, são: Strauss, escavada de pequeno diâmetro, escavada com
    injeção (raiz), metálica, de madeira e pré-moldada de concreto armado ou
    protendido. As estacas de madeira e tipo Strauss não podem ser empregadas
    devido à resistência da camada subsuperficial. A estaca de madeira não deve
    ser empregada porque o nível d'água não é superficial. A estaca escavada de
    pequeno diâmetro não deve ser utilizada devido à resistência da camada
    subsuperficial.
    A estaca injetada (raiz) não é indicada porque a resistência da camada
    intermediária é muito elevada. Portanto, entre os tipos de estacas
    disponíveis, a estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido, ou
    estaca metálica é solução para o caso. Devido à resistência da camada
    subsuperficial, é necessário a execução de pré-furo da camada na instalação
    da estaca pré-moldada. Na instalação da estaca metálica não é necessário
    executar pré-furo. A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita
    após avaliação de custos. Essa solução pressupõe que o término da sondagem
    está de acordo com o estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de
    sondagem de simples reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). Sobre
    generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições
    construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações
    superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
    fundações). Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito
    de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância
    das estacas e tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma
    Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações)." crlf))

(defrule REGRA10337
  "comment"
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_1)
      (ESTRUTURA == TIPO_2)
    )
    (INFORMACAO == SONDAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO)
    (PROFSPT == INTERMEDIARIA)
    (or
      (RESPTSUP == BAIXISSIMA)
      (RESPTSUP == MUITO_BAIXA)
    )
  )

```

```

)
  (RESPTSUB == ALTA)
  (RESPTINTER == MUITO_ALTA)
  (AGUASPTINTER == SUBSUPERFICIAL)
)

```

=>

(printout t "RESPOSTA: Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou tubulão apoiado na camada subsuperficial com medidas especiais (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc) se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível d'água, ou estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido com pré-furo da camada subsuperficial, ou estaca metálica."

"COMENTÁRIO: Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiada na camada subsuperficial ou estaca. Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação for inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. No presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não justificam o uso de tubulão como solução, se a cota de assentamento do mesmo for inferior à cota do nível d'água. As estacas disponíveis, a partir do nível de carregamento, são: Strauss, escavada de pequeno diâmetro, escavada com injeção (raiz), metálica, de madeira e pré-moldada de concreto armado ou protendido. As estacas de madeira e tipo Strauss não podem ser empregadas devido à resistência da camada subsuperficial. A estaca de madeira não deve ser empregada porque o nível d'água não é superficial. A estaca escavada de pequeno diâmetro não deve ser utilizada devido à resistência da camada subsuperficial.

A estaca injetada (raiz) não é indicada porque a resistência da camada intermediária é muito elevada. Portanto, entre os tipos de estacas disponíveis, a estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido, ou estaca metálica é solução para o caso. Devido à resistência da camada subsuperficial, é necessário a execução de pré-furo da camada na instalação da estaca pré-moldada. Na instalação da estaca metálica não é necessário executar pré-furo. A escolha de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. Essa solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). Sobre carga admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência executiva e tolerância das estacas e tubulões, consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações)." crlf))

```

(defrule REGRA20624
  "comment "
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4)
    )
    (INFORMACAO == SONDADEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO)
    (PROFSPT == INTERMEDIARIA)
    (or
      (RESPTSUP == BAIXISSIMA)
      (RESPTSUP == MUITO_BAIXA)
      (RESPTSUP == BAIXA)
    )
  )
)

```

```

    )
    (RESPTSUB == MUITO_ALTA)
    (or
    (RESPTINTER == ALTA)
    (RESPTINTER == MUITO_ALTA)
    )
    (AGUASPTINTER == SUBSUPERFICIAL)
  )
=>
  (printout t "RESPOSTA: Usar fundação direta (bloco ou sapata), ou
  tubulão apoiado na camada subsuperficial com medidas especiais
  (rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc) se a
  cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível d'água, ou
  estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido com pré-furo da camada
  subsuperficial, ou estaca metálica."
  "COMENTÁRIO: Considerando as informações disponíveis do subsolo, nível
  de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso são:
  o emprego de fundação direta ou tubulão apoiada na camada subsuperficial ou
  estaca. Como a fundação deverá ser assentada na mesma camada onde se
  localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do elemento de fundação
  for inferior à cota do nível d'água, medidas especiais deverão ser
  tomadas em relação à presença de água. No caso de rebaixamento da água, o
  mesmo só poderá ser executado se não afetar as construções vizinhas. No
  presente caso, o nível de carregamento e a presença de água, não justificam
  o uso de tubulão como solução, se a cota de assentamento do mesmo for
  inferior à cota do nível d'água. As estacas disponíveis, a partir do nível
  de carregamento, são: Strauss, escavada de pequeno diâmetro, escavada com
  injeção (raiz), metálica, de madeira e pré-moldada de concreto armado ou
  protendido. As estacas de madeira e tipo Strauss não podem ser empregadas
  devido à resistência da camada subsuperficial. A estaca de madeira não deve
  ser empregada porque o nível d'água não é superficial. As estacas injetada
  (raiz) e escavada de pequeno diâmetro não são indicadas porque a
  resistência da camada subsuperficial é elevada. Portanto, entre os tipos de
  estacas disponíveis, a estaca pré-moldada de concreto armado ou
  protendido, ou estaca metálica é solução para o caso. Devido à resistência
  da camada subsuperficial, é necessário a execução de pré-furo da camada na
  instalação da estaca pré-moldada. Na instalação da estaca metálica não é
  necessário executar pré-furo. A escolha de um dos tipos de fundação deverá
  se feita após avaliação de custos. Essa solução pressupõe que o término da
  sondagem está de acordo com o estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484
  (Execução de sondagem de simples reconhecimento dos solos, Método de
  Ensaio). Sobre generalidades, pressão admissível, dimensionamento e
  disposições construtivas dos elementos de fundação direta, consulte o item
  6 (Fundações superficiais) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e
  execução de fundações). Sobre carga admissível, tração, esforços
  transversais, efeito de grupo, propriedades, dimensionamento, seqüência
  executiva e tolerância das estacas e tubulões, consulte o item 7
  (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de
  fundações)." crlf))

(defrule REGRA10624
  "comment"
  (and
    (or
      (ESTRUTURA == TIPO_3)
      (ESTRUTURA == TIPO_4)
    )
    (INFORMACAO == SONDAAGEM_DE_SIMPLES_RECONHECIMENTO)
    (PROFSPT == INTERMEDIARIA)
    (or
      (RESPTSUP == BAIXISSIMA)

```

```

        (RESPTSUP == MUITO_BAIXA)
        (RESPTSUP == BAIXA)
    )
    (RESPTSUB == ALTA)
    (RESPTINTER == MUITO_ALTA)
    (AGUASPTINTER == SUBSUPERFICIAL)
)
=>
    (printout t "RESPOSTA: "crlf"Usar fundação direta (bloco ou sapata) ou
tubulão apoiado na camada subsuperficial com medidas especiais
(rebaixamento do nível d'água, esgotamento d'água, escoamento, etc)."crlf
"Se a cota de assentamento da fundação for inferior a cota do nível
d'água, ou estaca pré-moldada de concreto armado ou protendido com pré-
furo da camada subsuperficial, ou estaca metálica.."crlf crlf
"COMENTÁRIO: "crlf"Considerando as informações disponíveis do subsolo,
nível de carregamento e característica estrutural, as soluções para o caso
são: o emprego de fundação direta ou tubulão apoiada na camada
subsuperficial ou estaca. Como a fundação deverá ser assentada na mesma
camada onde se localiza o nível d'água, se a cota de assentamento do
elemento de fundação for inferior à cota do nível d'água, medidas
especiais deverão ser tomadas em relação à presença de água. No caso de
rebaixamento da água, o mesmo só poderá ser executado se não afetar as
construções vizinhas."crlf"No presente caso, o nível de carregamento e a
presença de água, não justificam o uso de tubulão como solução, se a cota de
assentamento do mesmo for inferior à cota do nível d'água. As estacas
disponíveis, a partir do nível de carregamento, são: Strauss, escavada de
pequeno diâmetro escavada com injeção (raiz), metálica, de madeira e pré-
moldada de concreto armado ou protendido. As estacas de madeira e tipo
Strauss não podem ser empregadas devido à resistência da camada subsu-
perficial. A estaca de madeira não deve ser empregada porque o nível d'água
não é superficial. A estaca escavada de pequeno diâmetro não deve ser
utilizada devido à resistência da camada subsu-perficial. A estaca
injetada (raiz) não é indicada porque a resistência da camada intermediária
é muito elevada. Portanto, entre os tipos de estacas disponíveis, a estaca
pré-moldada de concreto armado ou protendido, ou estaca metálica é solução
para o caso. evido à resistência da camada subsuperficial, é necessário a
execução de pré-furo da camada na instalação da estaca pré-moldada. Na
instalação da estaca metálica não é necessário executar pré-furo. A escolha
de um dos tipos de fundação deverá se feita após avaliação de custos. Essa
solução pressupõe que o término da sondagem está de acordo com o
estabelecido na Norma Brasileira NBR 6484 (Execução de sondagem de simples
reconhecimento dos solos, Método de Ensaio). Sobre generalidades, pressão
admissível, dimensionamento e disposições construtivas dos elementos de
fundação direta, consulte o item 6 (Fundações superficiais) da Norma
Brasileira NBR 6122 (Projeto e execução de fundações). Sobre carga
admissível, tração, esforços transversais, efeito de grupo, propriedades,
dimensionamento, seqüência executiva e tolerância das estacas e tubulões,
consulte o item 7 (Fundações profundas) da Norma Brasileira NBR 6122
(Projeto e execução de fundações)." crlf))
;(run)

```

ANEXO A

CURRÍCULO DA DISCIPLINA FUNDAÇÕES DO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UFRGS

1ª parte: Concepção de Obras de Fundações. (os itens desta parte são os adotados neste trabalho)

- Apresentação de projetos executivos de fundações, plantas de carga e relatórios de prospecção do subsolo.
- Apresentação e discussão de pontos específicos das Normas ABNT relacionadas ao projeto e execução de fundações, em especial a Norma NBR 6122.
- Revisão de ensaios de campo e laboratório necessários para projeto de fundações.
- Alternativas de fundações, elementos necessários e critérios de projeto.

2ª parte: Fundações Superficiais e Profundas - Capacidade de Suporte

- Tipos de ruptura de fundações superficiais (rupturas generalizada, localizada e por puncionamento). Introdução a Teoria de Capacidade de Suporte de Terzaghi.
- Aplicação e adaptação da Teoria de Terzaghi para as várias formas de ruptura.
- Fatores de Forma de Terzaghi. Solução de exemplos de fundações superficiais pela Teoria de Terzaghi. Análise do efeito das variáveis de resistência do solo e geometria da fundação no resultado da capacidade de suporte.
- Formulação Generalizada de Capacidade de Suporte (fatores de inclinação da base e do terreno, inclinação e excentricidade do carregamento. Fatores de capacidade de suporte e de forma de De Beer).
- Solução de problema através da formulação Generalizada de Capacidade de Suporte.
- Provas de carga e métodos empíricos para a determinação de tensões admissíveis em fundações superficiais. Exemplos do comportamento de fundações superficiais assentes em areias e solos residuais.
- Métodos de Capacidade de Suporte para Solos Não Homogêneos (Métodos de Vésic e Meyerhof & Hanna).
- Capacidade de suporte de fundações superficiais em rocha.

- Mecanismos de interação solo -fundações profundas. Transmissão de carga pelo fuste e pela base.
- Estacas tipo Strauss, Cravadas - pré moldadas de concreto e metálicas, Franki, Rotativas com e sem lama Bentonítica.
- Estacas tipo Hélice Contínua, Omega, Injetadas.
- Apresentação trabalho sobre capacidade de suporte de fundações superficiais.
- Controle de campo de estacas. Capacidade de carga e carga admissível de fundações profundas (formulação teórica).
- Métodos brasileiros semi-empíricos de determinação de capacidade de suporte de estacas (Aoki-Velloso, Decourt). Exercícios
- Métodos brasileiros semi-empíricos de determinação de capacidade de suporte de estacas (Cabral-Antunes, Cabral, etc.).

3ª parte: Fundações Superficiais e Profundas - Recalques

- Tipos de recalques em fundações. Teoria da Elasticidade, Adensamento e Métodos Empíricos. Recalques em solos granulares. Exemplos.
- Recalques em solos argilosos. Recalques limites.

4ª parte: Fundações Superficiais e Profundas - Dimensionamento Estrutural

- Projeto estrutural de blocos.
- Projeto estrutural de sapatas - Método das Bielas.
- Projeto estrutural de sapatas - sapatas sujeitas a momentos fletores.
- Sapatas com vigas de equilíbrio.
- Projeto estrutural de estacas e de blocos de coroamento de fundações profundas.

- Apresentação trabalho sobre capacidade de suporte de fundações profundas.

ANEXO B
VALIDAÇÃO DO STI POR PROFESSOR ESPECIALISTA

Entrevistado: Professor Doutor Nilo César Consoli³⁹

– P: O rigor conceitual da Engenharia de Fundações foi obedecido na forma como os estudos de caso foram concebidos e a estrutura do ambiente está correta em relação a encaminhamentos das soluções?

– R: Sim, obedece o rigor conceitual e as etapas percorridas pela aluno para solução do problema avança no detalhamento das condições que definem as escolhas dos tipos de fundações tecnicamente viáveis.

– P: O cenário criado para apresentação dos problemas é adequado para o ensino da Engenharia de Fundações e para o propósito do STI?

– R: Sim. Os problemas estão bem formulados e o banco de dados é extremamente bem colocado como apoio ao estudo (pela acessibilidade e pela amplitude, pois tem todo o conteúdo básico). Também cabe ressaltar a liberdade de ir e vir ao longo das etapas de solução do problema, permitindo que o aluno tenha acesso, a qualquer momento, às suas escolhas no processo de solução do problema e também tenha acesso ao conteúdo de apoio oferecido pelo sistema.

– P: O comportamento que emerge do sistema é compatível com o comportamento de um professor?

– R: O cenário para apresentação dos problemas implementados no sistema está de

³⁹ Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq - Nível 1^a. Possui doutorado em Engenharia Civil (Geotecnia Ambiental) - Concordia University-Canada (1991) e pós-doutorado (Materiais Geotécnicos) - The University of Western Australia (2006). Atualmente é Professor Associado II / Pesquisador do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UFRGS, consultor do CNPq, CAPES e FAPESP, revisor dos periódicos Géotechnique, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering da ASCE, Journal of Materials in Civil Engineering da ASCE, Canadian Geotechnical Journal, Geotechnical Testing Journal da ASTM, Journal of Hazardous Materials, Waste Management, Acta Geotechnica, Soils and Rocks, Geotecnia, Geosynthetics International, Geotextiles & Geomembranes and Proceedings ICE-Geotechnical Engineering. Premiado com Telford Prize (2001) pelo ICE-London-UK, Prêmio Terzaghi (2008) pela ABMS-Brasil e Telford Premium (2009) pelo ICE-London-UK. Índice h=10 no ISI Web of Science. Tem experiência na área de Engenharia Civil (Geotecnia e Meio Ambiente), com ênfase em Novos Materiais Geotécnicos e Obras Geotécnicas Especiais, atuando principalmente nos seguintes temas: solos cimentados, solos reforçados com fibras, dosagem materiais cimentados, modelos constitutivos, métodos numéricos, ensaios de campo, ensaios laboratoriais e resíduos industriais. <http://lattes.cnpq.br/0169869120306742>

acordo com o forma de atuação do professor em sala de aula. E vai além. Ele permite que o aluno estude sozinho. Tentando resolver os problemas propostos ele exercita as habilidades para solução de problemas de Engenharia. Com ajuda do sistema aprende a raciocinar e identificar, em meio às informações disponíveis, os dados relevantes e necessários para resolver o problema. Por outro lado, o STI pode ser usado como apoio ao ensino de sala de aula permitindo explorar o conhecimento latente do aluno. O professor pode ajudar a organizar o raciocínio do aluno e direcionar a busca de informações (na primeira etapa de solução do problema) a partir de exemplos que não constam no sistema lançando mão de questionamentos e diálogos que direcionem e organizem o pensamento do aluno.