

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

**UMA PROPOSTA DE ARQUITETURA DE SISTEMA TUTOR INTELIGENTE
BASEADA NA TEORIA DAS EXPERIÊNCIAS DE APRENDIZAGEM MEDIADAS**

POR
ANDRÉ LUÍS ALICE RAABE

TESE DE DOUTORADO

DRA. LÚCIA MARIA MARTINS GIRAFFA
ORIENTADORA

DRA. ROSA VICARI
CO-ORIENTADORA

PORTO ALEGRE, DEZEMBRO DE 2005.

CIP – CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

R 11p Raabe, André Luís Alice, 1973-

Uma proposta de arquitetura de Sistema Tutor Inteligente baseada na Teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas [manuscrito] / André Luís Alice Raabe. – 2005.

155. f. : il.

Cópia de computador (Printout(s)).

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, 2005.

“Orientadora: Profª Dra. Lúcia Maria Martins Giraffa, co-orientadora: Profª Dra. Rosa Vicari”.

Bibliografia e anexos.

1. Algoritmos 2. Aprendizagem 3. Inteligência Artificial – Aplicações educacionais. 4. Mediação. I. Giraffa, Lúcia Maria Martins. II. Vicari, Rosa. III. Título.

CDU: 681.3

Claudia Bittencourt Berlim – CRB 14/964

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Dr. José Carlos Ferraz Hennemann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Profª. Dra. Valquíria Linck Bassani

Diretora do CINTED: Profª. Dra. Liane Margarida Rockenbach Tarouco

Coordenadora do PPGIE: Profª. Dra. Margarete Axt

AGRADECIMENTOS

A construção de uma tese de doutorado certamente é uma das tarefas mais desafiadoras e interessantes da vida acadêmica. Devido ao alto grau de dedicação e envolvimento exigidos, não me restam dúvidas de que somente foi possível alcançar este objetivo graças ao apoio e a participação dos professores, colegas, alunos, familiares e amigos que comigo conviveram neste período. Desta forma, gostaria de agradecer as pessoas e as instituições que contribuíram para a realização deste trabalho.

A minha Esposa Renate, por ter surgido em minha vida iluminado meu caminho, por me amar como nunca fui amado e por valorizar minhas virtudes e esquecer de meus defeitos;

A minha Família pelas demonstrações de amor que sempre recebo, pelos valores éticos e morais que herdei, por estarem sempre presentes e me deixarem seguro nas horas difíceis;

A Lúcia Giraffa, minha super Orientadora (TCC, Mestrado e Doutorado), por ter sempre acreditado em mim, pelos ensinamentos que sempre ultrapassam o escopo acadêmico, por me impulsionar na vida acadêmica permitindo me encontrar a realização profissional, por aturar minhas constantes mudanças de tema (no início...), por me puxar à orelha na hora certa, mas principalmente por ser uma pessoa fabulosa e um modelo do qual eu tento me espelhar;

A minha co-orientadora Rosa Vicari, por ter acreditado em meu potencial, por ter me aberto as portas de seu grupo de pesquisa, pelos preciosos ensinamentos que me proporcionaste nas aulas e por ter me dado à oportunidade de realizar este trabalho;

A minha aluna Júlia Marques, por ser extremamente competente e interessada e por me dar à oportunidade de lhe orientar;

Ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação, por proporcionar excelentes disciplinas que contribuíram para minha formação e servir de referência para meus ideais acadêmicos;

A Secretária do PGIE, Maria do Carmo, pela paciência e compreensão;

Ao coordenador do Curso de Ciência da Computação da Universidade do Vale do Itajaí, Luis Carlos Martins, por viabilizar minha participação no Doutorado mesmo em tempos difíceis;

Aos amigos que não vou enumerar por serem muitos, mas que sem eles eu não teria tido a alegria de concluir esta etapa de minha vida acadêmica.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE EQUAÇÕES	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
1.1 PROBLEMA E CONTEXTO DA PESQUISA	19
1.2 QUESTÃO DE PESQUISA.....	21
1.3 HIPÓTESES DE PESQUISA	21
1.4 OBJETIVO GERAL	22
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
1.6 METODOLOGIA	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES	24
2.1.1 <i>Arquitetura Tradicional ou Meta-Arquitetura</i>	26
2.1.2 <i>Modelos de Aluno</i>	28
2.1.3 <i>Sistemas Tutores Inteligentes Interacionistas</i>	31
2.1.3.1 Uma Abordagem Construtivista para STI	32
2.1.3.2 A Perspectiva da Psicologia Ecológica	33
2.1.3.3 A Abordagem da Aprendizagem Auto-Regulada (SRL)	35
2.1.3.4 Um STI Sócio-Interacionista.....	36
2.1.4 <i>Sistemas Tutores Inteligentes que Incluem o Professor</i>	39
2.1.4.1 Modelo incluindo o Professor Humano	45
2.2 APRENDIZAGEM DE ALGORITMOS.....	47
2.2.1 <i>Problemas de Aprendizagem em Algoritmos</i>	50

2.2.2	<i>Ferramentas de Apoio ao Aprendizado de Algoritmos</i>	55
2.2.3	<i>Sistemas Tutores Inteligentes no Domínio de Algoritmos</i>	58
2.3	EXPERIÊNCIAS DE APRENDIZAGEM MEDIADAS (EAM)	62
2.3.1	<i>Definição de Experiência de Aprendizagem Mediada</i>	65
2.3.2	<i>Critérios do Processo de Mediação</i>	66
2.3.2.1	Mediação de Intencionalidade e Reciprocidade	67
2.3.2.2	Mediação de Transcendência	67
2.3.2.3	Mediação de Significado	68
2.3.2.4	Mediação do Sentimento de Competência	69
2.3.2.5	Mediação de auto-regulação e de autocontrole do pensamento e da ação	70
2.3.2.6	Mediação da Convivência com os outros	70
2.3.2.7	Mediação da diferenciação psicológica do sujeito com relação ao outro	70
2.3.2.8	Mediação do planejamento e obtenção de objetivos	71
2.3.2.9	Mediação do desafio: a busca pela novidade e complexidade	71
2.3.2.10	Mediação da Identificação do ser humano como modificável.....	72
2.3.2.11	Mediação da busca por alternativas otimistas	72
2.3.2.12	Mediação do sentimento de pertencer	72
2.3.3	<i>Síndrome de Privação Cultural</i>	73
2.3.4	<i>Modificabilidade Cognitiva Estrutural (MCE)</i>	74
2.3.5	<i>Os Sistemas Aplicativos LPAD e PEI</i>	76
2.3.5.1	Avaliação do Potencial de Aprendizagem (LPAD)	77
2.3.5.2	Programa de Enriquecimento Instrumental (PEI)	78
2.3.6	<i>Feuerstein e outras Teorias</i>	82
2.3.7	<i>Experiências de Aprendizagem Mediadas em Algoritmos</i>	84
3.	A ARQUITETURA PROPOSTA	88
3.1	PREMISSAS EM RELAÇÃO À ARQUITETURA PROPOSTA	88
3.2	DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA PROPOSTA	91
3.3	O PROTÓTIPO ASSOCIADO À ARQUITETURA.....	95
3.3.1	<i>Modelo do Domínio</i>	99
3.3.2	<i>Modelo do Aluno</i>	101
3.3.2.1	Estados de desenvolvimento dos conceitos do aluno.....	102
3.3.2.2	Identificação das dificuldades de aprendizagem.....	104

3.3.2.3	Diagnóstico do Potencial de Modificabilidade Cognitiva	107
3.3.2.4	Identificação da reciprocidade	108
3.3.3	<i>Modelo de Mediação</i>	109
3.3.3.1	Ações Mediadoras	112
3.3.3.2	Participação do professor no modelo de mediação	113
3.3.4	<i>Assistentes</i>	113
3.3.4.1	Assistente de Monitoramento	113
3.3.4.2	Assistentes de Análise e Síntese	114
3.3.4.3	Assistente de Interface (Personagem Alice)	115
3.4	O EXPERIMENTO REALIZADO	116
3.4.1	<i>Preparação do Experimento</i>	116
3.4.2	<i>Realização do Experimento</i>	117
3.4.3	<i>Coleta, tratamento e tabulação dos dados</i>	121
3.4.4	<i>Análise dos Dados do Experimento</i>	121
3.4.4.1	Caracterização da amostra	122
3.4.4.2	Caracterização do Uso do Ambiente pelos Alunos	122
3.4.4.3	Análise da Influência do protótipo no desempenho dos alunos	123
3.4.4.4	Detecção de Dificuldades de Aprendizagem	126
3.4.5	<i>Conclusões do Experimento</i>	127
4.	CONCLUSÕES	131
4.1	LIMITAÇÕES	134
4.2	TRABALHOS FUTUROS	136
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	140
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
	ANEXO I	153
	ANEXO II	155

LISTA DE ABREVIATURAS

ALICE	<i>Algorithm Learning Internet Based Computer Environment</i>
AMBAP	Ambiente de Apoio ao Aprendizado de Programação
AWTM	Aplicação Web para realizar Teste de Mesa
BITS	<i>Bayesian Intelligent Tutoring System</i>
CGI	<i>Common Gateway Interface</i>
CORBA	<i>Common Object Request Broker Architecture</i>
DOS	<i>Disk Operational System</i>
EAD	Ensino a Distância
E-TCL	Expert System for Teaching Computer Language
EAM	Experiências de Aprendizagem Mediadas
FIPA	<i>Foundation for Intelligent Physical Agents</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
LOM	<i>Learning Object Metadata</i>
ILA	Interpretador de Linguagem Algorítmica
ITA	<i>Intelligent Teaching Assistant</i>
ITS	<i>Intelligent Tutoring System</i>
JITS	<i>Java Intelligent Tutoring System</i>
LPAD	<i>Learning Potential Assessment Device</i>
LTSC	<i>Learning Technology Standards Committee</i>
MCE	Modificabilidade Cognitiva Estrutural
PEI	Programa de Enriquecimento Instrumental
SAAP	Sistema de Apoio à Aprendizagem de Programação
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SRL	<i>Self Regulated Learning</i>
STI	Sistemas Tutores Inteligentes

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SURGIMENTO DE UMA CAMADA DE MEDIAÇÃO.....	17
FIGURA 2 - ARQUITETURA TRADICIONAL DE UM STI.....	26
FIGURA 3 - ARQUITETURA DO STI CONSTRUTIVISTA.....	33
FIGURA 4 - DESCENDENTE ONTOLÓGICA.....	34
FIGURA 5 - ARQUITETURA DO AMBIENTE COLABORATIVO MACES.....	37
FIGURA 6 - ARQUITETURA DE UM ITA YACEF (2002).....	42
FIGURA 7 - ARQUITETURA DIDÁTICA TRIANGULAR.....	44
FIGURA 8 - STI COM MODELO DO PROFESSOR HUMANO.....	46
FIGURA 9 - PRÉ-REQUISITOS DO CONCEITO “PARA-FAÇA” BUTZ (2004).	61
FIGURA 10 - ARQUITETURA PROPOSTA.....	92
FIGURA 11 - MODELO ESPIRAL DE DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.....	96
FIGURA 12 - ESQUEMA DE IMPLEMENTAÇÃO DA ARQUITETURA.....	99
FIGURA 13 - INSERÇÃO DE UM CONCEITO E SEUS PRÉ-REQUISITOS.....	101
FIGURA 14 - ESTADOS DOS CONCEITOS DO ALUNO.....	104
FIGURA 15 - IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS DE APRENDIZAGEM.....	105
FIGURA 16 - INTERFACE PARA CORREÇÃO DOS EXERCÍCIOS.....	106
FIGURA 17 - REGISTRO DE DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM.....	107
FIGURA 18 - ACOMPANHAMENTO DAS TAREFAS REALIZADAS PELOS ALUNOS.....	109
FIGURA 19 - MENSAGEM EXPLICATIVA DIRECIONADA AO ALUNO.....	116
FIGURA 20 - DIAGRAMA DOS CONCEITOS DA DISCIPLINA DE ALGORITMOS.....	154

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RESUMO DAS FERRAMENTAS DE APOIO À APRENDIZAGEM DE ALGORITMOS.....	57
TABELA 2 - AVALIAÇÃO DO CONCEITO PARA-FAÇA.....	61
TABELA 3 - SÍNTESE DOS STI APLICADOS À PROGRAMAÇÃO.	62
TABELA 4 - ATRIBUTOS DO MODELO DO ALUNO	101
TABELA 5 - CARACTERIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO AMBIENTE PELOS ALUNOS.	122
TABELA 6 - DADOS COLETADOS PARA O TESTE Z DE DIFERENÇA ENTRE MÉDIAS.....	124
TABELA 7 - CORRELAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO PROTÓTIPO E O DESEMPENHO DOS ALUNOS	125
TABELA 8 - DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DETECTADAS.....	126
TABELA 9 - UNIDADES E CONCEITOS DA DISCIPLINA INTRODUTÓRIA DE ALGORITMOS	153

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – REGRAS DE DECISÃO DA MODALIDADE DE MEDIAÇÃO	110
QUADRO 2 – REGRAS PARA DECISÃO DA MENSAGEM DE INTENCIONALIDADE.....	112

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 – CALCULO DO VALOR DE Z OBSERVADO

125

RESUMO

Este volume apresenta o detalhamento da tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de doutor em Informática na Educação. A tese se baseia nos conceitos oriundos da área de Inteligência Artificial – Sistemas Tutores Inteligentes (STI) e da Teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas proposta por de Reuven Feuerstein (1997). A combinação destes fundamentos possibilitou a proposição de uma arquitetura de um STI para promover Experiências de Aprendizagem Mediadas. A tese segue uma tendência recente da área de STI, onde se inclui o professor como um dos usuários do sistema. Ou seja, além da tradicional abordagem de existir um tutor artificial acompanhando o trabalho do aluno, o ambiente considera o professor como participante de todo o processo de atendimento ao aluno. Suas intervenções e contribuições ficam refletidas no comportamento do sistema. No que tange ao domínio, escolheu-se o conjunto de conteúdos relacionados à disciplina introdutória de algoritmos. Esta escolha foi determinada por dois fatores: a experiência do autor e orientadora como docentes desta disciplina em diferentes cursos de graduação na área de Ciência da Computação e o alto índice de reprovação observado nesta disciplina, que é fundamental para a formação do futuro profissional de Computação. Ambos atuaram como especialistas para modelagem da base de conteúdos a serem trabalhados com os alunos. A arquitetura proposta foi instanciada em um ambiente computacional denominado ALICE (*Algorithm Learning Internet based Computer Environment*). Os experimentos realizados com o ambiente na disciplina de Algoritmos, ministrada na Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), permitiram identificar a viabilidade de implementação da arquitetura proposta. O protótipo desenvolvido forneceu, também, informações no que tange ao processo de aprendizagem dos alunos. Os resultados indicaram uma ampliação no atendimento individualizado aos alunos e um aumento da promoção de experiências de aprendizagem mediadas.

ABSTRACT

This document presents the thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of Informatics in Education. The thesis is based on Artificial Intelligent concepts – Intelligent Tutoring Systems (ITS) – and on Mediated Learning Experiences theory proposed by Reuven Feuerstein (1997). These foundations combination allowed the proposition of an ITS architecture to promote mediated learning experiences. The thesis follows the recent tendency of ITS research area to include the teacher as an end user of the system. Besides the traditional approach of an artificial tutor tracking the student development, the environment considers the teacher as participant of the whole process of student attention. His interventions and contributions are reflected on the environment behavior. The domain chosen was the set of contents related to the introductory algorithm discipline. This was chosen because of two factors: the experience of the author and his advisor as teachers of this discipline in different under graduation courses of Computer Science, and the high level of reproof observed in this discipline which is fundamental for the future computer science professional formation. Both acted as specialists in modeling the contents base to be worked with the students. The proposed architecture was instantiated in a computer environment named ALICE (*Algorithm Learning Internet-based Computer Environment*). The conducted experiments with the environment at the algorithms discipline of Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), allowed to identify the architecture implementing viability. The developed prototype provided information about students learning process. The results indicate an increase in student's individualized attention and an increase in mediated learning experiences promoted.

1. INTRODUÇÃO

Um Sistema Tutor Inteligente (STI) é uma modalidade de software educacional que busca se adaptar as necessidades dos estudantes. Esta adaptação é possível devido à combinação dinâmica de informações sobre o aluno, sobre o domínio (assunto) e sobre o processo pedagógico.

Tradicionalmente os STI são projetados como ferramentas de aprendizagem, onde a presença do professor é supostamente dispensável. Coloca-se no sistema heurísticas e regras que permitem a construção de um diagnóstico sobre o aluno (modelo do aluno) e, a partir dele, toma-se decisões sobre quais atividades devem ser propostas. Estas decisões possuem de forma implícita as estratégias pedagógicas relacionadas ao conhecimento modelado na base de domínio.

Em muitos casos, a base de conteúdos de um STI é composta por exercícios e problemas a serem resolvidos pelo aluno. Desta forma, o STI não é utilizado para ensino de conteúdos teóricos e sim como elemento de fixação de conteúdos ou reforço de aprendizagem. Como consequência, as disciplinas que envolvem a resolução de problemas são mais aderentes a modalidade de STI, uma vez que a estratégia de propor problemas de complexidade crescente acompanhando a trajetória de desenvolvimento do aluno pode ser mais facilmente sistematizada. Nestas disciplinas, a utilização do STI como atividade complementar ao ensino realizado em sala de aula permite ampliar a quantidade de problemas que os alunos solucionam promovendo situações de auto-aprendizagem mais interativas do que a resolução de listas de exercícios. Inclusive, turmas onde a grande quantidade de alunos impede que o professor consiga realizar um atendimento individualizado podem ser beneficiadas por esta abordagem.

O ensino de algoritmos possui importância fundamental para a formação dos estudantes de cursos de Ciência da Computação e áreas afins, especialmente a disciplina introdutória apresentada no primeiro semestre dos diferentes cursos da área de Ciência da Computação. Esta disciplina recebe diferentes nomenclaturas dependendo da universidade (Algoritmos I, Lógica de Programação, Algoritmos e Programação, e outras).

Tradicionalmente disponibiliza-se ao aluno uma grande quantidade de problemas a serem resolvidos. E a forma pela qual o aluno estrutura e apresenta a sua solução fornece indicadores para a atuação do docente.

A ocorrência de problemas de aprendizagem nesta disciplina é um fato reconhecido e amplamente discutido na comunidade acadêmica da área, seja no Brasil (Pimentel, 2003; Rocha, 1991; Esmin, 1998; Mendes, 2001; Menezes & Nobre, 2001; Falkembach, 2003), ou no exterior (Kaasboll, 1998; Gray, 1993; Pea, 1986). Como consequência direta dos problemas de aprendizagem, muitos estudantes apresentam um desempenho fraco, outros chegam a considerar a disciplina um desafio muito difícil de transpor e se desmotivam. O alto índice de abandono e reprovação da disciplina também é reconhecido pelos pesquisadores da área.

As causas e modalidades de problemas de aprendizagem são diversas e serão analisadas em detalhes posteriormente nesta tese. Porém um aspecto deve ser analisado de imediato: para assistir aos problemas de aprendizagem uma alta demanda de mediação educacional é exigida dos docentes e demais envolvidos no apoio aos alunos, e a grande quantidade de alunos que participam da disciplina torna esta demanda de mediação difícil de ser atendida.

Existem diversos trabalhos que propõe o desenvolvimento de ferramentas computacionais para apoio a aprendizagem de algoritmos e programação (Esmin, 1998; Mendes, 2001; Menezes & Nobre, 2001; Santiago e Dazzi, 2004; Rezende e Garcia, 1995; Song et al, 1997; Brown, 1991;

Sykes, 2003). Desde 1998, Kaasboll (1998) menciona que esta é uma área de pesquisa muito popular e com contribuições bastante diversificadas.

Entretanto, dentre os trabalhos analisados, nenhum aborda especificamente a questão dos problemas de aprendizagem dos alunos e como se pode modelá-los em um sistema computacional. Poucos ambientes possuem mecanismos inteligentes para se adaptarem às necessidades específicas dos estudantes. Na sua maioria os programas focalizam somente as tarefas dos alunos sem considerar a participação ativa do professor.

A mediação de aprendizagem promovida pelo STI em situações extraclasse normalmente exclui a participação do professor. O docente não possui nenhum controle adicional sobre o diagnóstico que o STI realiza sobre o desempenho do aluno. Considere-se que o módulo tutor geralmente é baseado em estratégias oriundas da expertise de especialistas no domínio. Necessariamente, a abordagem pedagógica ou os indicadores que o professor deseja não estão contemplados pelo sistema. Logo, a inserção do professor como sujeito ativo neste processo permite uma série de possibilidades novas no que concerne ao atendimento personalizado do aluno.

Esta perspectiva de inclusão do professor no contexto dos tradicionais STI vem ao encontro de uma questão em aberto que permeia a pesquisa em STI: *“Como melhorar a assistência ao aluno nos STI, fazendo com que esta seja mais personalizada e focada nas reais necessidades do aluno?”*

Trabalhos mais recentes na área de STI (Yacef, 2002; Kinshuk, 2001) têm buscado construir sistemas tutores que de alguma forma atendam não só ao aluno, mas também apoiem o professor na execução de suas atividades pedagógicas e organizacionais no que tange ao conjunto de ações e artefatos selecionados para o trabalho com o estudante. A abordagem de STI

introduzida por Yacef (2002), denominada *Intelligent Teaching Assistants* (ITA) apresenta um conjunto de características interessantes que permitem auxiliar no atendimento das demandas de mediação necessárias para o ensino de disciplinas baseadas na resolução de problemas.

Cabe destacar a arquitetura centrada no tripé: professor, turma, sistema, na qual os alunos são assistidos pelo professor em sala de aula e pelo ITA nas atividades extraclasse. O ITA fornece aos estudantes realimentação dirigida e estruturada pelo professor, bem como fornece ao professor informações sobre o desempenho dos seus alunos quando da interação com o sistema.

Esta proposta de arquitetura tripartida, onde o modelo tradicional de interação é substituído pelo tripé professor, alunos, tutor artificial, necessitava de uma teoria que permitisse criar esta camada de mediação (ilustrada na Figura 1) para fazer acesso ao modelo de domínio.

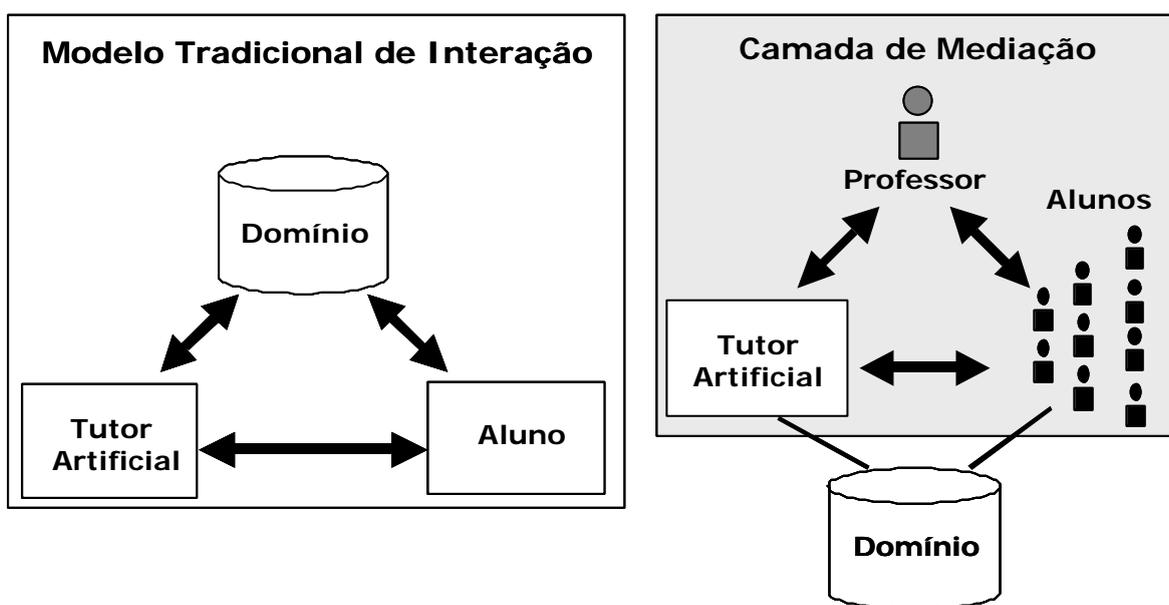


Figura 1 - Surgimento de uma camada de mediação

A Teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) proposta por Feuerstein (1998), oferece suporte pedagógico focalizado na mediação e no atendimento aos problemas de aprendizagem. Características desejáveis para disciplinas baseadas na resolução de problemas, como algoritmos.

A camada de mediação que está relacionada ao uso de um sistema ITA cria a possibilidade de adoção de uma mesma abordagem pedagógica em sala de aula e no ambiente computacional. Com isso uma ação inovadora de cooperação entre professor e sistema pode ser explorada a fim de auxiliar a promoção da aprendizagem do aluno. O professor pode fornecer informações valiosas sobre os estudantes, oriundas do seu trabalho em sala de aula, auxiliando o sistema computacional na identificação dos problemas de aprendizagem e na tomada de decisão acerca do que propor como atividade ao aluno. Enquanto isso, o sistema computacional pode fornecer informações organizadas e diagnósticos objetivos sobre os problemas de aprendizagem dos alunos para reorientar a atuação do professor em sala de aula.

Este diagnóstico é feito tendo por base diretivas do professor. Vale lembrar que o uso de um sistema, como concebido nesta proposta, parte do pressuposto que um software educacional tem que ser contextualizado no trabalho do docente (Giraffa, 1999; Giraffa, 2005). O professor trabalha o conteúdo em sala de aula convencional e disponibiliza o ambiente para que o aluno possa realizar uma prática supervisionada pelo sistema. Este vai registrar informações importantes sobre como o aluno constitui a solução dos problemas propostos, suas dificuldades, fornecendo assim um registro sistemático e dirigido aos objetivos pedagógicos do professor. O ITA funciona como um auxiliar do processo quando este não está presente.

Sumarizando, esta tese explorou o potencial da teoria das EAM para construção de um STI na modalidade ITA e realizou experimentos práticos a fim de validar a arquitetura proposta tendo como área de domínio a disciplina introdutória de Algoritmos.

Esta tese buscou explorar alternativas que auxiliem no atendimento às demandas de mediação educacional dos alunos de disciplinas baseadas na resolução de problemas. Para isso adotou-se uma abordagem interdisciplinar resultando as seguintes contribuições:

- A proposição de uma arquitetura de Sistema Tutor Inteligente considerando a inclusão efetiva do professor como parceiro do tutor artificial, utilizando um espaço de mediação que auxilie o aluno a construir seu conhecimento;
- A utilização da Teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) proposta por Feuerstein, onde identificou-se uma abordagem pedagógica que suporta a mediação educacional na resolução de problemas. Esta teoria permite que sejam explorados outros aspectos para a pesquisa na área de Sistemas Tutores Inteligentes;
- Um ambiente que pode ser utilizado por professores que lecionam a disciplina de Algoritmos de nível introdutório.

A seguir são detalhados os processos de condução da pesquisa realizada

1.1 PROBLEMA E CONTEXTO DA PESQUISA

Este trabalho possui natureza interdisciplinar e uma ação transdisciplinar. Buscou-se reunir contribuições das Áreas de Ciência da Educação e Psicologia (relacionadas à Teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas de Feuerstein), a fim de integrá-las às pesquisas envolvendo Inteligência Artificial aplicada a Educação (IAED), especificamente na construção de Sistemas Tutores Inteligentes.

Esta pesquisa está localizada na área de Informática na Educação, possuindo contribuições mais pontuais para a subárea de Inteligência Artificial aplicada a Educação.

É amplamente aceito pelos professores e coordenadores na área de Ciência da Computação que a aprendizagem de algoritmos deve ser promovida através de uma abordagem de solução de problemas. Segundo Orth (2001), não se aprende algoritmos copiando ou estudando, e sim construindo e testando.

Desta forma, o esforço e o investimento pessoal do aluno, e certa dose de pró-atividade na busca de alternativas para resolução dos problemas estão intimamente relacionados com o sucesso na disciplina.

No ensino de algoritmos não é possível gerar gabaritos de solução para os exercícios, pois existem diferentes maneiras de resolver um mesmo problema. Cada aluno percebe e constrói sua solução em função da sua interpretação e experiências pregressas. Para obter-se bons resultados deve-se optar pelo atendimento individualizado, o qual agrega componentes importantes ao histórico pessoal de habilidades cognitivas do aluno e o auxilia a resolver o problema. Um recurso muito utilizado e, que apresenta bons resultados, é a disponibilização de materiais e atividades interativas através da Internet. Desta forma, a dedicação extraclasse exigida pela disciplina fica organizada e facilitada. Considerando ferramentas de *chat*, *e-mail* e páginas *web*, consegue-se compor um conjunto alternativo de opções de atendimento aos alunos. Logo, as possibilidades de mediação entre professor e aluno são ampliadas no tempo e no espaço. As múltiplas experiências realizadas pelo autor e sua orientadora (Giraffa et al. 2003; Raabe, 2005) permitiram identificar que a existência de um ambiente virtual disponível na Internet poderia ampliar, ainda mais, esta relação.

Como o aspecto inovador sempre deve permear o desenvolvimento de uma tese, buscou identificar uma abordagem pedagógica que suportasse esta visão de mediação do trabalho do aluno via ambiente virtual, e que incluísse a participação do seu professor como um mediador.

A teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) de Feuerstein segue uma vertente interacionista. Existem amplos estudos empíricos evidenciando a sua validade (Feuerstein, 1985; Kaniel et al, 1991; Skuy et al, 1995; Feuerstein, 1998; Kozulin, 2001). Outro ponto importante é que ela dispõe de uma abordagem teórico-instrumental que aproxima a teoria da ação pedagógica.

Uma vez tendo escolhido o problema prático a ser endereçado pelo trabalho de tese, escolhida a abordagem (teórica) educacional para servir de suporte e, tendo escolhido os Sistemas Tutores Inteligentes como modalidade de software educacional a ser trabalhada, a problemática desta proposta pode ser resumida da seguinte maneira: *“Quais as características que um ambiente computadorizado deve ter para suportar atividades que auxiliem os alunos na construção do conhecimento quando a disciplina trabalha centrada na resolução de problemas?”*

Estas características devem ser reflexo de uma postura metodológica do professor que organiza as atividades de sua aula levando em consideração o seu papel de mediador. Esta mediação não só deve acontecer na sala de aula (presencial), bem como deve ser estendida para as atividades extra-classe. As atividades podem ser realizadas em laboratórios de informática através de um ambiente (software educacional) que permita ao professor organizar suas estratégias de ensino e seus alunos recebam orientação personalizada.

1.2 QUESTÃO DE PESQUISA

Decorrente desta problemática emerge a seguinte questão de pesquisa norteadora deste trabalho de tese:

Como a teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) de Reuven Feuerstein pode ser mapeada em componentes da arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente na modalidade ITA (Intelligent Teaching Assistants)?

1.3 HIPÓTESES DE PESQUISA

Do problema de pesquisa decorrem as seguintes hipóteses:

Hipótese 1 - O suporte teórico das EAM fornece subsídios para a tomada de decisão em Ambientes de Aprendizagem Inteligentes e pode ser mapeado como novos módulos na arquitetura tradicional de Sistemas Tutores Inteligentes;

Hipótese 2 – O compartilhamento do processo decisório entre professor e sistema computacional (característica de um ITA) abre novas possibilidades didáticas que podem favorecer a ocorrência de EAM;

Hipótese 3 – A proposta de uma arquitetura para promoção de EAM inspirada em um ITA fornece subsídios oriundos do registro das interações do aluno com o sistema para a atuação do docente com relação aos problemas de aprendizagem;

1.4 OBJETIVO GERAL

Elaborar uma arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente na modalidade ITA (*Intelligent Teaching Assistants*) que possibilite a promoção de Experiências de Aprendizagem Mediadas segundo a teoria de Reuven Feuerstein.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os componentes a serem agregados na arquitetura tradicional de um Sistema Tutor inteligente, bem como, seus inter-relacionamentos a fim de suportar o processo decisório de promoção de EAM;
- Elaborar um protótipo que utilize a arquitetura proposta usando como domínio os conteúdos da disciplina introdutória de Algoritmos;
- Realizar experimentos para validar a arquitetura proposta;

1.6 METODOLOGIA

A fundamentação teórica teve como área de abrangência o tema Sistemas Tutores Inteligentes e a Aprendizagem de Algoritmos. O estudo em profundidade envolveu a teoria das EAM e suas possíveis interfaces com a área de STI.

Após análise dos trabalhos correlatos, e seguindo o direcionamento da questão de pesquisa, foi proposta uma arquitetura do STI/ITA inspirada nesta teoria a qual foi instanciada em um protótipo a fim de permitir a realização de experimentos.

Um experimento foi conduzido com duas turmas ($n=63$) da disciplina de Algoritmos da Universidade do Vale do Itajaí, durante onze semanas no segundo semestre letivo de 2005. O protótipo da arquitetura foi utilizado como um elemento complementar ao processo de ensino formal da disciplina.

O experimento permitiu realizar análises qualitativas e quantitativas a respeito da inserção do ambiente computacional na dinâmica da disciplina. As análises qualitativas foram feitas baseadas na vivência dos experimentos e dos registros textuais realizados durante este. As análises quantitativas utilizaram-se de variáveis indicativas do uso do protótipo, dados históricos de desempenho dos alunos na disciplina e também dados sobre o desempenho dos alunos no período de realização do experimento.

De posse dos dados e registros do experimento, foram organizadas as tabulações e os testes estatísticos, assim como foram redigidas as conclusões do experimento que possibilitaram decidir pela aceitação ou rejeição das hipóteses de pesquisa. O detalhamento deste processo encontra-se na seção 3.4.5.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STI) são programas computacionais dedicados ao ensino, que utilizam técnicas da Inteligência Artificial. Sua principal característica é a flexibilização proporcionada frente às necessidades de aprendizagem de um determinado aluno em um dado momento, estabelecendo assim um diferencial em relação aos precursores históricos, os sistemas CAI (*Computer Aided Instruction*).

Nos sistemas CAI, a interação não se modificava em função das respostas e do desempenho dos alunos, a instrução programada era seguida independente das ações do usuário. Para aprimorar esta limitação, foram incluídas técnicas de inteligência Artificial surgindo então os ICAI (*Intelligent Computer Aided Instruction*). Atualmente esses sistemas são chamados de Sistemas Tutores Inteligentes (STI) e Ambientes Inteligentes de Aprendizagem (*ILE - Intelligent Learning Environments*) (Vicari e Giraffa, 2003).

A área de pesquisa de sistemas Tutores Inteligentes vem sofrendo gradativamente uma mudança de foco aproximando-se de aplicações práticas. Segundo Self (1998), no passado, o trabalho na área de Inteligência Artificial aplicada a Educação (IAED) era conduzido por pesquisadores que iniciavam como uma idéia ou teoria sobre algum processo cognitivo ou com alguma técnica particular de Inteligência Artificial (IA) que talvez tivesse uso potencial na área educacional. Eles então buscavam uma área de domínio onde esta teoria ou técnica pudesse ser aplicada e finalmente, com sorte, o sistema construído poderia ser testado em um contexto real. A maioria das teorias e técnicas se mostraram tão complexas e interessantes que não produziam resultados concretos. Este fato caracterizou a reputação da área de IAED como sendo irrelevante para problemas práticos.

Self (1998) complementa dizendo que atualmente existe um caminho alternativo para comprovar a relevância da área e ela vem sendo redescoberta na prática. Sistemas computacionais de apoio à aprendizagem com objetivos práticos passaram a evoluir identificando a necessidade de incluir técnicas de Inteligência Artificial.

Esta mudança de enfoque em conjunto com a disseminação de ferramentas computacionais para apoio a aplicação de técnicas de IA tem ampliado significativamente o número de pesquisas desenvolvidas na área como se pode observar nos anais de eventos da área.

A adoção de diferentes abordagens psico-pedagógicas, as novas perspectivas provenientes da utilização de sistemas multiagentes, o uso de raciocínio probabilístico, a inclusão do professor como usuário final e a emergência da computação afetiva tem sido alguns dos focos de interesse mais recentes da pesquisa em Sistemas Tutores Inteligentes.

Em 1998, (Self,1998) com a intenção de analisar a evolução dos problemas na área identificou os temas de pesquisas mais citados nos anais do congresso mais relevante da área (*ITS – Conference on Intelligent Tutoring Systems*) no ano de 1988 e dez anos depois 1998. Como resultado ele obteve a seguinte lista de temas:

ITS 88: sistemas especialistas; modelagem do aluno; resolução de problemas; arquiteturas; planejamento.

ITS 98: treinamento, agentes, modelagem do aluno, ambientes de aprendizagem, arquiteturas; colaboração.

Com esta análise pode-se identificar que a construção de modelos de aluno e as arquiteturas parecem os problemas mais abordados na área. O surgimento de novas tendências como agentes e ambientes colaborativos bem como uma migração de abordagens mais teóricas como a solução de problemas para outras mais aplicadas com treinamento podem ser verificados.

2.1.1 Arquitetura Tradicional ou Meta-Arquitetura

A arquitetura tradicional de um STI é composta de três componentes principais: o modelo do aluno; a base de domínio (ou modelo do domínio) e o modelo do tutor. Cada um destes modelos caracteriza-se por armazenar informações sobre o aluno, sobre o domínio (tema a ser aprendido) e sobre as estratégias de ensino, para combiná-las dinamicamente a fim de adaptar o ambiente computadorizado as necessidades particulares do aluno em um determinado instante do processo de aprendizagem. Akhras e Self (2002) descrevem que um STI combina dinamicamente as informações dos três componentes para tomar decisões adequadas em situações específicas em uma seção de tutoramento.

A Figura 2 ilustra a arquitetura tradicional de um STI.

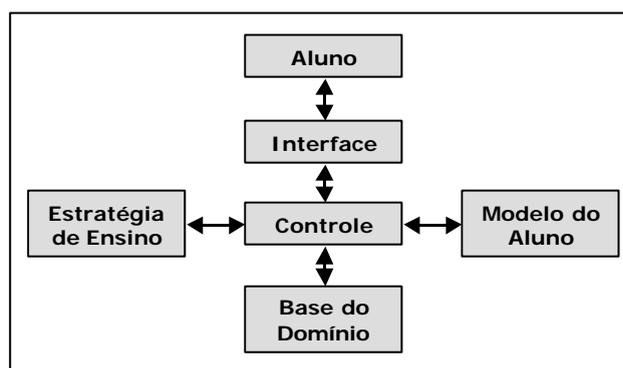


Figura 2 - Arquitetura tradicional de um STI

Na base do domínio fica armazenado o conteúdo instrucional, organizado conforme o propósito da aprendizagem. Em um ambiente web, esse conteúdo pode ser formado por documentos hipertextos, imagens e animações acrescidas de atributos que possibilitam ao modelo do tutor tomar decisões referentes ao processo de acompanhamento do aluno.

O modelo do aluno é constituído de informações sobre o aluno, classificadas geralmente em estáticas (nome, idade, conhecimento inicial, etc.) ou dinâmicas (informações sobre o desempenho e estado cognitivo do aluno). O sistema utiliza o modelo de aluno para ajudar a

determinar as ações apropriadas ao estudante. Modelagem de aluno é o processo de criação e atualização do modelo de aluno. Este processo ocorre, naturalmente, quando o estudante utiliza os sistema provendo inputs através da interface. Porém, estas evidências são normalmente sutis, e dificultam o processo de modelagem (Silveira, 1996).

Já no modelo do tutor são definidas as estratégias pedagógicas, isto é, quais ações que o sistema deve tomar considerando uma configuração específica do modelo do aluno e do domínio. Tais ações normalmente refletem a crença dos desenvolvedores sobre o processo de aprendizagem a ser adotado pelo tutor, ou seja, a teoria pedagógica que apóia as suas decisões.

O módulo de controle realizar a combinação das informações do aluno, domínio e estratégia a fim de permitir que o aluno receba um conteúdo instrucional adaptado a sua necessidade por meio da interface.

A interface de usuário é o meio pelo qual o tutor se comunica com o aluno. Sua função principal é propor atividades de aprendizagem ao aluno e capturar informações deste a fim de monitorar o progresso e atualizar o modelo do aluno. A interface depende diretamente da tecnologia selecionada para construção do ambiente computacional, e em alguns casos podem utilizar agentes animados para humanizar a comunicação com o aluno.

Atualmente diversas arquiteturas alternativas vem sendo propostas e desenvolvidas (Lester, 1997; Yacef, 2002; Kinshuk, 2001; Almeida, 2002; Butz, 2004), sobretudo arquiteturas multiagentes (Giraffa, 1999; Frigo, 2004; Geyer, 2004; Andrade e Vicari, 2003). Fala-se na necessidade em superar as limitações da arquitetura tradicional.

Sobre este aspecto esta tese se propõe a fazer uma distinção entre arquiteturas conceituais e arquiteturas voltadas a implementação. As arquiteturas conceituais fornecem direcionamentos sobre como a informação deve ser operada a fim de atender as necessidades para solução de uma

determinada classe de problemas. As arquiteturas voltadas à implementação são compostas de componentes que se traduzem em software, ou seja, como os componentes de software (módulos ou agentes) se combinam para produzir um resultado esperado.

Considerando esta distinção, a arquitetura tradicional é conceitual. Ela nos informa que para prover adaptação ao aluno é necessário combinar informações sobre o aluno, sobre o domínio e sobre o processo pedagógico. É possível verificar que esta característica se manifesta também em trabalhos que propõe arquiteturas alternativas voltadas à implementação.

Desta forma, defende-se aqui que a arquitetura tradicional deva considerada como uma meta-arquitetura de forma que, independente do desenho que se dê para a combinação de componentes conceituais e de software de uma arquitetura, se houver a integração das informações do aluno, domínio e processo pedagógico, ela estará em conformidade com a arquitetura tradicional. Com isso a arquitetura tradicional não tem que ser superada.

2.1.2 Modelos de Aluno

Self (1990) menciona que a característica fundamental da pesquisa em STI é a atenção meticulosa ao aluno. Outras áreas de pesquisa como a construção de interfaces adaptativas e sistemas de recomendação utilizam-se de informações dos usuários e por vezes de alunos para tomada de decisão, no entanto, nenhuma destas busca conhecer o aluno tão profundamente como a área de STI. Em Self (1990a) ele é taxativo ao dizer que é axiomático que qualquer STI precisa de um modelo de aluno.

A grande complexidade em modelar um aluno reside no fato de que pouco se conhece sobre os processo internos de funcionamento da mente. Ainda hoje trata-se à questão do que é aprender a partir de abordagens, pois não existe uma resposta definitiva.

O objetivo fundamental de se construir modelos de alunos está em conhecer o estado atual de um aluno em uma situação de tutoramento, no entanto quais os atributos deste estado é uma questão em aberto.

Conforme (Giraffa, 1999), o modelo do aluno representa o conhecimento e as habilidades cognitivas do aluno em um dado momento. É constituído por dados estáticos e dados dinâmicos que serão de fundamental importância para o tutor poder comprovar hipóteses a respeito do aluno. Contêm uma representação do estado do conhecimento do aluno no momento em que interage com o STI. A partir desse modelo e do conteúdo a ser ensinado, o sistema deve ser capaz de inferir a melhor estratégia de ensino a ser utilizada.

As contribuições da psicologia cognitiva para a compreensão de alguns dos processos internos do raciocínio têm sido a vertente mais utilizada para as abordagens de modelo de aluno (Ohlsson, 1987; Gilmore, 1987; Caillot, 1988; Anderson, 1990; Costa, 1992; Vicari, 1992; Self 1993; Paiva, 1994; Bull, 1994, Anderson, 1995).

Silveira (1996) apresenta quatro modalidades de modelagem cognitiva do aluno que serão discutidos de forma resumida a seguir:

- Modelo de medição de performance: A maneira mais simples de descrever um indivíduo em relação a uma área de conhecimento é através da medição de quão bem sucedida é a sua performance na resolução de problemas na área. Pode-se fazer isso de diversas formas como notas de avaliações, desempenho em exercícios, observação direta etc.;
- Modelo de *overlay*: Consiste na representação do conhecimento do aluno, ou seja, na representação do subconjunto do conhecimento no domínio da aplicação que, num dado instante é verificado como sendo de conhecimento do aluno;

- Modelo de perturbação: Ou modelo de descrição de erros, assume que, além do subconjunto da base de domínio, existem concepções incorretas na base de conhecimentos do aluno e que o estudante pode cometer falhas não só devido a não possuir um determinado conhecimento da base de domínio como também por possuir conhecimentos errôneos, adquiridos ou não no processo de aprendizagem;
- Modelo de Simulação: O modelo de simulação consiste de um modelo procedural executável que simula um comportamento que tenha o mesmo desempenho do usuário no domínio de conhecimento em questão. O comportamento é uma predição do que o aluno faria para resolver à mesma tarefa. Com este tipo de representação, é possível explicar os passos aluno em direção à sua resposta ao problema, além da resposta propriamente dita.

Giraffa (1999), acrescenta uma nova modalidade relacionada com a utilização de agentes e os estados mentais de Desejos, Crenças e Intenções (BDI – Belief, Desire, Intention).

- Modelo de Agentes BDI – consiste em tratar o modelo do aluno como um sistema de crenças, desejos e intenções. A interação entre aluno e sistema tutor é uma interação entre dois agentes inteligentes (ou, pelo menos, dotados de algum comportamento cognitivo). Considerar o aluno como um agente implica em considerar o modelo do aluno como um modelo de agente devendo incluir três componentes: a base de crenças, a base de motivações e o modelo de inferência.

O problema da modelagem do aluno já foi considerado como intratável, em um sentido de que não há uma possibilidade realista de construir modelos de aluno que atendam a todos os objetivos dos desenvolvedores de STI. Porém Self (1990a) em um dos trabalhos mais citados na área (Bypassing the intractable problem of student modelling) fornece um conjunto de recomendações para a construção de modelos de aluno com aplicações práticas.

1. Desenvolver as interações entre o estudante e o sistema de forma que a informação desejada pelo STI seja provida naturalmente pelo aluno e não tenha que ser inferida pelo STI;
2. Explicitamente combinar o conteúdo do modelo do aluno com ações tutoriais, preferencialmente suportadas por evidências educacionais, de forma a tornar claro o que realmente é necessário ser armazenado e o que é irrelevante;
3. Tornar o conteúdo do modelo do aluno aberto ao estudante de forma a provocar uma reflexão em relação a este conteúdo e removendo a pretensão de o STI apresentar uma perfeita compreensão deste;
4. Desenvolver STI que adotam um papel colaborativo, ao invés de diretivo, de forma a representar uma filosofia melhor de como o conhecimento é adquirido eliminando a necessidade de um alto grau de fidelidade nos modelos de aluno.

O que fica claro é que o problema de modelagem do aluno é de tamanha complexidade que se faz necessário abrir mão da precisão em prol da praticidade. Neste sentido acredita-se que a perspectiva de incluir a participação do professor na modelagem do aluno (explorada mais adiante nesta tese) apresenta uma contribuição efetiva.

2.1.3 Sistemas Tutores Inteligentes Interacionistas

Os primeiros ICAI possuíam uma orientação psicopedagógica fortemente comportamentalistas, refletindo a visão científica predominante na época e no local onde surgiram. Ainda hoje, muitas iniciativas são construídas sobre estes mesmos paradigmas. Com a emergência de novas visões sobre o processo de conhecimento, novos paradigmas de ensino-aprendizagem passaram a influenciar o design dos STI. Acreditava-se que, até certo ponto, que as teorias interacionistas fossem impossíveis de serem traduzidas e modeladas através das rígidas

estruturas computacionais. No entanto, os resultados de pesquisas apresentadas a seguir fornecem indícios para a superação desta crença.

2.1.3.1 Uma Abordagem Construtivista para STI

Akhras & Self (2002), definiram uma arquitetura inovadora para STI buscando contemplar aspectos da visão construtivista do processo de ensino-aprendizagem, fundamentada na visão do construtivismo a partir de autores como Piaget, Greeno, Glasersfeld, Brown e Jonassen. A arquitetura proposta não se opõe totalmente à abordagem tradicional de STI, representando na verdade uma perspectiva mais ampla de um STI. A premissa principal para o desenvolvimento da arquitetura é de que na visão dos construtivistas, o conhecimento não pode ser definido objetivamente, ou seja, a visão tradicional de STI onde o conhecimento é modelado através de unidades que o aluno passa a apreender (overlay) é incompatível com a visão construtivista.

Desta forma o trabalho de Akhras & Self (2002), propõe uma modificação na forma de representação e interpretação das informações propondo: (1) a modelagem do domínio em termos de situações ao invés de estruturas de conhecimento; (2) a avaliação da aprendizagem focalizada no processo e interações ao invés de no produto; (3) as oportunidades de aprendizagem surgem da proposição de situações (*affordances*), ao invés de serem promovidas a partir de estratégias básicas de ensino.

Seguindo a visão construtivista, o aluno, tradicionalmente modelado através de modelos cognitivos, passa a ser parte de um modelo de processos e interações. E o modelo do tutor, ao invés de tratar de estratégias de ensino, passa a tratar da proposição de situações de aprendizagem (*affordances*).

A arquitetura definida por Akhras & Self (2002) é apresentada na Figura 3.

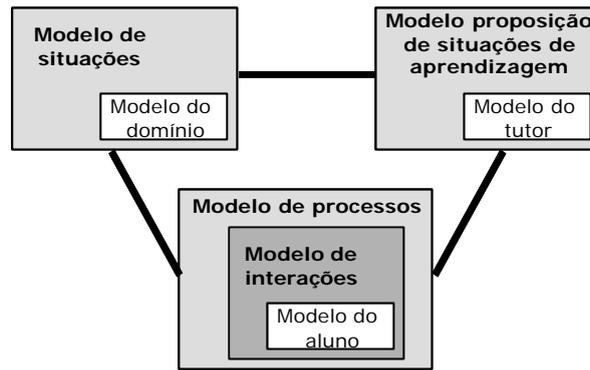


Figura 3 - Arquitetura do STI construtivista

A arquitetura proposta constitui-se em um ambiente de aprendizagem inteligente (ILE – *Intelligent Learning Environment*). “Um ILE construtivista deve se adaptar as características do aluno, do ambiente e da interação entre eles. Isto o difere fundamentalmente das características que são relevantes para STI” Akhras & Self (2002, p.3).

Além da arquitetura, os autores criaram um formalismo para representação das situações, interações, processos e proposições de situações de aprendizagem (*affordances*). A partir do formalismo, é possível atestar a viabilidade de implementação da arquitetura computacionalmente. Os autores mencionam a realização de dois experimentos empíricos que apresentaram resultados satisfatórios.

2.1.3.2 A Perspectiva da Psicologia Ecológica

Young et al (2002) discutem alguns dos pontos de vista apresentados por Akhras & Self (2002) indicando aspectos ainda em aberto e complementando o trabalho proposto sugerindo a inclusão da intenção como um aspecto imprescindível a ser modelado conforme a ótica da psicologia ecológica. Segundo Young et al (2002), na perspectiva da psicologia ecológica a análise ampla de qualquer contexto de aprendizagem deve reconhecer a dinâmica complexa e não-linear que se revela quando um aprendiz interage intencionalmente com um ambiente de aprendizagem computadorizado.

Neste sentido a intencionalidade exerce um papel fundamental no processo de pensamento e na especificação formal de situações e contextos de aprendizagem. “A intencionalidade é um aspecto central para a compreensão de uma situação de aprendizagem e envolve aspectos e dinâmicas que necessitam ser modelados.” (YOUNG et al, 2002, p.48). Os autores apresentam uma abordagem que compreende a análise do comportamento dos estudantes como uma cascata de restrições, ou reduções, em termos de graus de liberdade, caracterizada por uma descendente ontológica (Figura 4).



Figura 4 - Descendente Ontológica

A idéia é considerar um contexto de ensino-aprendizagem mais amplo do que normalmente as pesquisas em STI abordam. Desta forma, muitas variáveis relacionadas às situações de ensino-aprendizagem podem ser modeladas através de múltiplas dimensões representadas em cada nível ontológico.

Os graus de liberdade podem ser compreendidos como um conjunto de possíveis ações de um agente no ambiente. A cada ação tomada pelo aluno em direção a um objetivo, novas restrições são impostas a cada nível ontológico, restringindo as ações possíveis. Desta forma, Young et al (2002), sustenta que as situações de aprendizagem emergem a medida que os graus

de liberdade vão sendo limitados a somente ações que vem ao encontro das restrições daquele momento, dada à intenção do aprendiz e suas habilidades particulares de atuação e as demais variáveis contextuais. Não foram encontradas, até o momento da realização deste levantamento bibliográfico, aplicações práticas desta abordagem na construção de STI.

2.1.3.3 A Abordagem da Aprendizagem Auto-Regulada (SRL)

De acordo com Azevedo (2002), a aprendizagem auto-regulada (SRL – *Self Regulated Learning*) vem sendo vista como um tópico emergente na pesquisa psicológica e educacional. Aprendizes auto-regulados são geralmente caracterizados como aprendizes ativos que manejam adequadamente sua aprendizagem de diferentes maneiras. SRL é um processo de construção ativa onde os aprendizes definem objetivos de aprendizagem e buscam monitorar, regular e controlar suas cognições, motivações e comportamentos (Winne, 1998 apud Azevedo, 2002).

Azevedo (2002) explora especificamente o papel da SRL na aprendizagem de estudantes por meio de ambientes hipermídia acessível via Internet. Os experimentos realizados buscam encontrar evidências empíricas que forneçam suporte aos pressupostos teóricos e métodos adotados para a construção de ambientes educacionais adaptativos.

O trabalho compartilha uma visão cognitivista de representação objetiva de processos mentais adotada pelo grupo ACT-R (Anderson e Labiere, 1998). Segundo a visão deste grupo, alguns processos mentais podem ser representados por meio de uma arquitetura cognitiva passível de representação computacional. Desta forma, a ferramenta computacional ACT-R, desenvolvida pelo grupo, possibilita a criação e a experimentação de modelos cognitivos. Com isso, a busca por evidências empíricas torna-se um pré-requisito para a proposição de extensões dos modelos cognitivos existentes. Os resultados dos experimentos realizados por Azevedo (2002) apontam para existência de cinco grupos de variáveis de SRL utilizadas pelos alunos durante o processo de aprendizagem: (1) Planejamento; (2) Monitoração; (3) Uso de estratégias

(4) Dificuldade e demanda da tarefa; (5) interesse. Estes grupos e suas variáveis relacionadas serão futuramente modelados para a construção de um ambiente computacional adaptativo, seguindo a perspectiva da aprendizagem auto-regulada.

2.1.3.4 Um STI Sócio-Interacionista

A aprendizagem colaborativa vem se configurando em uma modalidade cada vez mais almejada entre os educadores e designers de ambientes de aprendizagem computadorizados, em especial no Ensino a Distância via Internet.

Andrade e Vicari (2003), propuseram o ambiente MACES (*Multiagent Architecture for an Collaborative Educational System*), um sistema educacional colaborativo à distância modelado segundo a abordagem multiagente e inspirado na concepção sócio interacionista de Vygotsky. O sistema é composto por agentes humanos (usuários e tutores) e por cinco classes de agentes artificiais: o agente diagnóstico, o agente mediador, o agente colaborativo, o agente social e o agente semiótico. A Figura 5 apresenta a arquitetura do MACES.

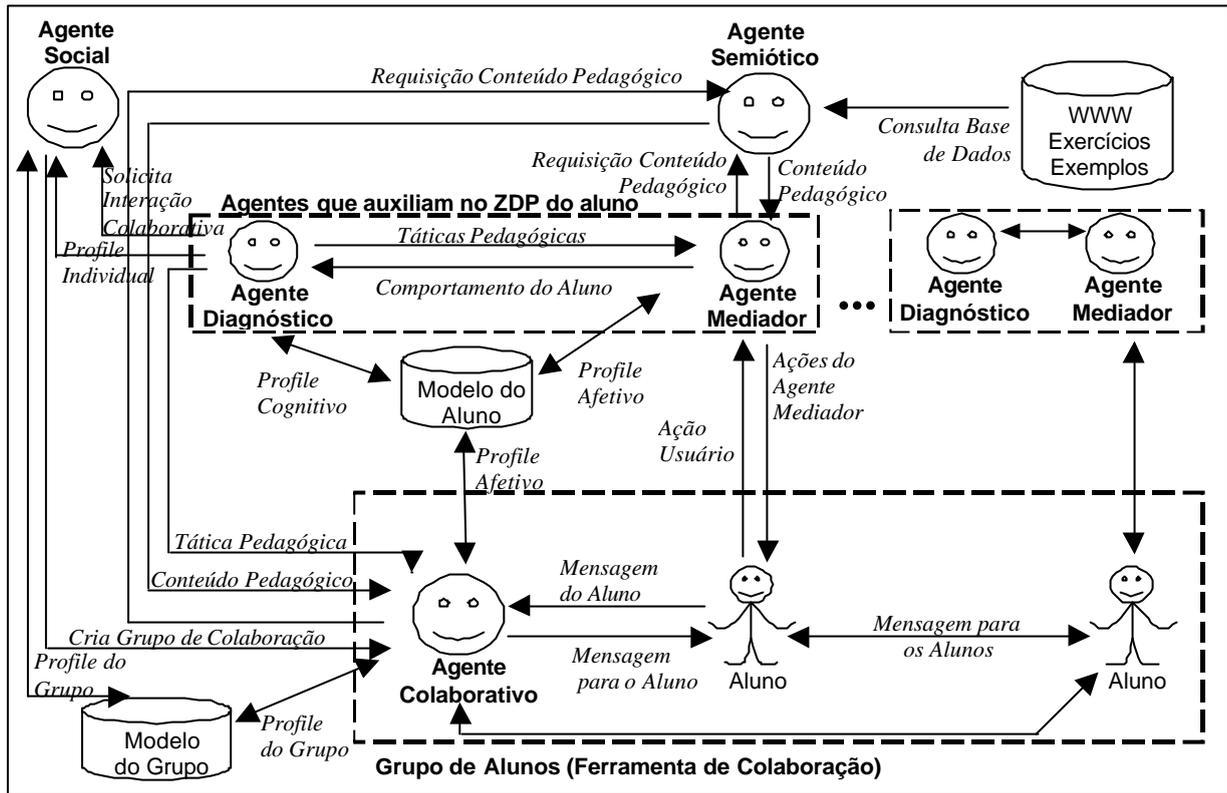


Figura 5 - Arquitetura do Ambiente Colaborativo MACES

Segundo Bocca (2003), o agente diagnóstico implementa o conceito de zona de desenvolvimento proximal (ZDP) proposto por Vygotsky, visando transformar habilidades potenciais em habilidades reais e buscando expandir a capacidade de desenvolvimento sócio-cognitiva do aluno.

Conforme Andrade et al (2003), o diagnóstico cognitivo do aluno inicia com a análise de uma tarefa através de um pré-teste realizado pelo aluno a fim de identificar habilidades internalizadas (nível de desenvolvimento real - NDR) e dificuldades (ZDP). As habilidades do NDR são aquelas em que o aluno não mais necessita mediação, já as habilidades da ZDP são aquelas que o aluno pode desenvolver se receber mediação.

O agente colaborativo é responsável por mediar/monitorar a interação entre grupos de alunos em ferramentas síncronas de comunicação entre os alunos. O agente social deve estabelecer a integração da sociedade formando grupos de alunos para estudo e criando um

agente colaborativo para cada grupo formado. O agente semiótico é responsável pela utilização de signos, conceitos e linguagem, repassados ao agente mediador ou agente colaborativo e, conseqüentemente, ao aluno no processo de aprendizagem.

O agente mediador auxilia no processo de internalização do aluno decorrente do contato com o ambiente social de EAD. Ele é responsável pela interface de comunicação do aluno com o ambiente, apresentando conteúdo pedagógicos e atividades e também por inferir os estados afetivos do aluno a fim de apresentar estratégias afetivas que visam promover no aluno um estado afetivo mais positivo para a aprendizagem.

Os agentes artificiais monitoram e auxiliam os agentes humanos em suas atividades colaborativas. No sistema proposto, todos os personagens, usuários e agentes, são modelados como agentes sociais, integrados em um ambiente de aprendizagem colaborativa.

Os agentes diagnóstico, mediador e colaborativo são responsáveis por monitorar e interagir com os usuários e os agentes semiótico e social auxiliam nas atividades relacionadas a toda a sociedade. Assim, existe um agente diagnóstico e um agente mediador para cada usuário, um agente semiótico e um agente social para toda a sociedade, e um agente colaborativo para cada grupo de usuários formado com características em comum (Jaques, 2002).

Os agentes do sistema MACES são modelados através de estados mentais. Segundo Andrade e Vicari (2003), a utilização da metáfora de estados mentais humanos em agentes artificiais é a tendência atual para o desenvolvimento de ambientes de aprendizagem inteligentes. Os estados mentais utilizados no MACES são crenças, desejos e intenções (BDI –Beliefs, Desires, Intentions) e são combinados de forma a gerar comportamentos pró-ativos nos agentes do sistema. O sistema MACES encontra-se em fase de desenvolvimento, sendo que os agentes semiótico, diagnóstico e mediador já estão implementados.

2.1.4 Sistemas Tutores Inteligentes que Incluem o Professor

A pesquisa inicial de STI possuía intrinsecamente a idéia de que os sistemas computacionais poderiam ensinar os estudantes sem nenhuma intervenção de professores humanos.

A participação de professores nestes casos ficava restrita a situação de especialista na modelagem dos STI de forma que suas crenças pedagógicas eram representadas no sistema. Kinshuk (2002) menciona que esta é inclusive uma das principais causas da pouca utilização de STI, pois a incompatibilidade entre os estilos do professor desenvolvedor e o professor usuário faz com que este último decida não utilizar a ferramenta.

Atualmente existem novas linhas de pesquisas que ao invés de meramente substituir o professor buscam incluí-lo, seja no processo de construção do STI como também como usuário final e beneficiário da tecnologia. Yacef (2002) menciona que tem havido um interesse crescente em incluir o professor como usuário final de um STI.

Neste sentido, serão exploradas duas modalidades diferentes de envolvimento do professor com os STI:

1. Os ITA (Intelligent Teaching Assistants) que incluem um módulo de informações para o professor e buscam assisti-lo na realização de suas tarefas;
2. Os Modelos de Professor Humano (HTM - *Human Teacher Model*) nos quais o STI se adapta ao estilo do professor.

Os *Intelligent Teaching Assistants* foram propostos por Yacef (2002) como resultado de um esforço para compensar a baixa quantidade de interações entre professores e alunos em turmas com muitos alunos.

O *Teaching Assistant* traduzindo para realidade brasileira seria o monitor da disciplina. No entanto, a julgar pelo trabalho de Yacef (2003), na Austrália os monitores são bem mais participativos realizando correções de provas, fornecendo relatórios de acompanhamento do desempenho dos alunos para o professor, detectando situações de plágio em avaliações e fornecendo feedback aos alunos.

Ao acompanhar a atuação do monitor de uma disciplina de Linguagens formais e Lógica, a autora identificou que um mesmo erro era cometido por vários alunos diferentes de forma que o monitor fornecia diversas vezes à mesma explicação. A falta de tempo e oportunidade tornava esta tarefa muito ineficiente. Desta forma, a automatização de algumas tarefas realizadas pelo monitor para atender a todos os estudantes a qualquer momento foi a principal motivação para o desenvolvimento do trabalho (Abraham, 2001).

Isto torna esta abordagem particularmente interessante, pois a complexidade das tarefas desempenhadas pelo monitor é menor em comparação com as realizadas pelo professor. Ao possuir um bom monitor o professor poderá organizar melhor seu tempo para investir na qualidade de sua atuação.

Yacef (2002) menciona que tradicionalmente os STI são dedicados aos estudantes auxiliando-os a aprender em um ritmo próprio, seguindo um conteúdo personalizado para as suas necessidades individuais e recebendo um feedback individualizado. ITAs são dedicados aos professores e aos alunos. Eles buscam facilitar o processo de ensino-aprendizagem como um todo auxiliando o professor da mesma forma que fazem com o aluno.

Ao classificar os ambientes educacionais inteligentes de acordo com seu grau de autonomia pode-se identificar três modalidades:

- Aqueles totalmente autônomos que substituem o professor;

- Aqueles que assistem ao professor, mas os alunos utilizam-no de forma autônoma;
- Aqueles que assistem ao professor e não são autônomos. O professor deve estar presente no seu uso.

A pesquisa tradicional em STI tem sido focalizada principalmente na primeira modalidade, enquanto que as outras duas modalidades configuram-se como ITAs. Em um ITA o professor permanece presente no processo de ensino-aprendizagem e é auxiliado pelo ITA.

Yacef (2003) aponta diversos tipos de assistência que pode ser provida por ITAs que são apresentadas a seguir:

- Auxílio ao Diagnóstico e Avaliação da Aprendizagem: Um ITA pode auxiliar na realização de um diagnóstico mais rápido, preciso e sistematizado da aprendizagem;
- Auxílio à confecção de materiais personalizados para um estudante: Característica comum aos STI. O ITA pode auxiliar na criação ou adaptação de textos, exercícios e questões conforme o estágio de desenvolvimento e as dificuldades de um determinado aluno;
- Auxílio no monitoramento da realização de um exercício por um estudante: Um ITA pode prover um acompanhamento detalhado dos passos realizados para a realização de um exercício, disponibilizando esta informação ao professor;
- Auxílio para a análise e síntese dos resultados: o ITA pode capturar os dados de todas as interações dos estudantes junto ao ambiente e reportá-las ao professor que pode analisar detalhadamente os passos de um aluno particular, ou então encontrar situações comuns a todos os alunos (síntese);

A arquitetura de um sistema ITA engloba, além dos modelos presentes no STI, o módulo do professor e a interface do professor. O módulo do professor é formado por informações sobre o processo de monitoramento do aluno no STI e análise do desempenho obtido. A interface é o meio por onde ele interage como mostra a Figura 6.

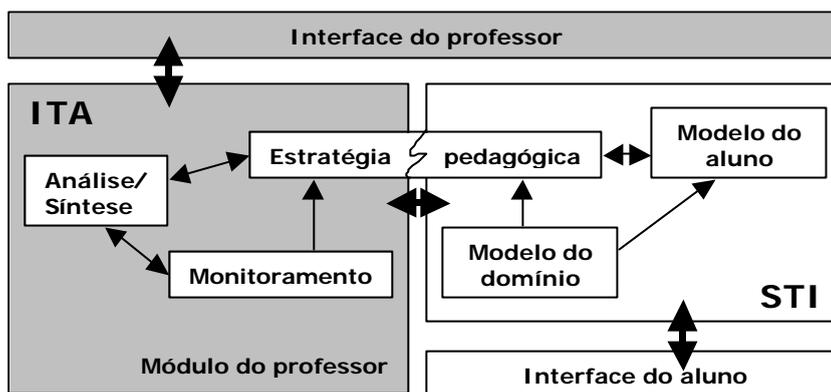


Figura 6 - Arquitetura de um ITA Yacef (2002).

Em um ITA estratégia pedagógica passa a ser compartilhada entre o STI e o professor humano que, assistido pelas ferramentas do módulo do professor, pode interferir influenciando o processo decisório. Desta forma o professor está no controle do processo de ensino-aprendizagem (Yacef, 2002).

O componente de monitoramento contém os procedimentos necessários para monitorar as ações dos estudantes no ambiente. Ele pode ser útil para reunir as informações sobre o uso que os alunos fazem do ambiente (ex: seções mais acessadas, tempo de permanência), identificar e reportar situações alarmantes (ex: um aluno que nunca acessou ao ambiente), informar quando da realização de um evento específico (ex: existem novos exercícios para serem corrigidos) e assim por diante.

O componente de análise e síntese é responsável pela identificação e comunicação de situações problema tanto em nível individual (ex: um aluno que nunca acessou ao ITA) bem como em nível de grupo (ex: muitos alunos erraram determinada questão). Ainda fornece

procedimentos para organização das informações sobre os estudantes conforme a visão desejada pelo professor (ex: alunos com dificuldades; alunos com alta participação; conteúdos com maior propensão a problemas de aprendizagem). Nota-se que a principal mudança em relação ao STI está em focalizar os esforços para a construção de ferramentas que possam assistir ao professor em suas tarefas.

Na arquitetura apresentada por Yacef (2002) e nos demais trabalhos da autora analisados (Yacef, 2003 e Lesta e Yacef, 2002) não fica claro, como o professor interfere no componente pedagógico do sistema. A autora menciona que existem diferentes papéis para um professor usuário de um ITA: relativamente passivo (apenas visualiza resultados); moderadamente ativo (monitora as atividades propostas aos alunos pelo sistema aceitando ou rejeitando-as); e muito ativo (modifica o diagnóstico dos estudantes e modifica as atividades propostas). O que leva a entender que o professor pode monitorar e modificar as atividades propostas, mas não modificar as regras de decisão adotadas pelo sistema.

Um outro aspecto que pode ser criticado é a ausência de uma relação entre o modelo do aluno no STI e o componente de monitoramento do ITA. Parece improvável que as informações sobre as ações do aluno no ambiente não devem ser consideradas para compor um modelo deste aluno com maior fidelidade. Há uma seta que liga o STI e ITA, no entanto ela não parece representar esta relação.

Além disso, há uma inconsistência entre a descrição e o desenho da arquitetura. Se o professor pode alterar o diagnóstico do aluno, então o modelo do aluno também deve ser compartilhado entre STI e ITA. Na forma em que está o modelo do aluno não poderia ser alterado pelo professor.

A Figura 7 ilustra o que Yacef (2002) chamou de arquitetura triangular didática que analisa a relação entre professor, alunos e o sistema.

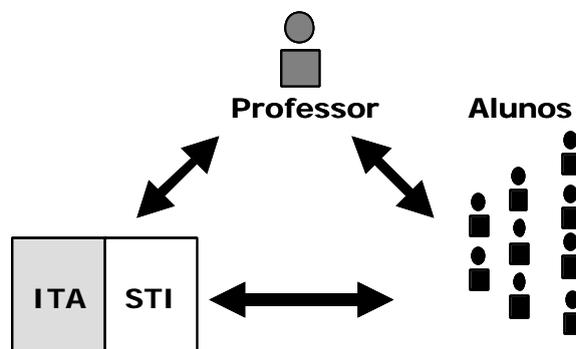


Figura 7 - Arquitetura didática Triangular

O professor interage com seus alunos em sala de aula provendo atividades de aprendizagem, aulas expositivas, transmitindo informações normalmente como sempre fez. Os alunos por sua vez interagem com o professor e entre si com objetivo de conseguirem compreender melhor os ensinamentos.

Os estudantes podem utilizar o ITS para praticarem e com isso aprenderem. Desta forma estarão fornecendo informações ao ITA que poderão ser analisadas pelo professor. De posse destes dados o professor tem melhores indicadores para compreender as dificuldades dos alunos, identificar conteúdos que tem apresentado maior quantidade de problemas, identificar alunos que estão muito acima ou abaixo do desempenho esperado. Enfim, pode modificar sua atuação em relação ao grupo ao aos indivíduos do grupo baseando-se nas análises viabilizadas pelo ITA.

Ao monitorar as decisões do ITS em relação ao aluno o professor poderá valer-se das informações identificadas nos encontros em sala de aula para modificar o comportamento do ITS em relação a determinado aluno, que desta forma será melhor atendido pelo ITS. Desta forma, o processo como um todo está sendo favorecido.

Lesta e Yacef (2002) apresentam um estudo comparando os resultados obtidos por duas turmas ao longo de 1 ano, onde uma delas não recebeu suporte de um sistema baseado em ITA para apoio o desenvolvimento da lógica e a outra usou o sistema proposto pelas autoras.

Analisando os resultados apresentados na pesquisa, os alunos que receberam o suporte de um sistema ITA, obtiveram um crescimento de 22% nas notas de trabalhos realizados semanalmente, enquanto nas provas, as notas aumentaram em 27%.

Os resultados positivos servem como uma motivação a mais para a realização do presente TCC, pois se espera que o ambiente proposto venha a contribuir com a aprendizagem, assim como contribuiu no trabalho de Lesta e Yacef (2002).

2.1.4.1 Modelo incluindo o Professor Humano

Kinshuk (2001) propõe incluir o professor como usuário final de um STI promovendo a adaptação ao estilo do professor assim como tradicionalmente se fazia com o aluno. Para isso ele propõe a inclusão de mais um componente na arquitetura de um STI. Um modelo do professor.

Uma das principais razões para esta proposta conforme explica Kinshuk (2002) é que uma vez que um STI tenha sido desenvolvido ele torna-se uma caixa preta para qualquer pessoa que não participou do seu desenvolvimento. Há muito pouca possibilidade de configuração do sistema por parte do professor que será usuário do sistema, ou seja, ele representa o conceito de como ensinar dos professores envolvidos no desenvolvimento e raramente atende ao estilo dos professores usuários. Configura-se assim uma sensação de pegar ou largar, onde o professor usuário não possui nenhum sentimento de empatia pela ferramenta.

Para Kinshuk este tem sido o fator determinante para a pouca popularização dos STI apesar de haverem inúmeros exemplares desenvolvidos e funcionais. Ele defende que o sucesso dos STI depende em grande parte de como eles podem ser ferramentas poderosas na mão de

professores e a menos que eles possibilitem a adaptação ao estilo do professor não encontrarão aceitação destes usuários.

A Figura 8 apresenta a arquitetura proposta por Kinshuk (2001).

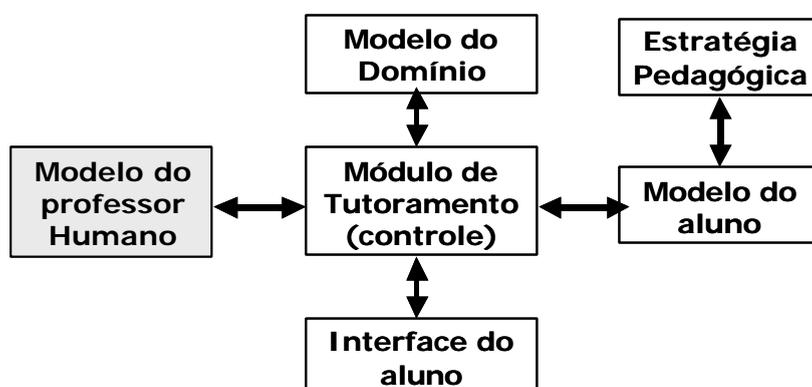


Figura 8 - STI com Modelo do Professor Humano

Nota-se que a única diferença desta arquitetura para a tradicional é a presença do modelo do professor. A este respeito Kinshuk menciona que a funcionalidade mais importante desta arquitetura é prover adaptação ao professor através do monitoramento de seu comportamento e de como ele utiliza o sistema para criar adicionar e personalizar o conteúdo.

A proposta do modelo do professor surgiu a partir de uma demanda identificada em cursos via web aplicados a um grande número de alunos e com diversos professores tutores. Questiona-se até que ponto, fora deste contexto à proposta irá realmente impulsionar uma maior aceitabilidade dos STI. O problema de modelagem do aluno já se demonstra demasiadamente complexo. Incluir mais um ser humano a ser modelado tende a duplicar o problema.

Além disso, a proposta parece não reconhecer o papel das teorias de aprendizagem no direcionamento do Componente pedagógico do STI. Se o comportamento do sistema seguir os preceitos de uma teoria, supostamente os docentes que atuam segundo esta teoria identificarão aspectos comuns. Neste contexto, adaptar-se ao estilo do professor significará tornar o STI adaptável à teoria pedagógica que este segue.

No entanto, Kinshuk (2001) apresenta apenas dois níveis de adaptação ao professor, conforme as escolhas de apresentação e navegação. O sistema monitora e armazena as preferências do professor na escolha dos itens de apresentação e nas escolhas de navegação e fornece itens similares posteriormente. Nenhuma adaptação relacionada ao estilo pedagógico do professor é realizada.

2.2 APRENDIZAGEM DE ALGORITMOS

A área de domínio selecionada para realização dos experimentos desta tese é a disciplina introdutória de algoritmos, fonte comum de dificuldades de aprendizagem. Desta forma, faz-se necessário elucidar de que trata a disciplina e qual a natureza dos problemas ocorridos. Analisa-se ainda uma série de trabalhos que propõem ferramentas que se destinam a auxiliar a aprendizagem de algoritmos e seus resultados.

Existem diversos conceitos para a palavra algoritmo. Alguns estão relacionados com a resolução de problemas num âmbito geral tais como:

- Algoritmo é um caminho para a solução de um problema (Orth, 2001);
- Algoritmo é uma seqüência de ações executáveis para a obtenção de uma solução para um determinado tipo de problema (Ziviani, 2004);
- Algoritmo é uma descrição de um padrão de comportamento, expresso em termos de um conjunto finito de ações (Dijkstra, 1971).

Neste contexto, pode-se dizer que uma receita culinária é um algoritmo para cozinhar algum alimento, ou que um manual de instruções sobre como instalar um aparelho de DVD fornece algoritmos para realizar a tarefa de instalação.

Outras definições possuem uma abordagem mais computacional:

- Algoritmo é a abstração de um programa de computador (Ziviani, 2004);

- Algoritmo é a descrição lógica de um programa de computador que poderá ser codificado posteriormente em uma linguagem de programação.
- Algoritmo é uma seqüência finita de instruções ou operações cuja execução, em tempo finito, resolve um problema computacional;

Desta forma, o conceito de algoritmo para a Ciência da Computação trata do estudo das ferramentas lógicas fundamentais para o desenvolvimento de programas ou software. Nota-se uma distinção clara entre algoritmo (uma descrição da lógica) e um programa (a representação formal do algoritmo). Esta distinção é fundamental para compreender o enfoque dado por esta tese à questão.

Considera-se que aprender algoritmos é aprender a utilizar o raciocínio lógico necessário para a construção de um programa de computador, sem estar preso a detalhes específicos de notação e sintaxe das linguagens de programação.

É necessário que o aluno represente textualmente um algoritmo para que ele possa ser testado e para isso ele deve utilizar um vocabulário restrito representando apenas as tarefas que um computador é capaz de desempenhar (ler, escrever, operar, decidir, repetir). Deve-se concentrar os esforços no desenvolvimento do raciocínio subjacente à construção das soluções dos problemas, deixando os detalhes de representação formal, pelo menos inicialmente, em segundo plano.

Existem cursos, sobretudo no exterior, que não fazem distinção entre aprender algoritmos e aprender uma linguagem de programação apostando que os estudantes ao aprenderem a programar estarão desenvolvendo o raciocínio lógico. Esta tese, no entanto trata de forma bem diferente estas aprendizagens.

A aprendizagem de algoritmos é considerada fundamental para o acadêmico dos cursos da área computacional como Ciência da Computação, Sistemas de Informação, Engenharia da Computação e Licenciatura em Computação. Seu objetivo é de iniciar o desenvolvimento do raciocínio lógico e da prática com a programação que será necessária no decorrer de todo o curso. GIRAFFA et. al (2003) coloca que o objetivo da disciplina de algoritmos é o aluno desenvolver habilidades cognitivas que permitam que o mesmo aprenda a resolver problemas, utilizando-se do computador como ferramenta.

Em uma visão que diferencia a aprendizagem de algoritmos da aprendizagem de programação, o conteúdo deve ser ministrado descrevendo sucintamente as ferramentas lógicas disponíveis (desvios, laços, etc..) e trabalhando amplamente nas possibilidades introduzidas por estas. Desta maneira, mesmo obedecendo a um conteúdo programático tradicional contido nas ementas, é possível priorizar o desenvolvimento de estratégias de solução de problemas.

O conteúdo programático da disciplina de algoritmos normalmente aborda os temas: Representação de Dados; Operações; Entrada e Saída de dados; Desvio Condicional, Laços de Repetição, Tipos de Dados Compostos, e Modularização. Conforme a carga horária da disciplina e as características de determinados cursos podem ser encontradas variações nestes temas, mas de forma geral eles representam bem os conceitos fundamentais que o aluno deve apreender.

A abordagem metodológica para o processo de ensino-aprendizagem da disciplina certamente varia de acordo com o professor, instituição e alunos. Porém, identifica-se uma característica comum atrelada a natureza do conteúdo que é a abordagem da proposição de problema. Existe uma forte crença de que não se aprende algoritmos copiando nem estudando, e sim construindo e testando algoritmos (Orth, 2001). Desta forma a proposição de problemas cujas soluções devem ser desenvolvidas pelos alunos é uma abordagem amplamente utilizada.

2.2.1 Problemas de Aprendizagem em Algoritmos

A disciplina de algoritmos é considerada desafiadora por grande parcela dos alunos em virtude de possuir um alto índice de problemas de aprendizagem, desistências e reprovações. Diversas as pesquisas que relacionam trabalhos multidisciplinares envolvendo as áreas de Ciência da Computação, Ciência da Educação, Ciência Cognitiva e Psicologia da Programação, na busca de elucidar a natureza dos problemas de aprendizagem (Pea, 1986; Gray, 1993; Rocha, 1988; Carbonel e Kaasboll, 1998; Wiedenbeck, 1999; Pimentel, 2003; Martins, 2003; Good, 2004; Chang, 2004).

Em geral, a disciplina de algoritmos destaca-se por exigir do docente e seus auxiliares uma forte demanda de interação a fim de atender, acompanhar, mediar e avaliar individualmente os alunos. No entanto, na maioria dos casos, esta necessidade torna-se inviável de ser atendida por motivos didático-organizacionais como, por exemplo, a grande quantidade de alunos em uma turma.

Mendes (2001) afirma que as dificuldades encontradas são diversas, entretanto algumas aparecem com maior frequência como o alto nível de abstração do conteúdo, que gera a necessidade de apresentar um bom nível de conhecimento e prática de técnicas de resolução de problemas. Além disto, a diversidade de background dos alunos gera ritmos de aprendizagem diferenciados o que dificulta um acompanhamento individualizado ao aluno.

Os problemas de aprendizagem que ocorrem nesta disciplina são em sua maioria oriundos da ausência ou ineficácia das estratégias de solução de problemas utilizadas pelos alunos. Segundo Nurrenberg (1997, apud Falkembach, 2003), os professores normalmente não são preparados para ensinar os alunos a resolverem problemas, e como consequência estes não estão aptos para analisar enunciados, traçar conjecturas, identificar variáveis de entrada e saída e assim por diante.

Menezes e Nobre (2002) apontam três problemas gerais da disciplina: (i) o elevado número de acadêmicos por turma, que inviabiliza a realização de um acompanhamento individualizado; (ii) avaliações que ocorrem apenas por meio de provas escritas ou trabalhos individuais, não promovendo uma evolução gradual da aprendizagem; (iii) heterogeneidade da turma, disparidade de conhecimento e ritmo de aprendizagem.

Dentre as dificuldades vivenciadas pelos professores de algoritmos em sala de aula, Menezes e Nobre (2002) relacionam: (i) a capacidade de reconhecer habilidades inatas de seus alunos; (ii) apresentar técnicas de resolução de problemas; (iii) promover o desenvolvimento da capacidade de abstração do aluno, permitindo-o selecionar as estruturas de dados coerentes; (iv) facilitar a cooperação e colaboração entre os alunos.

Rodrigues Jr. (2004), aponta um outro problema relacionado ao desconhecimento da importância da disciplina para a formação do acadêmico. Esse fato é comum tanto em alunos sem experiência prévia, pois não têm a dimensão da aplicação dos conteúdos na prática, quanto aos alunos que já programam em alguma linguagem, pois não possuem consciência científica e metodológica do trabalho, apresentando apenas conhecimento suficiente para o desenvolvimento de soluções de natureza restrita.

Já sob o ponto de vista dos acadêmicos, Tobar et al. (2001) definem alguns motivos que acarretam a frustração perante a disciplina: (i) a preocupação excessiva com detalhes de sintaxe da linguagem sendo usada; (ii) a falta de uma visão do que se quer solucionar, de idealizar soluções adequadas, de mapear essas soluções em passos sequenciais e de abstrair o funcionamento dos mecanismos escolhidos; (iii) o estabelecimento de um raciocínio lógico visando à resolução de problemas, com base em um modelo incremental, em relação à complexidade e à estratégia de refinamentos sucessivos.

Para Orth (2001) uma das dificuldades constatadas na aprendizagem de algoritmos é a passagem de uma língua natural, de expressão completamente livre, para uma linguagem formal muito restrita, com sintaxe não familiar e normalmente em língua estrangeira. Setúbal (2000) complementa mencionando que o problema mais fundamental vivenciado é a dificuldade que os alunos têm de representar algoritmos e demonstrações.

Na disciplina de Algoritmos e Programação, do curso de Ciência da Computação da Universidade do Vale do Itajaí, foi realizada uma análise sistemática, apoiada por evidências encontradas na bibliografia, das relações de ensino-aprendizagem durante os últimos nove semestres. Através dela foram relacionados outros aspectos que contribuem para a dificuldade de aprendizagem de algoritmos, dentre eles destacam-se três grupos distintos: problemas de natureza didática, problemas de natureza cognitiva, e problemas de natureza afetiva (Raabe e Silva, 2005).

Os problemas de natureza didática são aqueles que dizem respeito aos aspectos didáticos da atuação do professor, de sua relação com os alunos e também de aspectos organizacionais da instituição. Dentre estes se destacam:

- Grande número de alunos: As turmas apresentam em média 40 a 50 alunos o que inviabiliza um atendimento individualizado e um *feedback* mais efetivo, além de limitar a quantidade de avaliações que se pode realizar.
- Dificuldade em o professor compreender a lógica do aluno: Uma vez desenvolvido o raciocínio lógico, torna-se mais difícil pensar outras maneiras de solucionar um problema. Como consequência, o professor tem grande dificuldade em compreender a lógica individual de cada aluno subjacente às construções equivocadas dos algoritmos.

- Diferença de experiência e ritmo de aprendizagem entre os alunos: Muitos alunos que ingressam na disciplina já possuem alguma experiência em programação e ou trabalham na área tecnológica, enquanto que outros não possuem nenhum *background*, o que acaba gerando uma alta demanda de flexibilização na projeção das aulas perante alunos com conhecimento diversificado.
- Ambiente de realização das provas: A realização das provas é normalmente o momento onde o aluno percebe a diferença entre observar e fazer. Isso é um fator determinante na disciplina onde muitos alunos têm a sensação de estar entendendo, mas não percebem sua incapacidade de construir os algoritmos sozinhos. Aliado a essa realidade, a realização de prova em um período limitado de tempo, a pressão e o estresse certamente não favorecem o desenvolvimento do raciocínio dos alunos.
- Pouco uso dos monitores da disciplina: Os alunos com dificuldades de aprendizagem raramente procuram a ajuda dos monitores da disciplina, mesmo havendo uma divulgação sistemática dos horários e locais de atendimento. Acredita-se que uma razão para essa ocorrência seja a pouca credibilidade às orientações provenientes dos monitores depositadas pelos alunos.
- Ausência de bons materiais: Existem muitos livros de algoritmos, mas geralmente eles apresentam o conteúdo de uma forma que o aluno tem dificuldade de assimilar. Os livros acabam sendo usados mais pelos professores para organização do currículo e seleção de exercícios. É provável que o mesmo problema que faz o docente não compreender a lógica equivocada de certos alunos se manifeste nos autores de livros que não conseguem escrever de maneira acessível ao aluno

aprendiz. Além disso, dificilmente são encontrados livros que sejam direcionados para o ensino autônomo.

- Alunos desorientados sobre a escolha do curso: Como a disciplina é lecionada no primeiro semestre, muitos alunos não têm uma visão correta sobre o perfil do curso e acabam descobrindo isso durante a disciplina. Em muitos casos, uma visão equivocada sobre o curso cria um ambiente de incompreensão e de descaso frente aos desafios da disciplina.

Os problemas classificados como de natureza cognitiva consistem em aspectos que normalmente estão atrelados ao desenvolvimento insuficiente das funções cognitivas necessárias para a resolução de problemas de natureza algorítmica. Estes problemas normalmente são originados no ensino médio conforme salienta Martins (2003) e Koliver et. al (2004).

- Alunos sem perfil para solução de problemas: Muitos alunos não desenvolveram adequadamente estratégias para solução de problemas durante o ensino médio, e por isso apresentam maior dificuldade com a disciplina. Isso se manifesta fortemente na dificuldade de interpretação dos enunciados dos problemas.
- Alunos sem base operatório-formal: aparentemente o raciocínio operatório formal, base para compreensão do raciocínio lógico, não foi adequadamente desenvolvido no ensino médio, no entanto faltam dados empíricos que comprovem esta realidade.
- Conteúdo sem proximidade com o conteúdo escolar: A lógica algorítmica é algo totalmente novo para a maioria dos alunos, e com isso os mesmos não conseguem estabelecer relações com conteúdos apreendidos anteriormente. Existem algumas interfaces sutis com a matemática ministrada do ensino médio, mas os alunos normalmente não conseguem fazer esta relação.

Os problemas de natureza afetiva podem afetar a aprendizagem do aluno. Goleman (1996, apud Vicente, 2003) cita que alunos que apresentam sentimentos de ansiedade, raiva ou depressão tem dificuldade em aprender. Estes estados afetivos criam um bloqueio na mente não permitindo que a informação passada pelo professor seja captada de forma eficiente.

A diversidade de problemas desta natureza é alta, entretanto neste trabalho optou-se por classificar esses pela sua frequência, isto é, ocorrem esporadicamente ou manifestam-se ao longo de toda a disciplina.

- Ocasionais: Problemas esporádicos de ordem pessoal que afetam o aluno impedindo que este consiga se concentrar nas explicações, influenciando seu desempenho nas avaliações. Algumas origens para esses são: brigas familiares, dificuldades financeiras, ausência de vaga de trabalho, etc.
- Constantes: Problemas de ordem afetiva que se manifestam durante todo o decorrer da disciplina em maior ou menor grau. Baixa auto-estima, pouca motivação, aversão ao conteúdo ou ao professor e insegurança são exemplos de emoções que podem afetar negativamente à aprendizagem do aluno.

Atender às necessidades dos alunos dada à diversidade de problemas possíveis torna-se uma tarefa praticamente inviável para os docentes. Neste sentido, a proposição de ferramentas computacionais que possam assistir o professor nesta tarefa é de grande valia.

2.2.2 Ferramentas de Apoio ao Aprendizado de Algoritmos

O uso de ferramentas que apoiem tanto o ensino de algoritmos e pseudo-linguagens, quanto a alguma linguagem de programação específica, tem sido o foco do trabalho de muitos pesquisadores motivados em solucionar as dificuldades educacionais (Castro et al., 2002).

Desta forma, realizou-se um levantamento sobre as ferramentas de apoio ao ensino de algoritmos. Dentre as aplicações encontradas, constatou-se que elas podem ser divididas em duas categorias: ferramentas sem a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial, e Sistemas Tutores aplicados ao domínio da programação, os quais são apresentados na Seção 2.2.3.

A ferramenta ILA (Interpretador de Linguagem Algorítmica), cujo projeto foi iniciado no ano de 1990, tem o objetivo de minimizar problemas de construção de algoritmos. Caracteriza-se por ser um interpretador implementado para o sistema Operacional DOS, o qual permite testar algoritmos desenvolvidos em português estruturado (Evaristo e Crespo, 2000).

Já o Portugol/Plus é uma ferramenta desenvolvida em Pascal para plataforma DOS que visa estimular o aprendizado de lógica de programação utilizando o Portugol. Para tanto, o sistema apresenta um editor e um compilador de algoritmos. O editor é baseado nos editores de texto da plataforma DOS, permitindo a manipulação dos algoritmos. Já o compilador é formado pelo analisador léxico e sintático, que gera ao final um programa em Pascal. (Esmin, 1998)

O AMBAP - Ambiente de Apoio ao Aprendizado de Programação - (Almeida et al., 2002) que utiliza a tecnologia desenvolvida no ILA. O ambiente oferece ferramentas auxiliares ao ensino de programação, sob a perspectiva da resolução de problemas. Ele permite ao aluno desenvolver e executar seu programa utilizando linguagem algorítmica através de um simulador. Seu desenvolvimento foi realizado em Java e ao todo oferece um interpretador (para fluxograma, pseudocódigo, *assembly*), um editor e tradutor.

AWTM – Aplicação Web para realizar Teste de Mesa em algoritmos – (Medeiros e Dazzi, 2002), reúne informações sobre o desenvolvimento de algoritmos, materiais de apoio, exemplos e *links* úteis. Ela possibilita a edição, verificação de erros e execução de teste de mesa de algoritmos utilizando o próprio *browser*, através de um componente ActiveX inserido na

página HTML. A ferramenta destaca-se por disponibilizar recursos presentes em aplicativos *desktop* dentro do contexto web. Em um ambiente integrado, e sem requerer instalação de programas, o aluno consulta materiais de referência e realiza testes com os algoritmos desenvolvidos.

O AnimaAlgo (Martins, 2004) é um software que possibilita aos alunos compreender melhor o funcionamento de um algoritmo através da visualização gráfica durante sua execução. Permite a escrita, compilação e visualização de árvores sintáticas geradas a partir de um algoritmo fornecido.

A ferramenta CIFluxProg (Santiago e Dazzi, 2004) é um construtor e interpretador de algoritmos, que tem como diferencial a possibilidade de realização de testes de mesa. Nela é possível a implementar e testar soluções desenvolvidas em Portugol ou em fluxograma. Sua vantagem é de permitir a flexibilização do processo de aprendizagem de algoritmos, através da demonstração do funcionamento de seus códigos na prática.

A partir da pesquisa sobre as ferramentas existentes, apresentada resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das ferramentas de apoio à aprendizagem de algoritmos

Ferramenta	Autor	Características
ILA	Evaristo e Crespo, 1990	Ambiente de teste de algoritmos. Não oferece editor.
Portugol/Plus	Esmin, 1998	Editor e compilador de algoritmos em Portugol. Gera código em Pascal.
AMBAP	Almeida et al, 2002	Simulador de código com editor, interpretador e tradutor.
AWTM	Medeiros e Dazzi, 2002	Aplicação <i>Web</i> . Oferece <i>links</i> para materiais complementares e possui editor, verificador de erros e teste de mesa.
Anima Algo	Martins, 2004	Gerador gráfico de árvore sintática do programa. Possui editor e compilador.
CIFluxProg	Santiago e Dazzi, 2004	Ferramenta para edição e execução de algoritmos em Portugol e fluxogramas.

Pode-se observar que no geral elas consistem em editores textuais ou gráficos para escrita de programas, com interpretadores e compiladores no auxílio de testes dos algoritmos, sendo que sua maioria é direcionada ao atendimento às necessidades dos alunos, sem fornecer apoio às tarefas do professor.

2.2.3 Sistemas Tutores Inteligentes no Domínio de Algoritmos

A construção de Sistemas Tutores Inteligentes para o domínio da programação tem sido provavelmente um dos temas mais abordados na área. Conforme Kinshuk (2002) a pesquisa de STI tem sido conduzida principalmente por Cientistas da Computação que buscam domínios bem formalizados para a aplicação de teorias e técnicas inovadoras.

Ainda que muitos dos trabalhos anteriores a 2000 apresentem contribuições relevantes como em (Adam, 1980; Kay, 1984; Bonar, 1985; Johnson, 1987; Du Boulay 1987; Vicari, 1989; Brosilovski, 1996; Vikki, 1996; Song, 1997), esta tese irá analisar apenas alguns exemplares mais recentes a fim de apresentar o que de mais atual vem se fazendo na área.

O E-TCL (*Expert System for Teaching Computer Language*) é direcionado ao ensino de qualquer linguagem de programação, ele permite que vários professores cooperem entre si, gerenciando a estrutura de comandos das diversas linguagens, além de descrever diferentes diálogos e estilos de tutoramento para um determinado comando (El-Khouly, 2000). A implementação foi feita em Java utilizando CORBA e CGI.

No E-TCL, os alunos acessam o sistema através da Internet, selecionando a linguagem que desejam aprender, bem como a forma que o conteúdo deve ser disponibilizado e como preferem compartilhar seu conhecimento com os colegas. O sistema possui agentes que assistem ao professor e ao aluno.

Mungunsukh (2002) apresenta um ambiente baseado em agentes para suporte a aprendizagem de programação da linguagem VBL. A intenção é auxiliar o aprendiz a estudar a linguagem de maneira eficaz através do diagnóstico das funções psicológicas relacionadas com a descrição, explanação, predição, controle e melhoria manifestados durante a aprendizagem. Para isso, o sistema busca compreender os usuários a partir de estilos de digitação. O sistema é baseado em agentes e possui um ambiente de programação integrado que provê lições, tarefas e exemplos.

Castro (2002) apresenta o SAAP (Sistema de Apoio à Aprendizagem de Programação), cujo enfoque é na interação com os alunos e identificação semi-automática de grupos ou padrões de soluções, facilitando o processo de feedback. O sistema utiliza a abordagem de sistemas multiagentes, além de disponibilizar ferramentas de apoio independentes como, por exemplo, verificação de consistências em scripts.

A ferramenta JITS (*Java Intelligent Tutoring System*) destina-se a fornecer feedback inteligente a alunos que estejam iniciando sua aprendizagem de programação da linguagem Java. A ferramenta possui um analisador sintático que verifica o quão distante da solução correta (previamente cadastrada) está um programa criado pelo aluno (Sykes, 2003).

Os passos que envolvem o funcionamento do JITS consistem em: (i) o aluno envia o código-fonte do problema resolvido; (ii) o sistema verifica se o código apresenta erros sintáticos; (iii) caso existam erros no passo 2, o módulo contendo a lógica *fuzzy* é executado a fim de determinar distância da resposta correta em relação à fornecida pelo aluno; (iv) caso contrário, é construída a árvore sintática, e o código é compilado e executado, para então o módulo fuzzy ser executado; (v) ao final o diagnóstico descritivo é construído, e em caso de sucesso o sistema seleciona o problema seguinte.

O PROOGRAMA (Giraffa et al, 2003) é um ambiente que visa auxiliar nas tarefas de sala de aula dos alunos de uma disciplina de algoritmos. Ele oferece um conjunto de ferramentas virtuais que têm o objetivo de auxiliar na comunicação e gerenciamento de informações. Para isso, utilizam-se agentes para monitorar e gerenciar informações como a divulgação de atividades, prazos de entrega e habilitação/desabilitação de recebimento de soluções. Ainda, caracteriza-se por disponibilizar links, materiais, notas, *download* de ferramentas, mural de avisos e agenda de compromissos.

Guilbert (2003), apresenta um sistema baseado na abordagem de programação por exemplos, que consiste na descrição concreta dos algoritmos em funcionamento. O sistema, denominado Melba, integra uma linguagem visual clássica com exemplos concretos para o ensino de linguagens imperativas. O principal enfoque é a abordagem da área de Interfaces humano-computador para produção de uma ferramenta com boa usabilidade.

BITS (*Bayesian Intelligent Tutoring System*) é um STI para web aplicado ao ensino da linguagem C++. Para a concepção do modelo do domínio, os conceitos que compõem o ensino de C++ foram classificados e estabelecidos co-relações ponderadas entre eles. Por exemplo, para que um aluno compreenda o conceito do laço de repetição Para-Faça, é necessário que ele já tenha adquirido conhecimento sobre atribuição, operadores relacionais e operadores de incremento e decremento, pois estes compõem o laço. A Figura 9 apresenta os pré-requisitos do conceito do laço de repetição Para-Faça, e a Tabela 2 exibe como a avaliação do nível de conhecimento ou desconhecimento é armazenada no modelo do aluno.

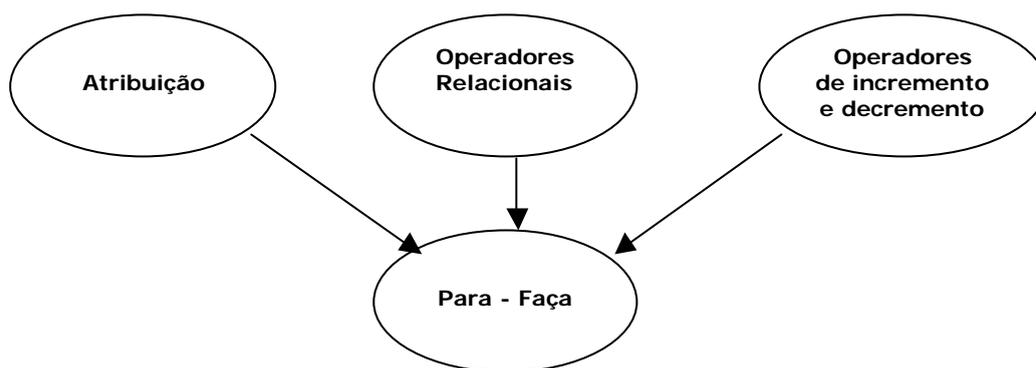


Figura 9 - Pré-requisitos do conceito “Para-Faça” Butz (2004).

Tabela 2 - avaliação do conceito Para-Faça

Nodos			Para-faça	
Atribuição	Operadores Relacionais	Operadores de Incremento e Decremento	Conhecido	Desconhecido
Conhecido	Conhecido	Conhecido	0.75	0.25
		Desconhecido	0.39	0.61
	Desconhecido	Conhecido	0.50	0.50
		Desconhecido	0.22	0.78
Desconhecido	Conhecido	Conhecido	0.50	0.50
		Desconhecido	0.29	0.71
	Desconhecido	Conhecido	0.40	0.60
		Desconhecido	0.15	0.85

Os nodos e pontuação são aplicados à tomada de decisão realizada pelo sistema através da aplicação de redes Bayesianas que determinam o conhecimento do aluno através da interligação dos conceitos por ele conhecido. O sistema permite o livre arbítrio na escolha do conceito que o aluno deseja aprender, entretanto são alertados quais os pré-requisitos necessários caso o aluno ainda não tenha apresentado qualificação suficiente para este. Isso é possível, pois o sistema classifica cada um dos conceitos em três categorias de conhecimento: (i) o aluno apresenta conhecimento suficiente para avançar; (ii) o aluno está apto para leitura; e (iii) o aluno não está preparado para leitura. (Butz, 2004).

A Tabela 3 apresenta uma síntese dos trabalhos analisados.

Tabela 3 - Síntese dos STI aplicados à programação.

Ferramenta	Autor	Características
E-TCL	El-Khouly, 2000	Abordagem cooperativa onde diversos professores podem inserir formas de feedback personalizadas. Independente de linguagem. Utiliza agentes.
Sem nome	Mungunsukh, 2002	Diagnostica funções psicológicas a partir de eventos do teclado. Voltado ao ensino de VBL. Utiliza agentes
SAAP	Castro, 2002	Identifica grupos ou padrões de soluções facilitando o processo de feedback. Baseado em agentes. Linguagem não informada
JITS	Sykes, 2003	Compara a solução do aluno com uma solução padrão. Usa lógica <i>fuzzy</i> . Voltado ao ensino de Java.
PROOGRAMA	Giraffa et al, 2003	Ambiente de suporte a disciplina de algoritmos. Utiliza agentes para monitor as ações dos estudantes. Independente de linguagem.
Melba	Guilbert, 2003	Abordagem da IHC baseada na programação por exemplos. Ambiente integrado de programação. Independente de linguagem.
BITS	Butz, 2004	Possui um mapa conceitual de relacionamento entre os conceitos da linguagem C++. Utiliza Redes Bayesianas para determinar o conhecimento do aluno e sugerir atividades.

Pode-se observar que a utilização de agentes tem sido freqüente, e que a tendência de focalizar aspectos sintáticos das linguagens de programação, presente nos trabalhos precursores, começa a ser substituída por iniciativa independentes de linguagem voltadas ao desenvolvimento da lógica subjacente ao desenvolvimento de programas.

2.3 EXPERIÊNCIAS DE APRENDIZAGEM MEDIADAS (EAM)

A teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas foi proposta por Reuven Feuerstein, um pesquisador israelense que vem alcançando renome mundial pelo seu método desenvolvido com pessoas com defasagem cognitiva.

Segundo Chaves (2002), entre 1950 e 1963, Feuerstein concebeu e desenvolveu o conceito de Experiência de Aprendizagem Mediada (EAM). A noção de EAM foi se desenhando progressivamente, através da sua prática em longos anos de experiência como educador e

pesquisador na área da cognição. Entretanto, pode-se dizer que o momento central e crítico para o surgimento e concepção formal da EAM foi quando Feuerstein se defrontou, na época do pós-guerra, com um grande número de crianças e adolescentes judeus imigrantes que se dirigiam/imigravam para Israel, e que apresentavam desvantagens intelectuais e baixo êxito escolar.

No intervalo de 1950 a 1954 Feuerstein recebe do emergente Estado de Israel a tarefa de desenvolver o potencial cognitivo de crianças judias provenientes do holocausto, assim como de diversos cantos da Ásia, África, etc. Testes tradicionais, como o do quociente de inteligência (QI) e provas piagetianas foram realizadas para analisar o nível intelectual das crianças. Constatou-se um grande atraso cognitivo, em nível de retardo mental na maioria da população infantil, tanto demonstrado pelos testes tradicionais, como pelos testes desenvolvidos pela escola piagetiana de Genebra. O prognóstico era o pior possível (Gomes, 2002).

Contraditoriamente e diversamente aos testes, Feuerstein observava que aquelas mesmas crianças eram capazes de alterar seu padrão de raciocínio e qualidade mental, através de sua interação com elas. Elas mostravam potenciais não demonstráveis nos testes, que apenas mediam as capacidades manifestas. Feuerstein buscava ir além das observações pontuais e imediatas dos testes, interagindo do ponto de vista clínico e encontrando, ao mesmo tempo, uma potencialidade à mudança não detectada em primeira mão.

Feuerstein salienta que:

“Durante a Segunda Guerra, vivi em campos de concentração e depois em prisões nazistas. A guerra acabou e me dediquei às crianças sobreviventes dos holocaustos. Elas foram para Israel depois de passarem três, quatro anos nos campos de concentração. Seus pais haviam morrido em câmaras de gás. Algumas chegaram a Israel como esqueletos. Eram totalmente analfabetas aos oito, nove anos de idade. Eu não podia aceitar que fossem retardadas ou idiotas. Passei mais

de sete anos trabalhando com essas crianças. Não conseguiam organizar o pensamento, nem suas ações. Uma noite, em Jerusalém, um dos meninos, com oito anos, deitou-se ao meu lado e então começamos a ler filosofia juntos. A mudança era possível. Hoje essas crianças tornaram-se homens e mulheres inteligentes e dignos.” (Feuerstein apud Chaves, 2002. p. 53)

Uma parcela dessas crianças, apesar dos testes, apresentava a capacidade de se adaptar às novas exigências e de aprender conteúdos escolares de uma forma satisfatória. Algumas destas crianças eram provenientes de culturas primitivas, de tradição oral, e demonstravam capacidade para aprender conteúdos muito além dos exigidos na sua cultura original e demonstravam capacidade, inclusive, de estabelecer novas e constantes estratégias mentais de aprendizagem. Concomitantemente, foram também se mostrando capazes de se adaptar à nova cultura de Israel, incorporando a escrita e o estudo formal com relativa facilidade e rapidez.

Ao longo do tempo, Feuerstein foi, então, constatando uma diferença importante entre as crianças com boa flexibilidade e as crianças que apresentavam significativas dificuldades de aprendizagem escolar e de inserção cultural.

O grupo com dificuldades era privado culturalmente: em sua própria cultura, não haviam aprendido a criar estratégias e não tiveram suas funções cognitivas ativadas, de forma ampla, para se adaptar às diversas necessidades da vida. Não tiveram essas qualidades, porque não foram impulsionados pelos representantes de sua própria cultura. Faltava-lhes uma interação própria, um processo de mediação (Feuerstein, 1985).

Por meio destas constatações, Feuerstein elaborou um entendimento teórico sobre a aquisição do conhecimento humano e a formação da estrutura cognitiva: O desenvolvimento cognitivo e a manifestação da aprendizagem são efeitos da interação humana, por excelência.

Para Chaves (2002) se antes de Feuerstein, com Piaget, o baixo rendimento cognitivo, ou o fracasso no processo de aprendizagem, ou o retardo mental, eram (e ainda são) vistos como frutos de uma imaturidade biológica da estrutura cognitiva do indivíduo, os mesmos passam a ser vistos, com a inserção da Teoria da Modificabilidade Cognitiva Estrutural no campo da ciência humana, como frutos da falta de uma interação social chamada Experiência de Aprendizagem Mediada, que, por sua vez, produz a denominada Síndrome de Privação Cultural. A própria imaturidade biológica, vista como a causa central das dificuldades de aprendizagem, passa agora a ser enfocada como um efeito da ausência de mediação ou processo mediacional.

Segundo Da Ros (1997), nos anos setenta, Feuerstein comprovou, em nível de pesquisa empírica, tais referidos pressupostos então já desenvolvidos em observações e práticas educativas. Os resultados apontaram que a Experiência de Aprendizagem Mediada é um fenômeno reconhecível tanto em culturas tradicionais e remotas, como nas sociedades industriais. Além disso, comprovou-se que somente as crianças que haviam passado pela Experiência de Aprendizagem Mediada se adaptavam aos desafios do ambiente e demonstravam boa capacidade para aprender. Assim, a teoria se apresentava válida frente aos resultados empíricos da pesquisa.

2.3.1 Definição de Experiência de Aprendizagem Mediada

Feuerstein (1997), define a mediação como sendo uma atitude intencional realizada por um sujeito mais experiente que tem a incumbência de preparar situações que favoreçam o desenvolvimento cognitivo de seu aprendiz. A Experiência de Aprendizagem Mediada é o processo pelo qual a modificabilidade cognitiva é atingida. A Modificabilidade Cognitiva Estrutural define os seres humanos como indivíduos que têm a propensão para modificar-se ou para serem modificados nas estruturas de seu funcionamento cognitivo à medida que eles respondem às demandas de mudança de situações de vida (ver seção 2.3.4).

A EAM requer a presença de três parâmetros que são o objeto de atenção deliberada por parte do mediador. Intencionalidade e Reciprocidade, Transcendência e Significado. Esses parâmetros oferecem oportunidade ao mediador de fazer escolhas planejadas e sistemáticas para explorar o potencial de mediação em situações para encorajar o funcionamento cognitivo e estimular a modificabilidade.

O processo de mediação vai além de uma simples e orientada tarefa de um produto, de uma orientação de aprendizagem, objetiva tornar o indivíduo capaz de agir independentemente de situações específicas, e isso torna o aprendiz capaz de se adaptar às novas dimensões com as quais ele irá se defrontar.

A EAM afeta, de maneira significativa, a capacidade do indivíduo de ser modificado estruturalmente através da exposição direta a estímulos. Quanto mais o indivíduo vivencia EAM, maiores serão os benefícios adquiridos por aquela pessoa em função da exposição direta ao aprendizado; quanto menos EAM for recebida, menos uma pessoa estará apta a aprender a partir da exposição direta e menos adaptável o indivíduo será (ICELP, 2004).

2.3.2 Critérios do Processo de Mediação

Os termos “mediação” e “mediador” tem sido amplamente utilizados em contextos também amplos e, por essa razão, é fundamental determinar os elementos ou as características que, segundo Feuerstein (1997), constituem condição para que uma interação seja qualificada como Experiência de Aprendizagem Mediada. Feuerstein define doze critérios de mediação, sendo que destes, três obrigatoriamente devem se fazer presentes a fim de configurarem uma Experiência de Aprendizagem Mediada:

1. Que haja intencionalidade por parte do mediador e reciprocidade por parte do mediado: Mediação de intencionalidade e reciprocidade;

2. Que haja uma construção (incitada pelo mediador) de significados: Mediação de Significado;
3. Que haja uma transcendência da realidade concreta, do "aqui e agora" para posterior aplicação da compreensão de um fenômeno apreendido em outras situações e contextos: Mediação de Transcendência.

Estes e os demais critérios são descritos a seguir.

2.3.2.1 Mediação de Intencionalidade e Reciprocidade

Um dos primeiros elementos necessários é que o mediador tenha uma intenção com relação ao mediado e não apenas ofereça ao indivíduo a oportunidade de ver ou interagir com algum objeto. Assim que o mediado reconhece a intenção do mediador e a importância de sua atuação selecionando e formatando a experiência, a reciprocidade é atingida. A reciprocidade proporciona ao aprendiz não somente um estímulo particular, mas também cria a necessidade dele descobrir, no mediador, qualidades subjetivas da interação (em direção a mediação de significado).

Intencionalidade e reciprocidade são as características mais importantes da EAM, pois fornecem à interação uma qualidade muito superior a exposição direta. Na exposição direta há pouca possibilidade de prever quando um estímulo particular será percebido. Nas interações mediadas o mediador garante que o aprendiz irá perceber o estímulo que será importante para o desenvolvimento posterior da resposta. (Feuerstein, 1997)

2.3.2.2 Mediação de Transcendência

A mediação de transcendência ocorre quando mediador e mediado caminham para além de um evento causa ou objetivo particular. Transcender é uma ação de transferência a qual se demonstra na capacidade que os indivíduos possuem de compreender determinadas situações ou

objetos e extrapolar esse aprendizado para outras situações nas quais o processo de apreendido pode ser aplicado novamente. O mediador busca tornar uma experiência particular em uma fonte de mudanças em diversas áreas, atingindo propósitos mais amplos e interações mais abrangentes.

Transcendência é forma pela qual os seres humanos são mediados para ampliar o seu sistema de necessidades, indo além de estados imediatos de necessidade (como a fome, por exemplo) para responder a novas necessidades transmitidas através da cultura (o desejo de comer um tipo particular de alimento) e a apropriação novos repertórios. (Gomes, 2003)

2.3.2.3 Mediação de Significado

A mediação de significado é onde reside toda a transmissão mediada de valores, atitudes culturais e pessoais do mediador para com o mediado. É o fator da interação que mais mobiliza o aspecto afetivo, envolvendo toda crença de mundo do mediador e do mediado. (Gomes, 2003)

Ensinar é provocar nos indivíduos a busca por significados, sejam eles no âmbito individual ou coletivo. A educação para o significado inicia-se no eixo familiar, tanto no nível cognitivo (valores crenças, conhecimentos) quanto no nível afetivo (energia, entusiasmo, sentimentos), e amplia-se para outros contextos. O indivíduo que foi educada dentro de um sistema onde lhe foi incentivada a busca da compreensão dos significados dos fatos e eventos, passará a necessitar e a buscar significado no mundo circundante.

Feuerstein (1997 apud Sarmiento, 2002), crê que os novos conhecimentos somente serão apreendidos significativamente se alguns conceitos, considerados como relevantes, estiverem disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo, servindo de suporte para novas informações.

Feuerstein (1995) ainda acrescenta que o objetivo deve ser de atingir o sistema de necessidades do aprendiz, pois com isso os elementos afetivo-motivacionais e emocionais criam as razões para fazer algo, o propósito de um comportamento. Os elementos cognitivos que

mediam a intencionalidade/reciprocidade e transcendência são responsáveis pela estrutura do comportamento, enquanto que a mediação de significado representa o componente afetivo refletido na resposta das perguntas “Porque estou fazendo isso? Porque é importante que seja feito?”

2.3.2.4 Mediação do Sentimento de Competência

A mediação do sentimento de competência envolve a construção entre mediador e mediado de uma análise crítica eficaz, relativa a uma conscientização do que o mediado já produz de forma competente, ou do que ele possa vir a produzir. Para Chaves (2002), a grande oportunidade para mediar o sentimento de competência do mediado é quando o mediador acessa o potencial cognitivo então "adormecido" construindo uma série de possibilidades positivas para o mediado alterando as representações do mediado sobre o seu próprio eu.

Segundo Beyer (1995), na mediação do sentimento de competência, o mediador transmite ao mediado o reconhecimento de suas ações de forma adequada ao seu nível de desenvolvimento. Ele modela a situação de aprendizagem de forma que o mediado possa vivenciar experiências de sucesso.

Mediar o sentimento de competência compreende alterar toda a visão que um indivíduo tem de si mesmo, principalmente se ele possuir uma baixa auto-estima e uma história de fracasso. Não se pode negligenciar as marcas psíquicas deixadas pelo registro da incompetência; esse registro pode ter sua origem em situações objetivas de fracasso, assim como ser proveniente de uma relação ruim, insatisfatória, com pessoas que possivelmente se recusaram a ser mediadoras, principalmente no período da infância (Feuerstein, 1998).

2.3.2.5 Mediação de auto-regulação e de autocontrole do pensamento e da ação

A mediação do comportamento se relaciona diretamente a metacognição, ou seja, a ação cognitiva do sujeito em pensar sobre a sua própria ação, implicando um controle dos seus processos de funcionamento. A promoção deste controle é feita pelo mediador, que em diversas instâncias inibe fortemente a impulsividade e a resposta por ensaio e erro do mediado. Beyer (1996) menciona que se trata de ajudar o mediado e refrear sua impulsividade e a sobrepujar eventuais tendências à inibição.

Para Chaves (2002), Regular o comportamento, muito além do que propor condutas de comportamento, significa o oferecimento, por parte do mediador, de elementos metacognitivos, de conceitos, significados para o mediado, construindo subsídios para a alteração do próprio padrão de funcionamento cognitivo.

2.3.2.6 Mediação da Convivência com os outros

O ato de mediar estimula a socialização do mediado e anima a interação de duas pessoas criando uma experiência comum. Neste critério está implícita a interação psicológica entre o mediador e a criança. Toda interação humana que leva em conta o compartilhar caracteriza-se pela consideração ao outro, aos seus sentimentos, suas aspirações, sua pessoa como um todo, imperando uma recíproca relação. Os dois lados ganham com a partilha. O lado humanitário é evocado quando os indivíduos interagem compartilhando suas experiências e vivências.

2.3.2.7 Mediação da diferenciação psicológica do sujeito com relação ao outro

O mediador não só promove a socialização do mediado, mas também sua individualidade, o que acontece através da diferenciação entre a personalidade do mediado e a dos outros (inclusive do mediador). (Beyer, 1996).

Independentemente das regras sociais é fundamental para um indivíduo impor-se em seu meio. Todo ser humano deseja deixar sua marca e seu nome inscrito na história (de vida), visando à eternidade de sua presença individual, singular. As questões da singularidade e do estilo pessoais são fundamentais. Ser singular, diferenciado, fazendo parte de um grupo, de um todo: este é o confronto onde o indivíduo busca sua autenticidade (Gomes, 2002).

2.3.2.8 Mediação do planejamento e obtenção de objetivos

O mediador procura auxiliar o mediado a estabelecer metas e a planejar sua obtenção. Tal aspecto é relevante para mediados que apresentam dificuldades cognitivas, já que eles têm dificuldades em planejar um roteiro de ação a partir de objetivos temporalmente longínquos. Eles demonstram uma conduta cognitiva impulsiva, dificilmente adiam a resposta à tarefa (Beyer, 1995).

Este critério de mediação focaliza fundamentalmente as escolhas que o indivíduo toma para a sua vida e, por isso, é fator importante, tanto no aspecto cognitivo, como no aspecto emocional. A busca por gratificação imediata sai de cena e entra no lugar a escolha por uma atuação a médio e longo prazo.

Conforme Chaves (2002), em muitos casos que se apresentam como dificuldades de aprendizagem e baixo rendimento cognitivo, especialmente no caso dos adolescentes, é muito comum observar uma total falta de objetivo e de metas. A vida destes sujeitos confina-se e limita-se no espaço do momentâneo, do imediato e do urgente.

2.3.2.9 Mediação do desafio: a busca pela novidade e complexidade

A curiosidade é um fator energético que impulsiona o indivíduo a buscar novos conhecimentos, conteúdos, situações, experiências e a aprofundar naquilo até então bem pouco conhecido. A mediação do desafio promove no mediado uma mobilização ao desconhecido,

levando em conta uma posição otimista em relação ao novo. Busca estabelecer uma procura constante pelo entendimento, já que todo conhecimento é apenas um ponto (possível) de vista sobre o fenômeno (Feuerstein, 1998).

Muitas vezes o ser humano não apresenta a espontaneidade de buscar o desafio e o novo porque encara o mundo como pronto, enfocando o que está a sua frente como não passível de mudança, de reconstrução, ou transformação. Nota-se neste caso a existência de uma posição cognitiva passiva diante do mundo.

2.3.2.10 Mediação da Identificação do ser humano como modificável

A conscientização do ser humano como modificável implica acreditar na imprevisibilidade e na superação das expectativas. O destino passa a ser do próprio homem que, apesar de sujeito a determinados fatores maiores que ele, também pode alterar o curso destes fatores, influenciando diretamente no curso de sua história (Chaves, 2002).

2.3.2.11 Mediação da busca por alternativas otimistas

Este critério veicula o mediado nas suas raízes sociais e ensina-o a construir laços e referências psicossociais, que vão ancorar a construção de uma história de vida com passado, presente e futuro (Gomes, 2002).

2.3.2.12 Mediação do sentimento de pertencer

Enfatizando as escolhas em relação ao futuro, a mediação por alternativas otimistas explora caminhos e possibilidades que levam à promoção do indivíduo. O conhecimento de atitudes otimistas perante diversos eventos e situações conduz e orienta a análise dos elementos de cada escolha e possibilita a antecipação construtiva dos fatos (Feuerstein, 2002).

2.3.3 Síndrome de Privação Cultural

A falta de um mediador (ser humano), ou mediadores intencionados, que se interponha entre o organismo e o mundo e que filtre, organize, selecione, organize os significados culturais, possibilitando ao indivíduo transcender os estímulos e as experiências de vida, provoca uma síndrome denominada por Feuerstein de síndrome de privação cultural.

Esta síndrome pode explicar as dificuldades no processo de aprendizagem, na organização do pensamento e nas conseqüentes barreiras ao processo de autonomia do sujeito pela ausência ou incapacidade de interações sociais que mobilizem o aparato cognitivo do indivíduo a desenvolver-se.

Feuerstein enfatiza que o desenvolvimento cognitivo do indivíduo somente pode acontecer de forma natural e saudável se o mesmo sofrer, por parte de adultos próximos, uma interação que lhe forneça os instrumentos para lidar com o mundo. A síndrome de privação cultural como concebida por Feuerstein, demarca uma falta de interações sociais significativas vividas pelo indivíduo dentro de sua própria cultura.

Chaves (2002), esclarece que Feuerstein defende a idéia de cultura como normas, atitudes, valores, linguagem etc. que marcam um grupo social, sem qualquer julgamento valorativo. Ele faz uma diferença entre privação cultural e diferenças culturais, onde as desvantagens sociais se inscrevem. Entretanto, ao se referir à síndrome de privação cultural, Feuerstein está exclusivamente se referindo à privação da própria cultura do indivíduo e, em hipótese alguma, referindo a culturas melhores ou piores ou mais ricas ou mais pobres.

A falta de um mediador ou mediadores intencionados, que se interponham entre o organismo e o mundo, que filtre, organize, selecione, dê significados culturais e transcendentais aos estímulos e às experiências de vida, provoca esta síndrome impedindo o desenvolvimento cognitivo e afetivo adequados e reduzindo o nível ou grau de modificabilidade cognitiva.

2.3.4 Modificabilidade Cognitiva Estrutural (MCE)

Segundo Da Ros (1997), para Feuerstein a relação do homem com o mundo é sempre uma relação mediada por signos culturais. A relação sujeito/cultura demanda um processo constante de modificabilidade. Assim, não porque o ser humano é modificável que se pensam em propostas pedagógicas mediadoras das aprendizagens e desenvolvimento. É porque a relação sujeito e sociedade exige um modificar-se constante, que se pensa em modificabilidade.

Para Feuerstein (1997), os seres humanos são vistos como indivíduos que têm a propensão para modificar-se ou para serem modificados nas estruturas de seu funcionamento cognitivo, à medida que eles respondem às demandas de mudança de situações de vida. A Modificabilidade Cognitiva Estrutural ocorre quando as mudanças são caracterizadas por um determinado grau de permanência, profundidade e quando são generalizadas.

Os seres humanos são vistos como sistemas abertos, acessíveis a mudanças durante seu tempo de vida, correspondendo às condições de mediação, desde que a intervenção seja apropriadamente direcionada (em quantidade e qualidade) à necessidade do indivíduo.

Inteligência é tida como a propensão ou tendência do organismo a ser modificado em sua própria estrutura, como resposta à necessidade de adaptar-se a novos estímulos, sejam de origem interna ou externa. Ela envolve a capacidade do indivíduo de ser modificado em sua estrutura cognitiva através da aprendizagem e a habilidade de aplicar autonomamente esta mudança em momentos futuros (ICELP, 2004).

Dois paradigmas fundamentam a MCE:

- A modificabilidade é uma condição filogenética da espécie humana, pertinente a todos os seres humanos (exceto em raríssimas situações).
- A modificabilidade é proporcionada pelo fator sócio-cultural.

Um aspecto importante é que a modificabilidade cognitiva deve ser de natureza estrutural, isto é, a capacidade do ser humano em se modificar e alterar seus padrões mentais tem uma repercussão na estrutura como um todo e não apenas em pontos limitados da estrutura cognitiva.

Segundo Tzuriel (1994) três elementos básicos e inter-relacionados sustentam a natureza da modificabilidade cognitiva, como capacidade geral articulada na estrutura como um todo.

1. Permanência: refere-se à duração estável das mudanças alcançadas. Um sistema somente pode alterar seu funcionamento como um todo se as mudanças focais e locais realizadas atingirem um nível geral da estrutura, provocando uma mudança estável e constante, marcando, ao mesmo tempo, um caráter de adaptabilidade ao ambiente externo.
2. Penetrância: refere-se à potência da mudança, a qual deve repercutir em toda a estrutura. Quando não há penetrância as mudanças são apenas focais e não permitem generalizações para todo o sistema, e conseqüentemente não alteram a estrutura.
3. Centralização: refere-se a auto-regulação da estrutura, baseada no princípio da flexibilidade adaptativa, implicando o funcionamento do próprio sistema cognitivo como um sistema aberto, adaptável a novas exigências, capaz de se alterar de acordo com a necessidade, criando novos padrões qualitativos dentro de seu próprio sistema.

Feuerstein (1997) é altamente otimista em relação ao potencial humano, através da concepção de que a inteligência é alterável, independentemente de fatores tais como a herança genética, as anomalias cromossômicas, as privações diversas do meio ambiente, etc. Ele

considera tais fatores endógenos, exógenos e endo-exógenos como variáveis dificultadoras, contrárias à flexibilidade mental, mas não como determinantes finais e categóricos das dificuldades de aprendizagem, salvo em casos muito raros de severidade. Tais fatores são considerados como distais.

Feuerstein é contundente ao afirmar que, apesar das dificuldades aparentes em diversos casos de indivíduos com dificuldades de aprendizagem, há uma propensão de Modificabilidade disponível no ser humano. Em resumo, fatores genéticos, orgânicos, emocionais, etários, sócio-culturais não necessariamente causam um deterioramento irreversível no desenvolvimento humano.

Conforme Fonseca (apud Beyer, 1995) o conceito de modificabilidade cognitiva demonstra a oposição de Feuerstein aos três principais enfoques de influência na Psicologia e na Educação contemporâneas, a psicanálise, o comportamentalismo e a psicometria, os quais não valorizam as possibilidades do ser humano de se modificar continuamente no âmbito cognitivo.

2.3.5 Os Sistemas Aplicativos LPAD e PEI

Para Beyer (1996) pode-se dividir o trabalho de Feuerstein em duas áreas principais, uma delas teórico-conceitual e a outra pedagógico-instrumental, apresentando-se teoria e prática de forma integrada em seu trabalho.

Os conceitos de Modificabilidade Cognitiva Estrutural (MCE) e Experiência de Aprendizagem Mediada (EAM) fundamentam os aspectos teórico-conceituais da abordagem de Feuerstein, enquanto que os sistemas aplicativos derivados destas: Avaliação do Potencial de Aprendizagem (LPAD – *Learning Potential Assessment Device*) e Programa de Enriquecimento Instrumental (PEI) fornecem o suporte pedagógico-instrumental para sua aplicação prática.

2.3.5.1 Avaliação do Potencial de Aprendizagem (LPAD)

Conforme ICELP (2004) LPAD é um procedimento e um conjunto de instrumentos que possibilitam avaliar o processo de aprendizagem identificando as funções cognitivas, operações e estratégias de solução de problemas. O LPAD fornece uma alternativa viável aos estáticos testes de QI, pois focaliza o potencial ou propensão cognitiva do aprendiz ao invés de sua performance atual. Possui uma natureza interativa com o avaliador mediando ativamente o aprendiz durante o processo de avaliação.

Os objetivos e procedimentos do LPAD diferem dos princípios da avaliação estática, pois ele é mais um processo que um produto. Ele investiga o processo de raciocínio comparando a performance do aprendiz com sua própria performance em outros momentos ou condições, ao invés de comparar o indivíduo com desempenhos padrões de determinada idade. O LPAD avalia a propensão à aprendizagem e a modificabilidade cognitiva e não a performance instantânea.

Beyer (1996) menciona que Feuerstein parte da premissa que no momento do diagnóstico intelectual não se deseja realizar uma simples avaliação da performance atual do indivíduo, mas sim averiguar as condições latentes para este se modificar cognitivamente. A ênfase volta-se para a capacidade de mudança do sujeito quando este se encontra, na própria situação de diagnóstico, num processo de aprendizagem. Tal abordagem representa um distanciamento dos procedimentos psicométricos convencionais. Ele propõe substituição dos procedimentos convencionais estáticos por um paradigma dinâmico.

O LPAD consiste em uma bateria de 15 instrumentos que objetivam avaliar os processos cognitivos relacionados com a percepção, atenção, memória, resolução de problemas e raciocínio lógico. A aplicação dos instrumentos pode ser feita individualmente ou em grupos de 10 a 15 estudantes com uma ampla variação de propósitos. Por exemplo, pode ser usado para avaliar crianças com sérios problemas de aprendizagem e propor programas de recuperação destas.

Também pode ser usado em um formato de grupo para seleção de adultos para cursos de atualização profissional.

Beyer (1996) ainda ressalta que o LPAD visa pontuar por meio da análise dos processos utilizados pelo indivíduo para a solução de determinadas tarefas, as possíveis funções cognitivas deficientes. A partir desta avaliação, aplicam-se os instrumentos específicos do Programa de Enriquecimento Instrumental (PEI) que visam dirimir as funções deficientes. Desta forma, os programas LPAD e PEI são complementares, ou seja, avaliação e intervenção se combinam numa prática psicopedagógica integrada.

2.3.5.2 Programa de Enriquecimento Instrumental (PEI)

O caráter instrumental do programa relaciona-se a uma habilidade específica ou a conteúdos de uma área do conhecimento; em si mesmo, ele é um processo de pensar. O PEI reforça e desenvolve as funções cognitivas que habilitam o mediado a definir problemas, fazer conexões, estabelecer relações, impulsionar a motivação intrínseca, controlar a impulsividade e tomar decisões.

O objetivo geral do PEI é aumentar a capacidade do organismo humano para ser modificado, por meio da exposição direta aos estímulos e pela experiência de aprendizagem mediada. Esta experiência pode ser consequência do envolvimento do cotidiano e das atividades formais e informais de aprendizagem e, para o desenvolvimento das pessoas.

Possui como objetivos específicos:

- Corrigir as funções cognitivas deficientes
- Corrigir as deficiências nos pré-requisitos cognitivos do pensamento operacional: ou seja, as funções cognitivas que deixaram de ser desenvolvidas nos alunos, pela falta da experiência de aprendizagem mediada.

- Adquirir conceitos básicos, vocabulário e operações: Consiste em fornecer ao aluno as ferramentas verbais e lingüísticas necessárias à análise de processos mentais interiorizados. O PEI pretende ensinar todo um sistema de operações, instrumentos e técnicas que tenham possibilidade de fazer com que a pessoa utilize melhor e mais eficazmente a experiência do mundo que existe ao seu redor.
- Desenvolver a motivação intrínseca: É indispensável em qualquer intervenção para o desenvolvimento de habilidades de raciocínio e processos cognitivos. É fomentar no aluno uma atração, um gosto pela tarefa, o que também implica formação de hábitos. A motivação intrínseca, o interesse e a curiosidade podem ser considerados como produto de um sistema pessoal, que é acrescido de necessidades e, para que sejam estimulados e desenvolvidos, é necessário que o aluno amplie seu sistema restrito de necessidades.
- Criar certo nível de pensamento reflexivo e do insight
Esse objetivo consiste em conscientizar o aluno sobre a relação existente entre as muitas formas de raciocínio e suas conseqüências específicas; está relacionado à idéia de que se a pessoa reflete sobre sua própria atividade e deseja entender a natureza da mesma, será capaz de aprender o significado de sua própria conduta e melhorá-la constantemente.
- Desenvolver e fomentar a auto-percepção do indivíduo
Este objetivo envolve o fator afetivo-energético que fundamenta o funcionamento cognitivo autônomo. Ele provoca uma mudança no educando, no sentido de ele mudar seu papel, de receptor passivo para um receptor ativo, capaz de gerar informações. É muito importante analisar por que o aluno (na maioria das vezes) é passivo e o que fazer para que ele se transforme num aprendiz ativo.

Cumprе ressaltar que o uso do PEI não se restringe a crianças, jovens ou adultos considerados como portadores de necessidades especiais, mas a todo ser humano que, por falta ou insuficiência de mediação, não desenvolveu certas funções cognitivas importantes para instaurar, em si, a capacidade de modificabilidade.

O PEI é usado ao redor do mundo com pessoas de variadas idades e, com estudantes, a partir do quarto ano (crianças com idade de 8 ou 9 anos). O programa é composto de catorze instrumentos, divididos em dois níveis.

1) Instrumentos do Nível I

Organização de Pontos: exige identificar e esboçar, dentro de uma nuvem amorfa de pontos, uma série de figuras geométricas sobrepostas. Esta tarefa evoca a necessidade de aprimoramento progressivo por percepção visual precisa e clara, representação e orientação de espaço e controle da impulsividade.

Orientação Espacial I: volta-se para uma articulação, diferenciação e representação pobre do espaço, que pode ser o resultado de uma inabilidade de separar sua própria posição de corpo como referência. Este instrumento exercita o sistema relativo de direita, esquerda, frente e atrás sob pontos de vista diferentes. Desenvolve uma representação espacial articulada e diferenciada.

Comparação: está desenhado para fornecer conceitos e nomes que definem categorias de semelhanças e diferenças. Exercitando o uso destes conceitos em comparações crescentemente complexas, este instrumento tenta gerar comportamento comparativo aplicado efetiva e espontaneamente.

Classificação: aumenta a necessidade e habilidade de comparação e desenvolve a habilidade para classificar um jogo complexo de informação.

Percepção Analítica: desenvolve a idéia de noção relativa de parte e todo; usa o processamento perceptual como um veículo para o desenvolvimento, aquisição e cristalização de estratégias e atitudes para se examinar a realidade dirigida para o desenvolvimento da flexibilidade de percepção e independência de campo. Envolve a diferenciação e integração de figuras geométricas.

Orientação Espacial II: há a integração de dois sistemas de orientação espacial: o pessoal (que trabalha as relações de frente, atrás, direita e esquerda) e o sistema fixo (norte, sul, leste, oeste); os mediados analisam o processo de leitura de mapas e a utilização de sistemas intercambiáveis de referência espacial.

Ilustrações: apresentam situações de problema que requerem pensamento inferencial e analógico.

2) Instrumentos do Nível II

Instruções: aumentam a qualidade de decodificação e codificação da informação verbal.

Relações temporais: desenvolvem a necessidade e conceitos para ordenar experiências adequadamente no tempo.

Progressões numéricas: envolvem a dedução de regras que descrevem padrões de número e a indução ou extrapolação das suas extensões.

Relações familiares: promovem o exercício de classificação de relações simétricas, assimétricas, verticais, e horizontais em sistemas hierárquicos.

Silogismos: tentam fazer o estudante crítico analisando proposições e premissas e discriminação entre conclusões válidas e nulas.

Progressões Numéricas: lidam com as relações em jogos ordenados, traçam gráficos. Os mediados aprendem a reconhecer condições que permitem a indução de relações.

Relações transitivas: os mediados percebem a natureza simbólica das equações; continuam as relações trabalhadas em progressões numéricas. Como em Silogismos, o propósito destes instrumentos é o de desenvolver raciocínio lógico-verbal.

Desenho de Padrões: capitaliza em funções adquiridas anteriormente por todos os instrumentos. Requer input (estímulo de entrada) preciso; níveis complexos de representação, análise e síntese, raciocínio indutivo e dedutivo, projeção de relações espaciais e temporais; e habilidades de output (estímulo de saída) claras.

Quando aplicado a estudantes, no processo de desenvolvimento cognitivo, o PEI tem a duração de 2 ou 3 anos, em sessões de uma hora e meia, duas vezes por semana, no mínimo; quando aplicado na formação de mediadores, devem ser utilizadas, em cada nível, o mínimo de 70 horas de mediação.

2.3.6 Feuerstein e outras Teorias

Esta seção tem como objetivo situar a obra de Reuven Feuerstein em relação às teorias de Piaget e Vygotsky, dois dos mais pesquisadores do desenvolvimento humano.

Conforme Da Ros (1997), Feuerstein concluiu seu PHD na Universidade de Sourbonne em Paris, tendo como orientador Otto Klineberg. Antes disso (1955-59) estudou na Universidade de Genebra sob orientação de Jean Piaget, tendo como interlocutores André Rey, Barbel Inhelder entre outros. Autores como Ausubel, Aebli, Anastasy, Campbell, Luria e Vygostky constam na bibliografia de sua tese de doutorado.

A interface mais marcantes da obra de Feuerstein são com o trabalho de Vygotsky, ainda que ele conceba os processos cognitivos de forma similar a Piaget. Para, Feuerstein assim como

para Piaget a inteligência é resultado de um processo de adaptação do indivíduo ao meio. No entanto para Feuerstein o processo de aprendizagem compreende sempre a presença do outro através da mediação, aproximando-se de Vygotsky.

“... na abordagem de Feuerstein entrecruzam-se (de forma aparentemente paradoxal) dois importantes pressupostos epistemológicos, resultando na seguinte síntese: o sujeito cognoscente, conforme a abordagem de Piaget, construtor do seu conhecimento, tem sua atividade cognitiva qualificada através da intervenção do sujeito mediador, conforme a abordagem de Vygotsky” Beyer (1996, p. 90)

Segundo Da Ros (1997) Feuerstein distanciou-se de Piaget por considerar que o sujeito somente poderá se beneficiar da interação direta com o mundo dos objetos/estímulos se este sujeito tiver vivenciado Experiências de aprendizagem mediadas. Ou seja, o processo de aprendizagem ocorre do coletivo para o individual, contrariando, portanto, a concepção de Piaget de desenvolvimento.

Tendo como ênfase o desenvolvimento das fases e seu plano maturacional, a aprendizagem não foi concebida pela escola piagetiana como sendo um fator capaz de mobilizar e alterar os níveis maturacionais, como postulou Vygotsky. A partir, pois, da noção de Zona de Desenvolvimento Proximal, de Vygotsky, e com a teoria da Experiência de Aprendizagem Mediada e sua ênfase no valor do Mediador, a maturação deixa de ser um empecilho e passa a ser um possível aliado.

“Ao contrário do que dizia Piaget, as crianças podem ser conduzidas a aumentar o potencial de inteligência, mesmo que não tenham atingido o nível de desenvolvimento ideal. Piaget considerava a inteligência como um produto da maturidade biológica do ser humano combinada com a sua interação com o ambiente. Em minha teoria, o mais importante é o processo de aprendizagem mediado por um educador(...) É a figura do mediador, aquele que intervirá, que induzirá a análise, a dedução e a percepção. O educador é peça chave. Ele

transmitirá valores, motivações e as estratégias. Ajudará a interpretar a vida. Nós, educadores, estamos mais em jogo do que a criança e jovens. Se não formos capazes de ensinar, será impossível aprender”(Feuerstein apud Chaves, 2002. p. 52).

O conceito de Privação Cultural, base para a explicação da paralisação da modificabilidade cognitiva, tem seu fundamento na ausência da transmissão cultural. Feuerstein enfatiza que o desenvolvimento cognitivo do indivíduo somente pode acontecer de forma natural e saudável se o mesmo sofrer, por parte de adultos próximos, uma interação que lhe forneça os Instrumentos para lidar com o mundo. Vygotsky também concebe o desenvolvimento, por meio da mediação de outros seres humanos, que, no caso, "oferecem", conscientemente e inconscientemente, formal e informalmente, os Instrumentos de sua cultura.

Kozulin (2004), relaciona o conceito de modificabilidade cognitiva, proposto por Feuerstein, à noção de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) da teoria de Vygotsky. Em ambas as teorias, a noção de avaliação cognitiva está firmemente ancorada no objetivo de alterar a performance da criança por meio de intervenção educacional. Segundo Beyer (1996), Feuerstein em consonância com Vygotsky, acentua a necessidade da construção de instrumentos de diagnóstico que avaliem não apenas o estado cognitivo atual do indivíduo, mas também suas possibilidades presentes e futuras de modificação e de desenvolvimento. A avaliação da capacidade de aprendizagem do mediado fornece dados de análise de sua “plasticidade cognitiva” na terminologia de Feuerstein, ou qual “zona de desenvolvimento proximal” o mediado pode alcançar por meio do processo de aprendizagem, na terminologia de Vygotsky.

2.3.7 Experiências de Aprendizagem Mediadas em Algoritmos

Dois aspectos principais relacionam a aprendizagem de algoritmos da teoria das EAM: a abordagem da atenção aos alunos como defasagem cognitiva; e a proximidade com o processo

de ensino e aprendizagem a partir da resolução de problemas. A disciplina de algoritmos tradicionalmente dispõe ao aluno uma grande quantidade de problemas a serem resolvidos, e o desempenho deste na solução dos problemas fornece indicadores para a atuação do docente. A presença de problemas de aprendizagem é freqüente como já foi evidenciado na seção 2.2.1 desta tese. O ferramental teórico instrumental de Feuerstein busca o desenvolvimento das funções cognitivas que possibilitam o desenvolvimento de estratégias de aprendizagem.

Ainda que os programas LPAD e PEI sejam independentes de conteúdo (trabalham apenas com o desenvolvimento cognitivo sem o envolvimento de informações contextuais), diversos trabalhos (Tribus, 2004; Lavta-Karjanmaa, 2001; Klein, 2000; Kozulin, 2001; Lacerda, 1998) apontam a possibilidade de realizar uma releitura dos pressupostos teóricos aplicados a domínios específicos.

Pode-se entender muitos dos processos de interação entre professor e aluno na disciplina de algoritmos como experiências de mediação que, se devidamente conduzidas, podem levar a aprendizagem. Com isso alguns comentários sobre como promover EAM nesta disciplina são feitos a seguir.

A mediação de intencionalidade pode ocorrer se o mediador intervier junto ao aluno de forma a organizar uma situação de aprendizagem específica, adaptada à necessidade particular deste aluno (adequação ao potencial de aprendizagem individual de um determinado aluno). Muitas vezes isto ocorre quando o professor percebe que o aluno não compreendeu adequadamente um conceito, como por exemplo instruções para entrada de dados, e com isso ele direciona a este aluno uma determinada situação problema na qual a identificação do significado deste conceito faz-se necessária e torna-se facilitada. Se o aluno perceber positivamente (no sentido de aceitação e engajamento) a intenção do mediador então terá sido criada a reciprocidade, ou em outras palavras, o aluno acredita que a forma que o mediador está

organizando a atividade pode levá-lo a aprender. Note-se que existe um forte componente afetivo envolvido nesta forma de interação.

Já a mediação de transcendência para ocorrer depende de que o mediador incentive o aluno a generalizar o conhecimento adquirido para situações mais amplas, ou seja, transformar o domínio de um determinado conteúdo em uma ferramenta para a solução de problemas mais amplos. Neste aspecto é onde muitos mediadores têm falhado junto aos alunos. Por exemplo, a explicação do funcionamento de um laço de repetição não leva a compreensão de que problemas de natureza iterativa (repetitiva) podem ser solucionados com laços de repetição. É imprescindível que o mediador apresente situações problema relacionadas ao cotidiano dos alunos onde a solução necessita de um laço de repetição. Desta forma o aluno pode transcender a solução de um problema específico para uma classe mais geral de problemas.

Já a mediação de significado é a mais comum e normalmente ocorre em conjunto com as outras duas formas de mediação. Ela compreende a transmissão da informação necessária para a compreensão das técnicas de construção de algoritmos e principalmente o reconhecimento dos problemas que podem ser solucionados a partir destas técnicas. No entanto o objetivo da mediação de significado deve ser o de atingir o sistema de necessidades do aprendiz, mobilizando os elementos afetivo-motivacionais que criam as razões para o engajamento.

Para o professor fica a grande tarefa de atender as demandas de aprendizagem dos alunos, identificar o potencial de modificabilidade cognitiva de cada um e proporcionar experiências de aprendizagem mediadas. Nota-se que para isso faz-se necessário um maior tempo de dedicação do docente, um maior tempo de interação e convivência com os alunos, uma maior participação dos monitores da disciplina e uma organização das atividades de aprendizagem que respeitem a diferença de ritmo e experiência entre os alunos.

Desta forma, acredita-se que utilização de ambientes computacionais podem ser de grande valia para auxiliar no registro, organização, diagnóstico e tomada de decisão sobre como atender as dificuldades de aprendizagem dos alunos da disciplina.

3. A ARQUITETURA PROPOSTA

Retomando a questão de pesquisa desta tese: “*Como a teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) de Reuven Feuerstein pode ser mapeada em componentes da arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente na modalidade ITA (Intelligent Teaching Assistant)?*”, busca-se neste capítulo apresentar a arquitetura proposta como uma solução possível para este problema. Para isso são descritas as premissas que fundamentam a arquitetura, a descrição da arquitetura, as escolhas de implementação realizadas para criação do protótipo (instância da arquitetura), os experimentos realizados com o protótipo e a análise dos resultados obtidos.

3.1 PREMISSAS EM RELAÇÃO À ARQUITETURA PROPOSTA

Ao procurar traduzir uma teoria de aprendizagem em componentes de uma arquitetura, é necessário identificar as interfaces existentes entre os pressupostos da teoria e os aspectos pertinentes à construção de Sistemas Tutores Inteligentes.

Conforme se argumentou na seção 2.1 a arquitetura conceitual de um Sistema Tutor Inteligente combina dinamicamente informações sobre o aluno, o domínio e o processo pedagógico a fim de tomar decisão sobre o que propor ao aluno.

A ação mediadora para Feuerstein está intimamente ligada com uma avaliação dinâmica da possibilidade (ou propensão) de aprendizagem do aluno. Em seu ferramental instrumental (LPAD) a avaliação fornece subsídios para a decisão sobre o que mediar, quando mediar, como mediar com que intensidade e frequência.

É possível relacionar as informações presentes no modelo do aluno em um STI com as informações coletadas pelo LPAD. Da mesma forma é possível modelar o componente

pedagógico de um STI para representar um conjunto de ações mediadoras possíveis de serem selecionadas a partir do diagnóstico cognitivo de um aluno.

O domínio ou assunto a ser aprendido, oferece um acervo de possibilidades de atividades que possam desencadear a aprendizagem. Pode-se dizer que cada elemento deste acervo possui um potencial de aprendizagem, ou ainda que pode potencialmente provocar a modificabilidade cognitiva.

Na teoria das EAM cabe ao mediador humano intervir para organizar, selecionar e dosar a experiência de aprendizagem do aluno conforme os critérios de mediação. Feuerstein (2002), menciona que a avaliação do aluno através do LPAD exige um examinador conhecedor dos critérios de mediação, flexível, inovador, persistente e incansável, pois a tarefa é física e mentalmente desafiadora. Menciona ainda a sua descrença de que esta tarefa possa ser desempenhada por um computador ou qualquer outro mecanismo pré-programado.

Com relação a este comentário de Feuerstein, deve-se salientar um aspecto importante. Ainda está distante o tempo em que o humano possa ser substituído em sua plenitude por uma máquina (e possivelmente isto nunca ocorra), de forma que é totalmente coerente sua posição, principalmente em se tratando de um procedimento que vem sendo amplamente utilizado. No entanto, um dos focos de atenção da área de Inteligência Artificial e subáreas como Sistemas Tutores Inteligentes está justamente em buscar problemas não triviais para propor modelos computacionais que possam representar algum avanço no sentido da simulação do comportamento humano.

Além disso, defende-se aqui que uma arquitetura conceitual de um STI não deva ser influenciada pelas restrições tecnológicas existentes da época de sua proposição. Deve, ao

contrário, servir de força motriz para impulsionar o desenvolvimento científico e tecnológico em direção a superação destas restrições.

Ainda assim, a arquitetura proposta possui uma vertente intimamente relacionada à motivação para a realização desta tese, os problemas de aprendizagem de algoritmos, que fornecem ao professor (humano) um papel importante e decisivo, e restringe o contexto de aplicação da arquitetura a realização de uma disciplina curricular formal.

Conforme explicitado na seção 2.1.4 a pesquisa de Sistemas Tutores Inteligentes iniciou com a intenção de substituir o professor, mas recentemente tem surgido um movimento para aproximar os professores seja como usuários ou como criadores de STI. Neste enfoque, as possibilidades que surgem do compartilhamento do processo decisório entre o professor humano e o sistema computacional ainda não foram amplamente identificadas e exploradas.

A arquitetura busca explorar este potencial latente valendo-se da supremacia cognitiva do professor em relação ao sistema computacional, fazendo-o atuar como parceiro na tomada de decisão instrucional. Certamente deve haver uma contrapartida, ou seja, o sistema computacional deve oferecer vantagens ao professor para que ele tenha motivos para utilizá-lo.

Encontrou-se na abordagem dos *Intelligent Teaching Assistants*, proposta por Yacef (2002), um caminho para a proposição de uma ferramenta que ofereça assistência ao professor e que em troca ele possa supervisionar as decisões tomadas pelo sistema. A idéia fundamental é automatizar as tarefas geralmente desempenhadas pelo monitor da disciplina (*Teaching Assistant*) e com isso auxiliar o professor.

O monitor também toma decisões instrucionais ao atender os alunos, de forma que a sua modelagem computacional também é complexa. Porém, um aspecto interessante é que o monitor

da disciplina possui menor responsabilidade. Ele pode errar. A interação com o professor em sala de aula permite solucionar os equívocos.

Com isso, a idéia proposta nesta tese é de que o ITA (monitor) auxilie o professor na promoção de experiências de aprendizagem mediadas atuando como um assistente em tarefas como o diagnóstico dos alunos e a proposição de atividades de aprendizagem condizentes com a teoria. A supervisão e colaboração do professor com sistema são pontos chave nesta proposta.

O diagnóstico dos alunos é feito normalmente pelo professor em sala de aula. Ele analisa o desempenho destes na solução de exercícios, identifica as dúvidas e dificuldades. Um professor engajado costuma saber quais alunos tem facilidade para aprender, quais tem dificuldade e também os intermediários.

Desta forma, o professor detém informações importantes sobre o aluno que podem auxiliar no processo decisório do ITA. Em contrapartida o ITA pode possuir informações coletadas sobre os alunos nas situações onde este utilizou o sistema para realizar atividades de aprendizagem. Estas informações deverão ser interessantes para o professor por permitirem uma visão complementar do aluno e também da turma como um todo. Da mesma forma que um sistema de informação gerencial auxilia na tomada de decisão dos dirigentes de empresas informatizadas, um ITA pode auxiliar o professor em gerenciar as tarefas didáticas de sua turma.

3.2 DESCRIÇÃO DA ARQUITETURA PROPOSTA

A arquitetura para promover experiências de aprendizagem mediadas está ilustrada na Figura 10.

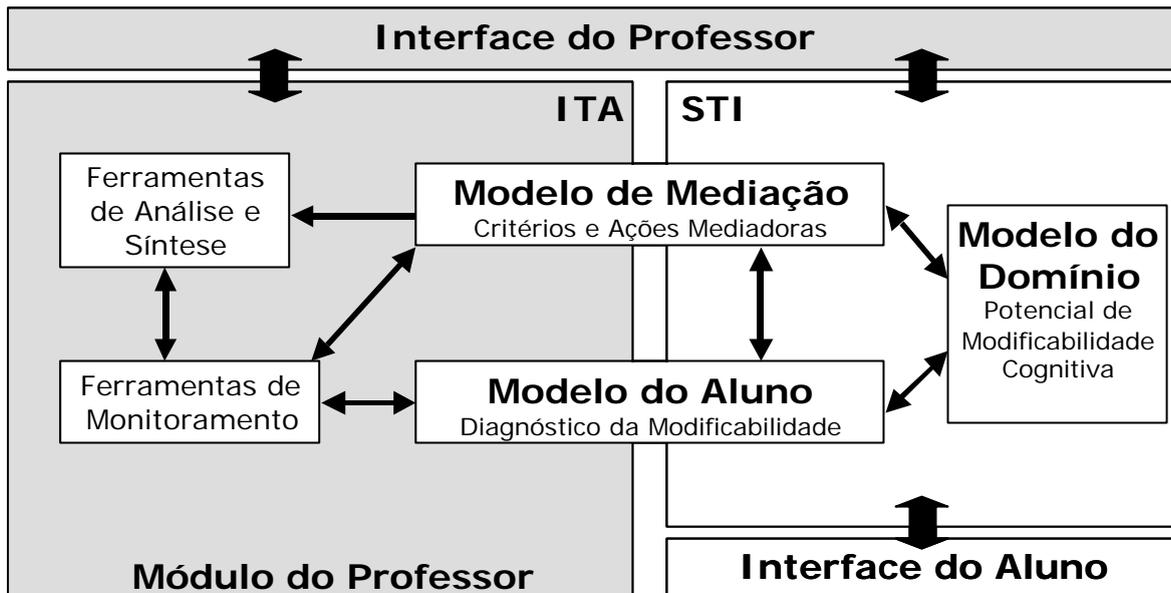


Figura 10 - Arquitetura Proposta

A arquitetura proposta é uma extensão da arquitetura de um ITA apresentada em Yacef (2002). Esta nova arquitetura permite que o professor possa fornecer informações sobre o aluno alterando o modelo do aluno. Para isso o modelo do aluno passa a ser compartilhado entre o STI e o ITA. Além disso, conforme comentado na seção 2.1.4 acredita-se que os componentes que monitoram o aluno devem ser fontes de informação para o modelo do aluno.

É uma arquitetura voltada à implementação onde os elementos relacionam-se diretamente com componentes de software como descrito a seguir:

- O Modelo do Aluno: É compartilhado entre o ITA e o STI e é utilizado por ambos para auxílio ao diagnóstico do aluno. Deve representar informações que permitam inferir o estado de desenvolvimento do aluno e o quão modificável ele está, ou seja, o quão propenso a desenvolver-se frente à exposição mediada a uma determinada ação instrucional o aluno está.
- Modelo do Domínio: Deve conter o conteúdo a ser trabalhado com o aluno classificado conforme o potencial de modificabilidade que permite provocar, ou

seja, o quão transformadora a exposição ao conteúdo pode ser para o aluno. Pode ser formada por textos e exercícios e possuir habilidades cognitivas como pré-requisito para serem propostas.

- Modelo de Mediação: deve conter um conjunto de ações mediadoras possíveis classificadas conforme os critérios de mediação da EAM. Deve decidir qual ação mediadora deve ser selecionada mediante a consulta ao diagnóstico de modificabilidade do aluno. Dependendo da ação pode ser necessário selecionar um elemento do domínio conforme o potencial de modificabilidade do aluno. A participação do professor no modelo de mediação permite que este interfira na escolha das ações mediadoras, sendo que suas atitudes devem ser traduzidas em ações do sistema.
- Ferramentas de Análise e Síntese: um conjunto de ferramenta que auxiliam o professor a fazer o acompanhamento individual dos alunos (análise) e também em relação a questões da turma como um todo (síntese). Não se restringem às informações sobre o processo cognitivo dos alunos, pois acessam informações coletadas pelas ferramentas de monitoramento. Podem possuir características inteligentes voltadas a detecção de padrões para facilitar a tarefa de supervisão do professor. Devem ser capazes de emitir relatórios.
- Ferramentas de Monitoramento: um conjunto de ferramentas que visam registrar as ações dos alunos durante a utilização do STI. Estas informações auxiliam a compor o modelo do aluno e os relatórios de acompanhamento das ferramentas de análise de síntese.

- Interface do Aluno: Representa a comunicação dos alunos com o sistema computacional. A percepção da inteligência do sistema pelo aluno será feita a partir deste componente.
- Interface do professor: Deve possibilitar ao professor uma forma ágil de monitorar as decisões tomadas pelo sistema em relação aos alunos e apresentar as informações organizadas pelas ferramentas de análise e síntese.

A promoção de Experiências de Aprendizagem Mediadas ocorre a partir da combinação das informações do modelo do aluno, modelo do domínio, estratégia pedagógica e atuação do professor em sala de aula. Ou seja, experiência de aprendizagem mediada é o resultado do processo de interação entre professor, alunos e sistema, conforme a arquitetura didática triangular elucidada por Yacef (2002).

O papel do ITA na arquitetura proposta é de monitorar, manter um registro detalhado sobre as tarefas e exercícios desenvolvidos pelos alunos, auxiliar no diagnóstico dos problemas de aprendizagem, individualizar o atendimento as necessidades de mediação além de fornecer subsídios para a avaliação de toda a turma.

Muitos dos trabalhos apresentados nesta tese evidenciam que as informações do aluno, domínio e processo pedagógico, fornecem subsídios para a tomada de decisão apoiada principalmente em técnicas de Inteligência Artificial. Com a supervisão do professor, passa a existir um compartilhamento de informações que impactam no processo decisório de forma que o professor empresta parte de sua inteligência ao sistema. Da mesma forma que um professor orienta e supervisiona a atuação de um monitor da disciplina ele poderá fazê-lo com o sistema computacional.

Além disso, o professor auxilia o sistema computacional justamente na questão mais desafiadora, o diagnóstico cognitivo do aluno. Já se mencionou nesta tese que o problema da

modelagem do aluno é extremamente desafiador, em especial pelas restrições tecnológicas em capturar elementos da interação com o aluno. O professor ao interagir com os alunos em sala de aula coleta subsídios preciosos para realização de um diagnóstico e ao compartilhá-los com o sistema computacional permite ampliar a precisão deste.

Aplicar EAM em uma turma de 30 a 50 alunos exige uma ampliação da capacidade de atenção que um docente pode fornecer. Esta ampliação pode ser fornecida em parte por um sistema de informação inteligente, que simule o comportamento de um monitor de disciplina. Porém a possibilidade de o professor supervisionar o processo pode gerar uma demanda de trabalho ainda maior especialmente se a interface do sistema não for bem projetada.

O instrumento de avaliação do potencial de aprendizagem fornece subsídios para a atualização dos estados cognitivos do aluno, bem como fornece suporte a escolha de ações mediadoras adequadas. O modelo do tutor torna-se um modelo de mediação, pois a intenção de proporcionar experiências de aprendizagem mediadas aos estudantes é subsidiada por critérios de mediação e de conjuntos de ações mediadoras podem ser disparadas em uma determinada situação de aprendizagem específica.

3.3 O PROTÓTIPO ASSOCIADO À ARQUITETURA

Para a validação da arquitetura e verificação das hipóteses desta tese, foi construída uma ferramenta computacional que instancia a arquitetura proposta e viabiliza a realização de experimentos em situações reais de ensino-aprendizagem.

O desenvolvimento do ambiente ocorreu de forma incremental. Duas versões foram criadas antes da versão atual (Silva e Raabe, 2005), sendo que a cada versão, novas

funcionalidades eram agregadas. Uma descrição complementar da modelagem e projeto do sistema pode ser encontrada no ANEXO II.

O histórico do desenvolvimento apresenta uma natureza similar aos trabalhos apresentados em Self (1998), onde sistemas em uso e atendendo a demandas específicas no contexto do ensino-aprendizagem evoluem para novas versões, dotadas de características inteligentes. Desta forma, o desenvolvimento ocorreu de maneira evolutiva assemelhando-se ao modelo espiral do processo de desenvolvimento de software (Boehm, 1988), tendo no entanto particularidades pertinentes ao desenvolvimento de Sistemas Tutores Inteligentes, conforme ilustra a Figura 11.

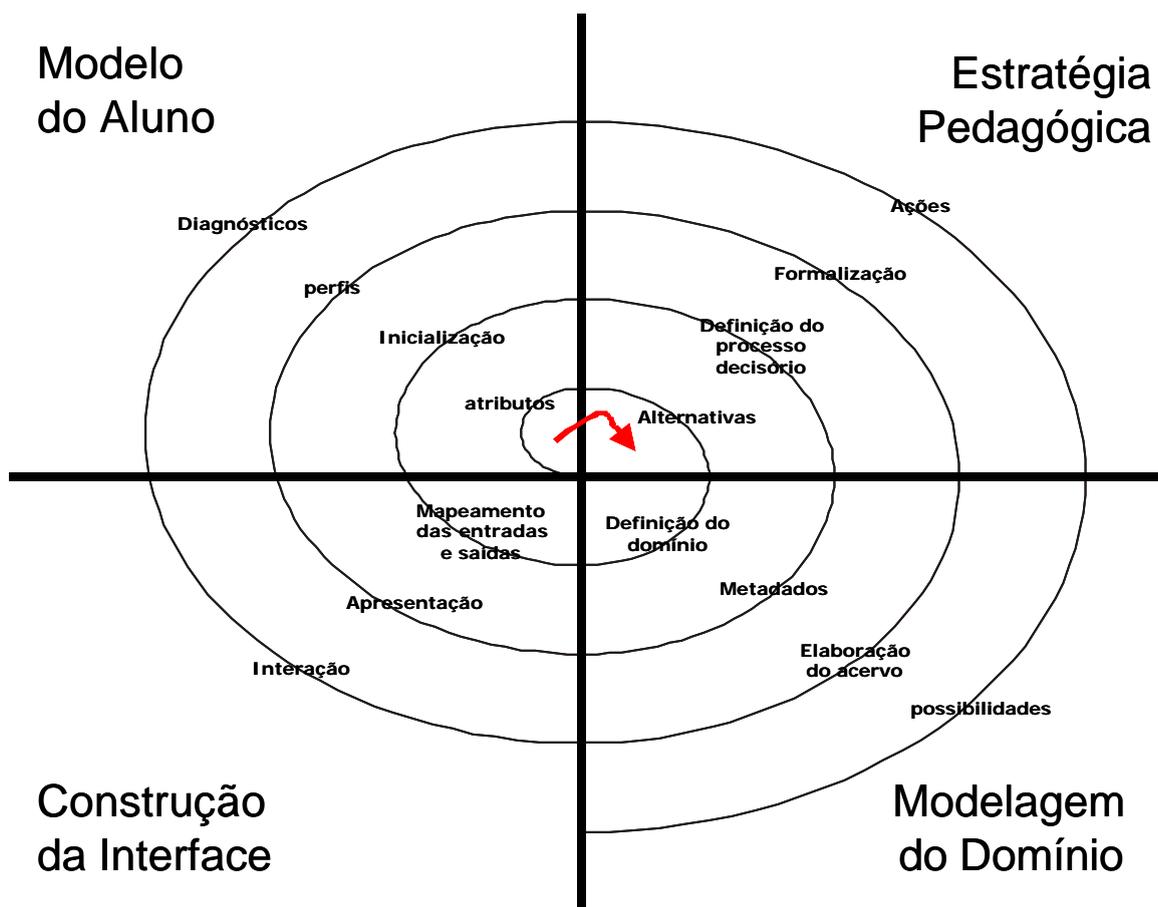


Figura 11 - Modelo espiral de desenvolvimento do protótipo

Os componentes de principais de um Sistema Tutor Inteligente estão representados nos quadrantes do modelo. É possível identificar quatro ciclos distintos: Concepção; Elaboração; Implementação e Avaliação/Refinamento.

No ciclo da concepção, definiu-se os atributos que seriam registrados sobre os alunos, que possibilidades de ações pedagógicas poderiam ser tomadas, qual o domínio da aplicação e quais seriam as novas entradas e as saídas a serem tratadas pela interface.

No ciclo da elaboração, partiu-se então para a problemática de inicialização do modelo do aluno, e da definição detalhada das decisões pedagógicas. Estas por sua vez, impulsionaram a inserção de novos metadados nos elementos do domínio. Neste ponto já era possível identificar a forma de apresentação das decisões do sistema através da interface.

Já no ciclo da implementação, foram criados perfis de alunos para restringir as possibilidades de diagnóstico e viabilizar a formalização do processo decisório através de regras de produção. Com a elaboração dos elementos do conteúdo (domínio), tornou-se possível iniciar a interação com os alunos. Inicia-se o ciclo da avaliação/refinamento.

O ciclo da avaliação correspondeu ao monitoramento, feito pelos desenvolvedores, dos diagnósticos realizados pelo modelo do aluno, das ações disparadas pela estratégia pedagógica e dos elementos do domínio selecionados. Os refinamentos ocorreram sempre que algum comportamento inadequado foi identificado, dando início a uma nova fase de avaliação.

O Ambiente desenvolvido foi denominado *ALICE (Algorithm Learning Internet Based Computer Environment)*. Alice também é o nome da personagem que habita a interface do software e promove a interação com os alunos. Priorizou-se a utilização de ferramentas de software livre para construção do ambiente uma vez que existe a perspectiva de disponibilizá-lo

para a comunidade acadêmica. Desta forma, a linguagem de *script* PHP, o banco de dados MySQL e o servidor de WWW Apache foram utilizados no desenvolvimento do sistema.

O ambiente visa organizar e registrar as interações entre professores e alunos na disciplina de algoritmos via Internet. Desta forma, aproveita-se de aspectos da pedagogia on-line a fim de proporcionar novas alternativas de comunicação, flexibilização de local e ritmo de aprendizagem, divisão das responsabilidades com tutores/monitores e principalmente a possibilidade de um registro e acompanhamento mais detalhado sobre o desempenho individual de cada aluno, um aspecto fundamental para a o desenvolvimento de experiências de aprendizagem mediadas.

Algumas decisões de projeto foram tomadas a fim de facilitar o desenvolvimento modular do ambiente. Adotou-se a estratégia de considerar as ferramentas de análise e monitoramento presentes no ITA como sendo Assistentes, ou seja, componentes de software que provêm assistência ao professor na tarefa de análise/síntese e monitoramento dos alunos. A Figura 12 ilustra algumas das decisões de implementação realizadas.

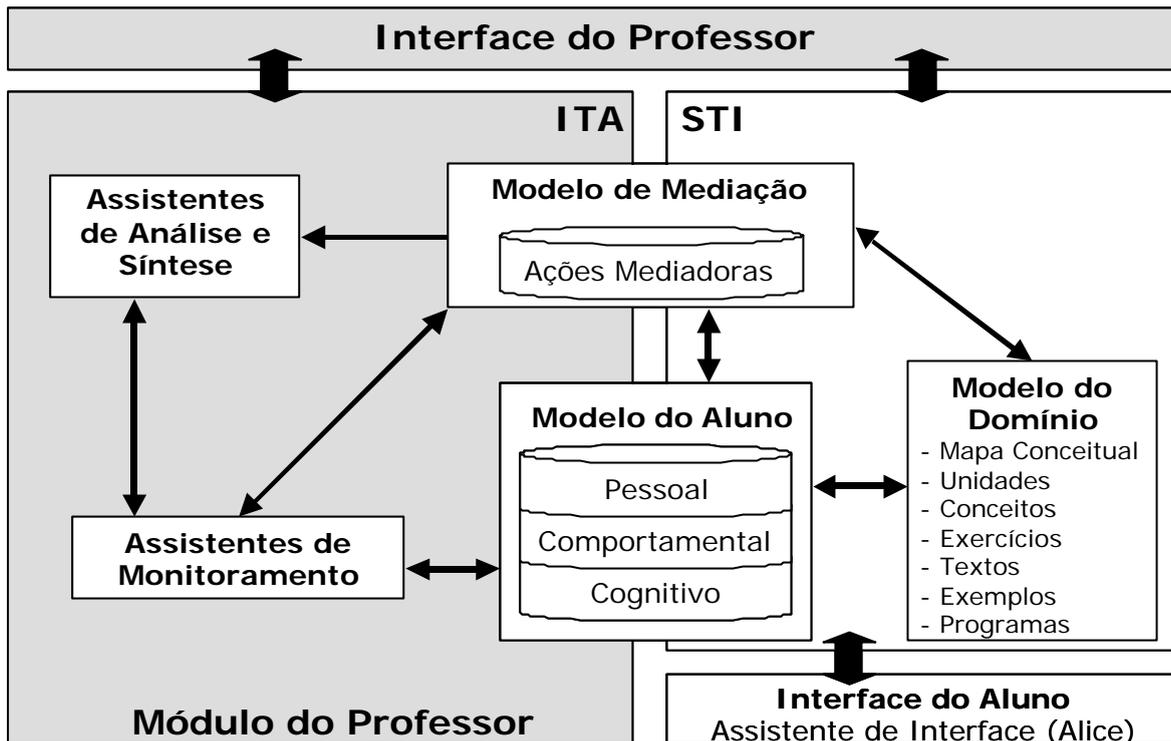


Figura 12 - Esquema de implementação da arquitetura

As descrições dos componentes e as decisões de implementação são descritas a seguir.

3.3.1 Modelo do Domínio

O modelo do domínio divide-se em duas partes: currículo e acervo. O currículo compreende as divisões adotadas para organizar o conteúdo programático em unidades e conceitos (subunidades). As unidades são apenas divisões organizacionais, enquanto que os conceitos representam os elementos fundamentais do conteúdo. Para cada conceito foi inserido um texto, com exemplos e animações, que serve como material de referência para o aluno. Cada conceito possui associado um número mínimo de questões que o aluno deve realizar para aprendê-lo.

Os conceitos possuem relações de pré-requisitos entre si. Os pré-requisitos dividem-se em dois tipos: conceituais e temporais. Os conceituais referem-se à necessidade de que o aluno compreenda os conceitos a fim de que possa avançar para novos conteúdos. Já os temporais

referem-se à ordem em que o aluno explora os conceitos. O pré-requisito temporal foi criado para permitir que a seqüência dos conteúdos adotada pelo professor em sala de aula possa ser reproduzida no sistema e também para que o aluno não receba uma grande quantidade de novos conceitos simultaneamente. A tabela com os conceitos adotados na disciplina introdutória de algoritmos, bem como o diagrama de pré-requisitos entre os conceitos podem ser visualizados no ANEXO I.

O acervo compreende possíveis atividades de aprendizagem que o aluno pode realizar tais como leitura de textos, solução de problemas, exemplos animados¹ e códigos fonte de exemplo. Todos os elementos do acervo foram elaborados visando possibilitar sua apresentação ao aluno como uma tarefa a ser realizada, característica esta que foi adaptada de versões anteriores do sistema.

Um conjunto de metadados associado a cada elemento do acervo cria uma associação destes com as subunidades do currículo, estes metadados ainda classificam as futuras atividades conforme a modalidade de mediação que atendem. Por exemplo, um texto básico atende a mediações de significado, enquanto que um texto complementar atende a mediação de transcendência. Um exercício fácil atende a mediações de competência, um difícil atende a mediações de transcendência.

Disponibilizou-se ao professor da disciplina mecanismos para composição do currículo e inserção dos elementos do acervo e seus respectivos metadados, desta forma ele tem a autonomia de modificar estas informações durante a utilização do ambiente. A Figura 13 ilustra a inserção de um conceito (subunidade).

¹ A execução dos algoritmos é ilustrada através de uma animação passo a passo que demonstra os resultados de cada instrução presente no código.



Figura 13 - Inserção de um conceito e seus pré-requisitos

Implicitamente, esta forma de classificação identifica o potencial de modificabilidade cognitiva dos elementos do acervo, ou seja, o quão transformadores podem ser ao aluno, dado que este possui certa aptidão a ser transformado (diagnóstico da modificabilidade cognitiva).

3.3.2 Modelo do Aluno

No modelo do aluno são armazenadas informações que possibilitam realizar o acompanhamento do estado de desenvolvimento dos conceitos pelo aluno e também o índice de reciprocidade deste em relação ao sistema. Considera-se que diversos fatores influenciam nestes diagnósticos, dentre eles fatores de natureza pessoal, comportamental e cognitiva. A Tabela 4 apresenta um exemplo dos atributos que são considerados.

Tabela 4 - Atributos do Modelo do Aluno

Atributos

Natureza	Pessoal	Nome, idade, sexo, é repetente, Trabalha mais de 20 horas por semana.
	Comportamental	Falta às aulas, conversa durante as aulas, tenta responder os exercícios, índice de reciprocidade.
	Cognitiva	Possui experiência prévia em algoritmos, estado de desenvolvimento dos conceitos.

Percebe-se que alguns atributos são de controle do professor conforme sua atuação em sala de aula, outros dão suporte ao processo decisório realizado pelo sistema. A combinação dinâmica dos atributos possibilita a realização de um diagnóstico do aluno baseado nos pressupostos da teoria das EAM.

3.3.2.1 Estados de desenvolvimento dos conceitos do aluno

Um dos principais objetivos do modelo do aluno está em indicar o estado de desenvolvimento dos conceitos definidos no currículo do modelo do domínio. Conforme estes estados, o modelo de mediação decide como melhor atender o aluno. Existem cinco estados possíveis:

1. Conceitos Futuros: São os em que o aluno ainda não atingiu os pré-requisitos necessários para aprendê-los. Serão trabalhados futuramente;
2. Conceitos Potenciais: Representam o potencial de modificabilidade cognitiva do aluno, ou seja, os conceitos em que o aluno já possui potencial para aprender;
3. Conceitos em Desenvolvimento: Representam os conceitos em que o aluno está trabalhando através da resolução de problemas, e que não apresenta dificuldades de aprendizagem;

4. Conceitos em Dificuldade: Representam os conceitos em que o aluno está trabalhando através da resolução de problemas, e que apresenta dificuldades de aprendizagem;
5. Conceitos Aprendidos: Representam os conceitos em que o aluno já atingiu os objetivos de aprendizagem e não mais necessita exercitar;

O fluxo normal de evolução dos estados é o seguinte. O conceito está inicialmente como futuro até que o aluno aprenda todos os seus pré-requisitos, passando a se tornar um conceito potencial. O conceito potencial torna-se um conceito em desenvolvimento a partir do momento que o aluno soluciona alguma questão sobre ele. Conforme o desempenho no exercício o conceito pode indicar dificuldade de aprendizagem (mais detalhes são fornecidos na próxima seção). Para um conceito se tornar aprendido o aluno tem que ter realizado o número mínimo de questões (definido no modelo do domínio), ter recebido alguma mediação de transcendência (ver modelo de mediação) e ter nota média superior à nota 6.0 (este valor é configurável pelo professor). A Figura 14 ilustra os estados dos conceitos de um aluno.

Conceito	Estado	Nota Média	Exercícios Resolvidos
Conceito de Algoritmos	Aprendido	10	6
Como o Computador entende a execução de Programas	Aprendido	10	6
Parâmetros de Representação de Algoritmos	Aprendido	10	6
Tipos	Aprendido	8,66	6
Variáveis	Aprendido	7,44	9
Constantes	Dificuldade	4,66	9
Operações Aritméticas	Aprendido	8,6	10
Divisões Inteiros	Aprendido	8,5	8
Operações Relacionais	Aprendido	8,81	11
Operações Lógicas	Aprendido	7,91	12
Prioridade de Operadores	Aprendido	7,42	7
Testes Lógicos	Aprendido	8,2	10
Atribuição	Aprendido	8,5	4
Entrada de Dados	Aprendido	9,55	9
Saída de Dados	Aprendido	9,55	9
Algoritmos Sequenciais	Aprendido	9,7	10
Decisão condicional simples	Aprendido	9,4	10
Decisão condicional composta	Aprendido	9,25	4
Decisão condicional aninhada	Aprendido	9,5	6
Condições evidentes e não evidentes	Potencial	0	
Laço com teste lógico no início	Aprendido	9,46	15
Contadores	Aprendido	9,66	3
Acumuladores	Aprendido	9,33	3
Laço com teste lógico no final	Aprendido	10	3
Laço com variável de controle	Dificuldade	5	1
Vetores	Desenvolvimento	9,5	2
Matriz	Potencial	0	
Estrutura (struct)	futuro	0	
Procedimentos	Desenvolvimento	10	1
Funções	Aprendido	9,5	4
Passagem de Parâmetros	Desenvolvimento	10	1
Escopo de variáveis	Potencial	0	
Recursividade	futuro	0	

Figura 14 - Estados dos conceitos do aluno

3.3.2.2 Identificação das dificuldades de aprendizagem

As dificuldades de aprendizagem são identificadas através das informações registradas pelo professor sobre os alunos tais como notas de exercícios realizados ou indícios percebidos em sala de aula. Esta informação influencia diretamente no processo decisório realizado no modelo de mediação, uma vez que existe uma ênfase no atendimento aos problemas de aprendizagem. A Figura 15 apresenta uma visão geral das dificuldades de aprendizagem apresentadas pelos alunos.

Aluno					
Nome	Conceitos trabalhados	Conceitos com dificuldade	Exercícios a fazer	Exercícios realizados	Professor
{0514421} Adalino de Souza da Silva	15	Conceito de Algoritmos	6	24	André
{0512502} Adriano Henrique Martins	15		5	10	Elisângela
{0512275} Aldo Américo L. de Souza Neto	9		2	2	André
{0512272} Alessandro Jose Kleinberg	7	Divisão Inteira Prioridade de Operadores	6	7	André
{modelo} Aluno Modelo			2	0	Alice
{0012056} Anderson Dantas Junkes De Medeiros	2	Como o Computador entende e executa os Programas Lago com base lógica no início Funções	2	3	Elisângela
{0512084} Andre Luiz Charao Silva	15	Operações Relacionais Operações Lógicas Prioridade de Operadores	6	15	André
{0512242} Andre Luiz Prestes Da Rocha	7	Conceito de Algoritmos	5	3	Elisângela
{0512047} Andre Vaz	1		9	4	Elisângela

Figura 15 - Identificação dos problemas de aprendizagem

A correção dos exercícios realizada pelo professor por meio da interface do sistema é o principal indicador do desempenho do aluno em determinado conceito. Os exercícios objetivos possuem correção automática, e não necessitam da interferência do professor, mas as questões discursivas e os algoritmos dependem deste para realizar a correção.

Existem trabalhos que focalizam na correção automática dos algoritmos (Song, 1997; Miranda, 2003), no entanto este enfoque não foi adotado por ultrapassar o escopo pretendido para esta tese. Desta forma, todo algoritmo resolvido é corrigido pelo professor que atribui uma nota à solução do aluno.

A Figura 16 ilustra o professor realizando a correção de um algoritmo submetido por um aluno.

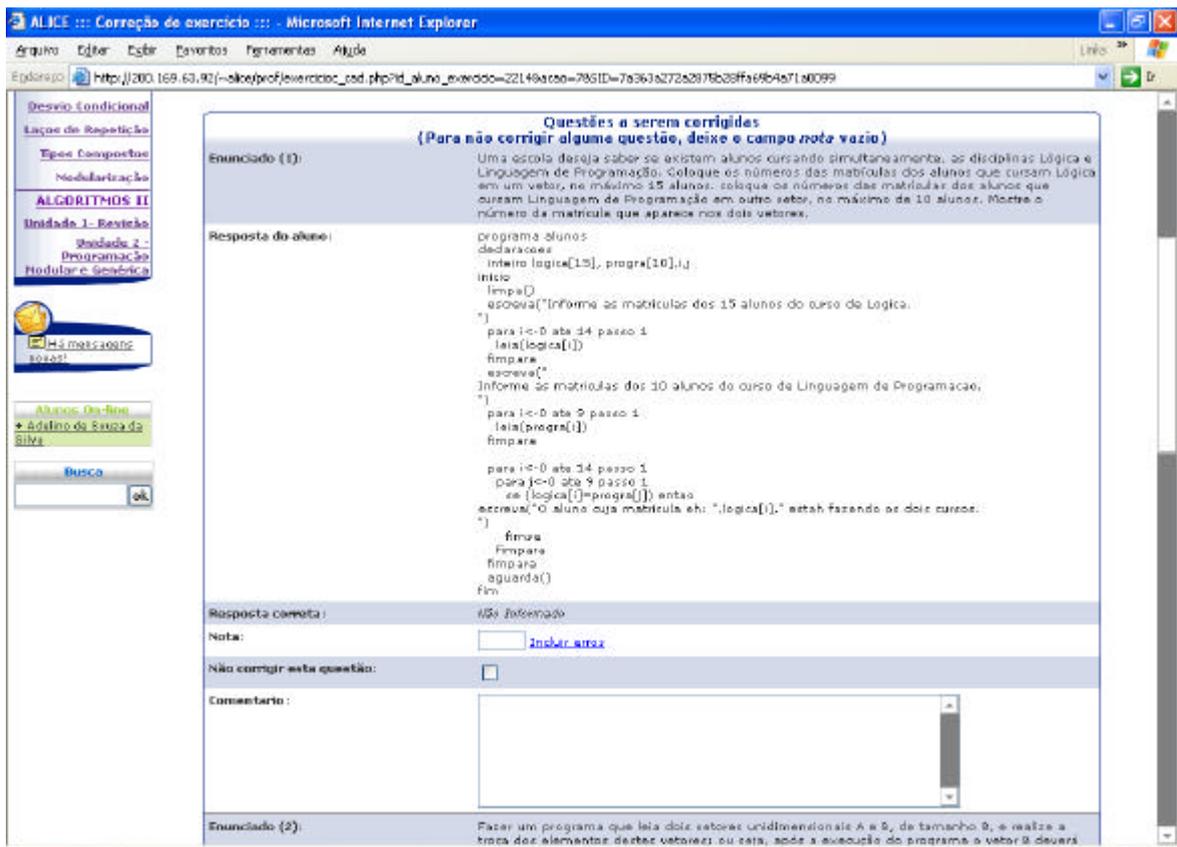


Figura 16 - Interface para correção dos exercícios

Um exercício pode ser composto por várias questões. Cada questão está associada a um ou mais conceitos, de forma que a nota atribuída pelo professor é contabilizada para cada um dos conceitos envolvidos na questão.

No experimento conduzido com a ferramenta, foi considerada dificuldade de aprendizagem toda vez que o aluno possui um desempenho médio no conceito abaixo na nota 6,0, em analogia a nota necessária para aprovação na disciplina. Este valor é configurável pelo professor.

O professor normalmente identifica dificuldades de aprendizagem de determinados alunos durante a realização de atividades em sala de aula. O ambiente possibilita que o professor registre esta informação sobre o aluno, auxiliando assim no diagnóstico e atenção a estes

problemas pelo ambiente. A Figura 17 ilustra a tela onde o professor registra os problemas de aprendizagem por conceitos.

Aluno	
Nome:	André Luis Charão Silva
Email:	alcarrock@hotmail.com
Login:	40520004
Senha:	
Professor:	André Luis Alice Raabe
Tem experiência em programação?:	<input checked="" type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input type="radio"/> nenhum
Trabalha mais de 20h sem 21:	<input type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input type="radio"/> nenhum
É apatante?:	<input checked="" type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input type="radio"/> nenhum
Falta muito as aulas?:	<input type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input checked="" type="radio"/> nenhum
Tenta resolver os exercícios?:	<input type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input checked="" type="radio"/> nenhum
Sai muito de sala?:	<input type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input checked="" type="radio"/> nenhum
Conversa durante as aulas?:	<input type="radio"/> não <input type="radio"/> sim <input checked="" type="radio"/> nenhum
Marque os conceitos na qual o aluno tem dificuldade em sala de aula	
Conceito de Algoritmos:	<input type="checkbox"/>
Como o computador entende e executa os Programas:	<input type="checkbox"/>
Ferramentas de Representação de Algoritmos:	<input type="checkbox"/>
Tipos:	<input type="checkbox"/>
Variáveis:	<input type="checkbox"/>
Constantes:	<input checked="" type="checkbox"/>
Operações Aritméticas:	<input type="checkbox"/>
Divisões Inteiros:	<input type="checkbox"/>
Operações Relacionais:	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 17 - Registro de dificuldades de aprendizagem

3.3.2.3 Diagnóstico do Potencial de Modificabilidade Cognitiva

O potencial de modificabilidade cognitiva do aluno identifica o quão apto ele está para ser modificado por situações de aprendizagem, neste caso, de resolução de problemas. Desta forma, de maneira similar a determinação da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)² apresentada por Andrade et al. (2003), existe um conjunto de tarefas as quais o aluno encontra-se apto a vivenciar. Estas tarefas estão classificadas conforme as divisões do currículo definidas no modelo do domínio, mais especificamente em conceitos.

² A similaridade teórica entre o conceito de ZDP e de Potencial de Modificabilidade Cognitiva já foi explorado na seção 2.3.6 deste trabalho.

O desempenho de um aluno em determinado conceito é identificado a partir da nota atribuída pelo professor na correção de exercícios (via ambiente) e avaliações (em sala de aula). Conforme a nota atribuída, o conceito do aluno pode assumir um de três estados: (i) Conceito em Desenvolvimento; (ii) Conceito em Dificuldade, e; (iii) Conceito Aprendido.

Uma vez existindo um relacionamento de pré-requisitos entre os conceitos (definido no modelo do domínio), à medida que o aluno passa a dominar um conceito (tornando-se aprendido), torna-se apto a resolver problemas de novos conceitos que tinham este conceito, recém dominado, como pré-requisito. Desta forma, para cada aluno existe um conjunto de conceitos os quais ele está apto a vivenciar, uma vez que já domina os pré-requisitos. Este conjunto de conceitos representa o potencial de modificabilidade cognitiva do aluno. Na Figura 14 apresentada na página 104, é possível identificar os conceitos que representam o potencial de modificabilidade cognitiva do aluno.

3.3.2.4 Identificação da reciprocidade

Dentre as modalidades de mediação fundamentais para a ocorrência de uma Experiência de Aprendizagem Mediada (EAM) encontra-se a mediação de intencionalidade e reciprocidade. Entende-se que a intencionalidade é expressa através de mensagens e ações do sistema que serão detalhados adiante neste capítulo. Já a reciprocidade é o indicador de que o aluno compreende as intenções e responde a elas. Desta forma, a reciprocidade do aluno em relação ao sistema pode ser identificada a partir da quantidade de tarefas que ele realiza.

As ações mediadoras disparadas pelo modelo de mediação criam tarefas para serem realizadas pelos alunos tais como exercícios, leituras de texto e demais materiais de apoio. O aluno pode realizar estas tarefas ou não, e isto indica o nível de reciprocidade deste com relação às intenções do sistema e ou do professor. A Figura 18 ilustra as tarefas realizadas pelos alunos e as que ainda estão pendentes.

Tarefas selecionadas para os alunos		
Nome	A realizar	Realizadas
Adelino de Souza da Silva	30	26
Adriano Henrique Martins	6	10
Aldo Américo L. de Souza Neto	17	7
Alessandro Jose Haterberg	6	16
Aluno Medalo	36	
Anderson Cris de Souza	10	8
Anderson Dantas Junkes De Medeiros	7	12
Andre Luis Charao Silva	25	25
Andre Luis Prestes Da Rocha	20	7
Andre Voz	10	10
Angelo Kardi Junior	40	8
Bruno Justil Neto	20	29
Cairo Sérgio Laniowski	9	16
Dalner Felipe Kepler M. S. de Silva	6	2
Daniel Daitto Wierzinski	9	18

Figura 18 - Acompanhamento das tarefas realizadas pelos alunos

De acordo com o percentual de tarefas realizadas, classificou-se o aluno em três níveis: alta; média e baixa reciprocidade. Conforme o critério a seguir.

- Mais de 70% de tarefas realizadas – Alta reciprocidade
- Entre 40% e 70% de tarefas realizadas – Média reciprocidade
- Menos de 40% de tarefas realizadas – Reciprocidade Baixa

A reciprocidade também interfere na escolha da modalidade de mediação conforme poderá ser observado na descrição do modelo de mediação.

3.3.3 Modelo de Mediação

O modelo de mediação tem a incumbência de tomar decisão acerca da modalidade de mediação que um determinado aluno deve receber. Esta decisão depende das informações do

modelo do aluno como dificuldades de aprendizagem, índice de reciprocidade e potencial de modificabilidade cognitiva e baseia-se fortemente no currículo presente no modelo do domínio.

Dentre as doze modalidades de mediação apresentadas na teoria de Feuerstein, foram selecionadas quatro modalidades para serem utilizadas no protótipo. As mediações de significado, transcendência e intencionalidade/reciprocidade foram selecionadas por serem fundamentais para a ocorrência de uma Experiência de Aprendizagem Mediada. A quarta modalidade escolhida é a mediação do sentimento de competência, a qual freqüentemente faz-se necessária na mediação de problemas de aprendizagem. Desta forma, o processo decisório do protótipo está ligado à identificação das situações onde estas quatro modalidades de mediação se fazem necessárias.

A regra utilizada para tomada de decisão é disparada sempre que o professor conclui a correção de um exercício do aluno, ou então quando ele registra uma dificuldade de aprendizagem. O Quadro 1 apresenta a as regras de decisão adotadas:

```
Para cada conceito em desenvolvimento
  Se conceito apresenta dificuldade de aprendizagem Então
    Mediar significado
    Mediar competência
  Senão
    Se aluno já fez o numero mínimo de questões Então
      Se aluno já recebeu mediação de transcendência Então
        Conceito torna-se aprendido
      Senão
        Mediar transcendência
      Fimse
    Senão
      Mediar transcendência
    Fimse
  Fimse
Fimpara
Se nenhuma mediação foi definida então
  Atualiza potencial de modificabilidade cognitiva
  Para cada conceito potencial do aluno
    Mediar significado
    Se aluno tem experiência em programação Então
      Mediar transcendência
    Senão
      Mediar competência
    Fimse
  Fimpara
Fimse
```

Quadro 1 – Regras de Decisão da modalidade de Mediação

As dificuldades de aprendizagem são sempre atendidas por mediações de significado, pois se entende que o aluno deve revisar o conteúdo, reconstruir o significado daquele conceito, e por mediações de competência para não gerar um distanciamento do que está sendo exigido e o que ele tem potencial de realizar.

Os conceitos que não apresentam problemas de aprendizagem indicam que o aluno tem condições de transcender, ou então que já aprendeu aquele conceito. Conforme a quantidade de questões realizadas e a vivência ou não de uma mediação de transcendência naquele conceito, a decisão é tomada.

Quando nenhuma mediação foi selecionada, é um indício de que o aluno tem que avançar para um novo conceito presente no seu potencial de modificabilidade cognitiva, desta forma os conceitos potenciais são recalculados e para cada conceito são geradas mediações de significado (pois se trata de um assunto novo). Acompanhando o novo conceito é gerada uma mediação de transcendência para o caso do aluno possuir experiência prévia com programação (alunos que geralmente podem ser mais exigidos) ou então de competência para os alunos sem experiência prévia, pois o intuito é iniciar com questões mais fáceis para depois gerar as difíceis.

Assumiu-se que mediação de intencionalidade será percebida pelo aluno através das tarefas designadas a ele na interface do ambiente e também através de mensagens que sempre acompanham a comunicação das tarefas. Desta forma ela é uma mediação sempre presente, ou seja, não necessita participar do processo decisório. No entanto, o conteúdo da mensagem é construído de acordo com o grau de reciprocidade do aluno conforme demonstrado a seguir.

3.3.3.1 Ações Mediadoras

As modalidades de mediação selecionadas são traduzidas em ações mediadoras, representadas através de tarefas realizáveis pelo aluno por meio do sistema ou então de mensagens. Para cada modalidade de mediação, uma ação diferente é disparada.

Ao mediar significado entende-se que o aluno necessita conhecer (ou rever) definições e interagir com os exemplos presentes no material de apoio da disciplina a fim de melhor construir significados. A ação mediadora de significado é a geração de uma tarefa para que o aluno consulte o material de apoio do conceito em questão.

As mediações de transcendência e competência são entendidas como sendo antagônicas com relação às ações mediadoras que disparam. A mediação de transcendência deve possibilitar ao aluno ir além do contexto específico do conteúdo relacionado ao conceito trabalhado conhecimento adquirido em situações mais gerais. A ação mediadora de transcendência é a confecção de uma tarefa do tipo exercício com questões de nível difícil.

Já a mediação de competência busca fazer o aluno identificar o quanto já aprendeu, ampliando assim seu sentimento de competência e sua confiança. A ação mediadora de competência é a confecção de uma tarefa do tipo exercício com questões de nível fácil.

A mediação de intencionalidade é representada a partir da apresentação das tarefas oriundas das outras ações e também pela construção de uma mensagem ao aluno conforme sua reciprocidade deste com o ambiente, utilizando as seguintes regras:

Se a reciprocidade é alta Então mensagem explicativa Fimse
Se a reciprocidade é média Então mensagem explicativa e incentivadora Fimse
Se a reciprocidade é baixa Então incentivadora Fimse

Quadro 2 – Regras para decisão da mensagem de intencionalidade

A comunicação de todas as ações ao aluno é feita através da assistente de interface (personagem Alice) que será ilustrado a seguir na seção 3.3.4.3.

3.3.3.2 Participação do professor no modelo de mediação

O professor pode fornecer mediação aos alunos no sistema de duas formas direta ou indireta. Direta através de ações que são transformadas em ações mediadoras como, por exemplo, a confecção de um exercício direcionado a um aluno. Indireta através do auxílio ao diagnóstico das dificuldades de aprendizagem dos alunos, que afetam nas decisões que o modelo de mediação realiza.

Outra forma de mediação frequente ocorre na correção dos exercícios onde o professor fornece um *feedback* textual sobre a solução do aluno. Neste momento ele pode realizar mediações principalmente de significado e intencionalidade. Em uma versão futura do protótipo desenvolvido pretende-se fornecer uma interface integrada para que o professor possa sugerir tarefas durante a correção das questões (momento em que avalia os alunos).

3.3.4 Assistentes

Os assistentes representam a metáfora adotada para implementação de componentes de software que possam auxiliar na análise, síntese, tomada de decisão e interação com o usuário no ambiente desenvolvido. O principal benefício desta abordagem está na flexibilidade para incluir, modificar ou retirar assistentes sem alterar o ambiente como um todo. A terminologia de assistente foi escolhida por haver uma proximidade com a idéia de um ITA (*Intelligent Teaching Assistant*).

3.3.4.1 Assistente de Monitoramento

O assistente de monitoramento visa acentuar a característica de simulação de um monitor (*Teaching Assistant*). Todas as ações dos alunos no sistema são registradas por este assistente.

Estas informações auxiliam na construção do modelo do aluno influenciando no índice de reciprocidade e também nos estados de desenvolvimento dos conceitos. Além disso, este assistente responde as solicitações dos assistentes de análise e síntese enviando informações para apresentação ao professor.

3.3.4.2 Assistentes de Análise e Síntese

Estes assistentes buscam apoiar o professor no seu acompanhamento do desenvolvimento do aluno e da turma. Desta forma, a principal atividade desempenhada por estes assistentes é a montagem de relatórios para apresentação ao professor.

São diversas as visões que o professor pode ter sobre a utilização do sistema. Os assistentes disponibilizam informações voltadas para análise (detalhamento de aluno) e para síntese (visão da turma). A seguir são citados os relatórios conforme a classe, análise ou síntese.

Relatórios de Análise:

- Estado dos conceitos desenvolvidos pelo aluno;
- Exercícios e questões realizadas pelo aluno;
- Exercícios personalizados criado para o aluno;
- Mediações recebidas pelo aluno;
- Tarefas realizadas pelo aluno;
- Acompanhamento dos acessos realizados pelo aluno
 - i. Seções acessadas;
 - ii. Datas e horários dos acessos
 - iii. Detalhamento da navegação realizada pelo aluno.

Relatórios de Síntese:

- Visão geral das dificuldades de aprendizagem;
- Visão geral das mediações realizadas;

- Visão geral das tarefas realizadas;
- Visão geral dos acessos realizados;

3.3.4.3 Assistente de Interface (Personagem Alice)

Esse assistente foi desenvolvido a fim de humanizar a comunicação do ambiente com os alunos, com a intenção de personificar a monitora virtual da disciplina, a personagem Alice. Ele possui a incumbência de comunicar todas as tarefas provenientes de ações mediadoras, além de gerar um diálogo conforme o índice de reciprocidade do aluno.

Os diálogos relativos à reciprocidade são construídos seguindo as regras apresentadas no Quadro 2. Existem dois tipos de mensagem: explicativa e incentivadora. A mensagem explicativa busca elucidar as intenções implícitas nas tarefas designadas ao aluno pelo sistema e/ou professor humano. Já as mensagens de incentivo buscam cativar o aluno para ampliar sua participação. Um conjunto de mensagens pré-definidas foi criado para as situações de explicação e de incentivo. Com isso o aluno tem menor chance de receber mensagens repetitivas. Além disso, as mensagens possuem lacunas a serem preenchidas. Por exemplo, a frase “Que tal fazer mais tarefas sobre <conceito com dificuldade>?” será preenchida com o nome do conceito associado à ação mediadora direcionada ao aluno.

A Figura 19 ilustra uma mensagem explicativa anunciada ao aluno.

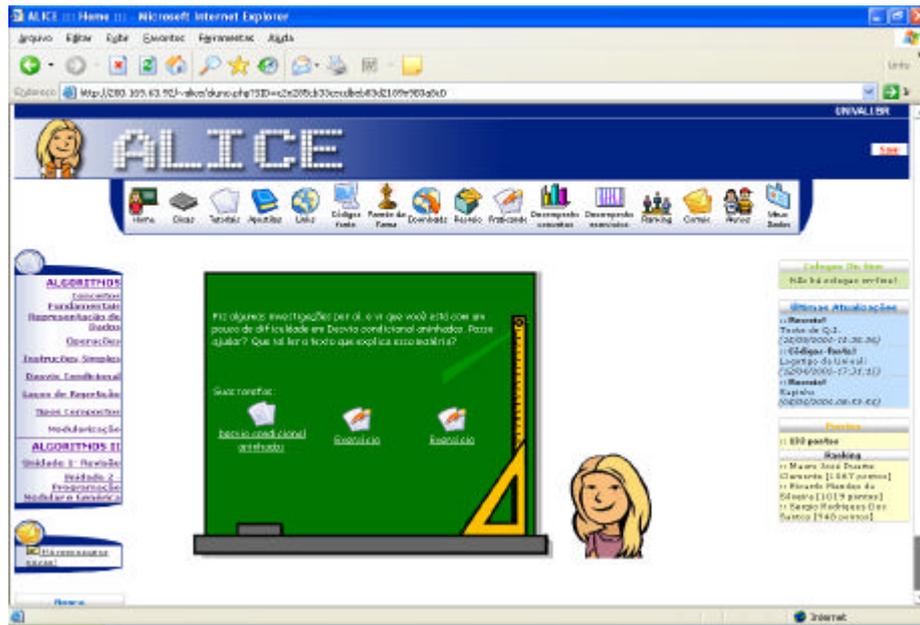


Figura 19 - Mensagem explicativa direcionada ao aluno

3.4 O EXPERIMENTO REALIZADO

Foi realizado um experimento de utilização do protótipo em uma situação real de sala de aula. O objetivo do experimento foi de validar a arquitetura proposta demonstrando sua viabilidade de implementação, bem como a coerência do processo decisório. Além disso, buscou-se registrar as formas de influência da atuação do professor no ITA e do ITA na atuação do professor.

O experimento foi realizado em duas turmas da disciplina introdutória de algoritmos totalizando 63 alunos. A disciplina, denominada “Algoritmos e Programação”, é ministrada no primeiro semestre do curso de Ciência da Computação da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI).

3.4.1 Preparação do Experimento

A preparação dos experimentos consistiu na criação das turmas, professores e alunos no ambiente ALICE. Para cada aluno foram criados um *login* e uma senha para viabilização do primeiro acesso.

3.4.2 Realização do Experimento

Definiu-se que o experimento seria realizado durante 11 semanas, percorrendo os meses de agosto, setembro e outubro. Na UNIVALI, esta disciplina possui 120 horas aula, ministradas em 15 semanas letivas no período noturno, sendo 4 horas aula na terça-feira e 4 horas aula na sexta-feira. O experimento compreendeu 88 horas aula correspondendo a mais de dois terços da disciplina.

As unidades do domínio ministradas neste período compreenderam desde “Conceitos Fundamentais” até “Laços de Repetição” (vide ANEXO I). Considera-se estas unidades como sendo fundamentais para a formação do raciocínio lógico-algorítmico e também aquelas onde as dificuldades de aprendizagem tornam-se empecilhos para compreensão dos conceitos subsequentes.

As aulas da disciplina foram ministradas nos Laboratórios de Informática (aproximadamente 30% da carga horária) e também em sala de aula. As duas turmas que participaram do experimento foram conduzidas de maneira bastante similar, no que tange o conteúdo programático, plano de aula, trabalhos e provas realizadas. Esta similaridade entre as disciplinas já vinha ocorrendo há vários semestres por conta de um esforço conjunto dos professores para padronizar os processos de ensino.

Uma vez que o escopo do experimento ultrapassa a simples utilização do ambiente computacional, e busca identificar a influência deste na atuação do professor em sala de aula, serão detalhados aspectos relativos à dinâmica de trabalho no ambiente da sala de aula.

Na primeira semana de aula, foi apresentado aos alunos o programa da disciplina. Incentivou-se a reflexão sobre o desenvolvimento de estratégias para a solução de problemas e também foram retomados alguns conteúdos de matemática do ensino médio, que eram

importantes para a disciplina. Alguns problemas que necessitam o uso do raciocínio lógico também foram propostos a fim de elucidar estratégias para resolução de problemas.

Nesta primeira semana o professor já começa a coletar alguns indícios do desempenho e comportamento dos alunos, principalmente no que se refere às dificuldades oriundas do ensino médio, perfil para solução de problemas, interesse e comprometimento com a disciplina.

Na segunda semana foi realizada a introdução do Ambiente ALICE na dinâmica da disciplina. Os alunos foram conduzidos ao laboratório onde os professores realizaram uma explanação sobre os objetivos do ambiente e a importância de sua utilização. Os professores deixaram claro que o uso do ambiente era uma atividade complementar que buscava ampliar a atenção aos alunos, mas que não valia nota.

A interface do ambiente foi explicada em detalhes e uma tarefa foi designada aos alunos (leitura de um texto e realização de um exercício). Neste primeiro contato com o ambiente, os alunos respondem um breve questionário com sete perguntas que visam auxiliar os professores a conhecer um pouco melhor o aluno.

Todos os alunos iniciaram no primeiro conceito da primeira unidade da disciplina, ou seja, o modelo do aluno foi inicializado de forma idêntica para todos os alunos. A tarefa inicial, designada pelos professores, possuía diversos objetivos tais como: incentivar os alunos a identificar a possibilidade de auto-aprendizagem mediada pelo ambiente; promover o passo inicial do ciclo de tutoramento (que depende da resolução de exercícios para avançar); e elucidar o uso da interface e a dinâmica de correção dos exercícios (questões objetivas são corrigidas automaticamente, enquanto que as discursivas dependem da correção do professor).

A partir da segunda semana os alunos passaram a utilizar o ambiente de forma independente, seguindo ritmos de avanços bem diversificados. Os professores iniciaram a

correção das questões realizadas através do ambiente atribuindo notas e fornecendo *feedback* textual por meio da interface. Não houve distinção entre turmas dentro do ambiente, as questões de ambas as turmas foram corrigidas por ambos os professores. O monitor da disciplina foi treinado para corrigir os exercícios e também fornecer orientações aos alunos auxiliando assim a reduzir a carga de trabalho dos professores.

Entre a quarta e a quinta semana de experimento, os professores já possuíam informações relativas ao desempenho e dificuldades dos alunos manifestadas através ao ambiente ALICE. Como nenhuma avaliação formal havia sido realizada na disciplina até aquele momento, os professores contavam apenas com as observações de sala de aula para conhecer as dificuldades e facilidades dos alunos, de forma que a informação fornecida pelo ambiente computacional era de grande valia.

Desta forma, os professores imprimiam o relatório de síntese fornecido pelo ambiente ALICE com a visão geral dos problemas de aprendizagem dos alunos, e levavam-no para sala de aula. Isto levou a duas mudanças na atuação dos professores: maior ênfase em retomar os conceitos onde boa parte dos alunos apresentava problemas, maior atenção individual aos alunos com problemas mais freqüentes ou com problemas em conceitos importantes.

Nas atividades em laboratório, os professores incentivavam os alunos a realizarem exercícios através do ambiente e realizavam a correção (dentro do possível) ainda em laboratório. Desta forma, foi possível resgatar alguns alunos que não estavam utilizando o ambiente por motivos diversos.

A partir da sexta semana, com a realização de avaliações e também com aproximadamente 50 horas de convívio com os alunos os professores passaram a identificar dificuldades de aprendizagem que não haviam sido manifestadas no ambiente computacional.

Desta forma, normalmente após a aula, os professores registravam, através da interface do ambiente ALICE, os conceitos em que os alunos apresentaram dificuldades de aprendizagem. Com isso o ambiente ALICE passava a dar maior atenção a estes conceitos através da proposição de tarefas como leitura de textos e realização de exercícios.

Ainda com relação às dificuldades de aprendizagem, eventualmente os professores utilizavam os relatórios de análise a fim de traçar um melhor plano para atender o aluno com dificuldade. Analisando o histórico de utilização do ambiente ALICE pelo aluno, pôde-se identificar dados sobre a experiência prévia e tempo de dedicação do aluno aos estudos, quais conceitos ele apresenta problemas, as questões resolvidas, as tarefas realizadas, o padrão de acessos e sua reciprocidade em relação ao ambiente. Com essas informações, os professores puderam identificar melhor a natureza e as causas de muitas das dificuldades de aprendizagem manifestadas pelos alunos.

As demais semanas se caracterizaram pela diferença de ritmo de desenvolvimento de alguns alunos em relação ao cronograma de sala de aula. Alguns alunos avançaram de forma muito mais rápida através do ambiente ALICE e aproveitavam as situações de sala de aula para consolidação dos conhecimentos. Entretanto, houve também alunos que simplesmente abandonaram o uso do sistema, sem com isso abandonarem a disciplina.

Conforme previsto no cronograma da proposta de tese, o experimento foi encerrado na última semana do mês de outubro de 2005. Os alunos seguiram utilizando o ambiente até o final da disciplina, mas os registros realizados e os dados coletados correspondem ao período de 11 semanas da realização do experimento.

3.4.3 Coleta, tratamento e tabulação dos dados

A coleta dos dados foi realizada de duas formas: através dos assistentes de síntese presentes no Ambiente ALICE e também através de consultas SQL realizadas diretamente no Banco de Dados (*MySQL*) que registrou todas as transações do ambiente.

Alguns alunos, mesmo após abandonarem formalmente a disciplina (trancamento de matrícula) continuaram utilizando o ambiente ALICE, no entanto sem assistirem as aulas e realizarem as avaliações da disciplina. Estes casos foram identificados e retirados da amostra, pois influenciavam falsamente as variáveis analisadas (ruído). Também foram identificadas e eliminadas da amostra as situações onde os alunos, na tentativa de falsear o sistema, recarregavam excessivas vezes uma página (pressionando F5 no navegador Internet) ou submetiam diversas vezes um mesmo exercício (usando *back* no navegador Internet e submetendo novamente). Estas tentativas foram identificadas por meio do tempo decorrido entre os eventos e foram retiradas dos dados da amostra.

Os dados coletados se encontravam na forma textual e foram importados para o *Microsoft Excel* para a construção de tabelas, somatórios, verificação das correlações e construção de gráficos apresentados na seção seguinte.

3.4.4 Análise dos Dados do Experimento

A análise dos dados coletados durante o experimento permitiu realizar observações sobre as variáveis representativas da utilização do ambiente ALICE pelos alunos. Esta análise buscou principalmente identificar indícios quantitativos da influência do protótipo no processo de aprendizagem dos alunos da disciplina de Algoritmos.

3.4.4.1 Caracterização da amostra

A mostra foi composta de 63 (n=63) alunos distribuídos em duas turmas da disciplina. A divisão entre as turmas obedeceu a um critério alfabético, porém os alunos puderam trocar de turma durante a primeira semana caso tivessem argumentos consistentes para isso.

Dentre os alunos, 12 (19,05%) eram repetentes na disciplina e os restantes eram calouros. Haviam, 56 homens (88,89%) e 7 mulheres (11,11%). No início da disciplina, 40 alunos (63,49%) trabalhavam mais de 20 horas por semana, e 17 alunos (26,98%) possuíam alguma experiência anterior com programação.

3.4.4.2 Caracterização do Uso do Ambiente pelos Alunos

O uso do ambiente ALICE pelos alunos da disciplina foi registrado durante as onze semanas do experimento. A Tabela 5 apresenta a caracterização dos acessos realizados, exercícios resolvidos e desempenho dos alunos nestes.

Tabela 5 - Caracterização da utilização do ambiente pelos alunos.

Observações sobre os alunos (n=63)	Total	Média por aluno (c)	Desvio Padrão (s)
Acessos em horários extraclasse	1101	17,46	12,74
Acessos aos materiais de referência	1576	25,01	19,22
Acessos aos materiais complementares	1301	20,65	16,76
Exercícios realizados	788	12,50	10,86
Notas nos exercícios	-	7,06	2,56

O número de acessos extraclasse fornece um indicador do envolvimento dos alunos com a disciplina. Em média cada aluno acessou 17,46 vezes o ambiente fora do horário de aula (terças e sextas-feiras das 19:00 as 22:30 horas). O valor alto do desvio padrão indica uma grande disparidade entre os alunos, alguns foram bastante participativos, enquanto que outros praticamente não utilizaram o ambiente.

A quantidade de exercícios resolvidos foi considerada alta, sendo este um ponto positivo identificado nesta amostra. Cada aluno resolveu em média 12,5 exercícios, sendo cada um composto de três questões, ou seja, aproximadamente 37,5 questões foram resolvidas durante as

onze semanas do experimento. Novamente, o alto valor do desvio padrão aponta uma disparidade grande entre os alunos.

As notas nos exercícios realizados por meio do ambiente fornecem um indicador interessante ao serem comparados com a nota média dos alunos nas avaliações em sala de aula ($c=6,16$). Percebe-se que não houve grande disparidade na complexidade dos problemas propostos nas avaliações e via ambiente ALICE, no entanto os alunos tiveram um desempenho sutilmente melhor no ambiente que pode ser explicado pela possibilidade de usar o material de consulta do ambiente o que não é permitido em sala de aula durante as provas.

3.4.4.3 Análise da Influência do protótipo no desempenho dos alunos

O desempenho dos alunos na disciplina é mensurado através das notas obtidas nas avaliações. Uma vez estando o protótipo focalizado em ampliar a ocorrência de experiências de aprendizagem mediadas (EAM) na disciplina de Algoritmos, deseja-se analisar quais indicadores quantitativos desta ampliação podem ser identificados. Está se assumindo implicitamente a premissa de que quanto mais EAM ocorrer na disciplina melhor será o desempenho dos alunos nas avaliações.

O teste Z possibilita verificar a significância da diferença entre médias de duas amostras. Utilizou-se este procedimento estatístico a fim de identificar se a utilização do ambiente ALICE influenciou positivamente no desempenho dos alunos que participaram do experimento, comparando-os com as edições anteriores da disciplina. Utilizou-se como variável independente a presença do ambiente ALICE e como variável dependente o desempenho dos alunos na primeira metade da disciplina (denominada média 1 ou M1).

A amostra 1 ($n=408$) corresponde as nove edições anteriores da disciplina de Algoritmos (de 2000-2 a 2004-2) cujos dados haviam sido registrados, e a amostra 2 ($n=32$) corresponde a

uma das turmas onde o experimento foi realizado (grupo do experimento). Adotou-se apenas uma das turmas, pois apenas para esta existiam registros do desempenho dos alunos nos nove semestres anteriores, e por ter sido ministrada pelo mesmo professor (tanto na amostra 1 quanto na amostra 2). O primeiro semestre de 2005 (2005-1) não foi considerado, pois foi alvo de experimentos com a primeira versão do ambiente ALICE que possibilitaram sua evolução para um ITA instanciando a arquitetura proposta. A Tabela 6 apresenta os dados coletados nas duas amostras.

Tabela 6 - Dados coletados para o teste Z de diferença entre médias

Dados Coletados	Amostra 1 Edições anteriores da Disciplina	Amostra 2 Grupo do Experimento
Média (\bar{c})	5,728	6,912
Desvio Padrão (s)	3,145	3,141
Variância (S)	9,890	9,868
Total de alunos (n)	408	32

O teste Z possibilita a aceitação ou rejeição de hipóteses comparando-se um valor calculado (Z observado ou Z_o) com o valor limite de Z (Z crítico ou Z_c) para um determinado grau de significância. Definiu-se que o valor de significância do teste seria de 95% onde o valor de Z_c é de -1,64.

A seguir formulou-se a hipótese nula e a hipótese de alternativa:

- $h_0: c_1 \geq c_2$ - Hipótese Nula - A média das edições anteriores é maior ou então igual ao do grupo do experimento;
- $h_a: c_1 < c_2$ - Hipótese alternativa - A média do grupo de experimento é maior que as edições anteriores da disciplina.

Calculou-se o valor de Z observado por meio da expressão da Equação 1:

Equação 1 – Cálculo do valor de Z observado

$$Z_o = \frac{(x_1 - x_2)}{\sqrt{\frac{s_1}{n_1} + \frac{s_2}{n_2}}} = \frac{(5,728 - 6,912)}{\sqrt{\frac{9,890}{408} + \frac{9,868}{32}}} = -2,05$$

Sendo o Z observado ($Z_o = -2,05$) calculado maior (em valor absoluto) que o Z crítico ($Z_c = -1,64$) é possível rejeitar a hipótese nula com isso aceitar a hipótese alternativa. Logo, é possível afirmar com 95% de confiança que houve uma melhoria no desempenho dos alunos na primeira parte da disciplina no grupo do experimento.

Outra influência do uso do ambiente no desempenho dos alunos foi identificada através da análise da correlação entre: variáveis indicativas da participação e empenho dos alunos na utilização do protótipo; e seus desempenhos na disciplina. A correlação possibilita identificar o grau de influência de uma variável sobre a outra, sendo que esta pode ser negativa (relação inversamente proporcional) ou positiva (diretamente proporcional).

Utilizou-se três variáveis independentes (tarefas realizadas, acessos realizados e questões resolvidas) e como variável dependente o desempenho médio dos alunos na Média 1 da disciplina. A medida de correlação adotada foi o coeficiente de correlação de Pearson (r), onde os valores variam de -1 a 1, indicando a força da relação (quanto mais próximo de |1| mais forte a correlação). Adotou-se como nível de significância novamente o valor de 95%, ou seja, com uma amostra de 63 indivíduos somente valores maiores que 0,25 (valor absoluto) poderiam ser considerados significantes. A Tabela 7 apresenta a correlação identificada entre as variáveis.

Tabela 7 - Correlação da utilização do protótipo e o desempenho dos alunos

Coeficiente de Correlação (r)	Média 1
Tarefas Realizadas	0,329
Acessos Realizados	0,254
Questões Resolvidas	0,433

As correlações identificadas são todas positivas, ou seja, indicam uma proporcionalidade direta entre o uso do ambiente e o valor da média 1, e todas são significantes a 95%. Porém, os coeficientes indicam uma correlação fraca entre as variáveis, logo, a influência existe (com 95% de certeza), mas é pequena.

3.4.4.4 Detecção de Dificuldades de Aprendizagem

A atenção às dificuldades de aprendizagem dos alunos pode ser evidenciada como uma das características do protótipo onde o compartilhamento do diagnóstico sobre os alunos auxiliou ao docente em sua atuação em sala de aula e auxiliou ao ambiente, uma vez que o professor registrou as dificuldades dos alunos observadas em sala de aula.

A Tabela 8 ilustra os conceitos onde houve dificuldades de aprendizagem indicando quantos alunos cursaram tal conceito, quantas dificuldades foram detectadas pelo ambiente, e quantas foram detectadas pelo professor. O percentual de alunos que apresentam dificuldades também é exibido.

Tabela 8 - Dificuldades de aprendizagem detectadas.

Conceitos trabalhados	Total de Alunos	Problemas identificados pelo Ambiente	Problemas identificados em sala de Aula	%
Conceito de Algoritmos	57	10	0	17,54
Como o Computador entende...	40	1	0	2,50
Ferramentas de Representação...	29	1	0	3,45
Variáveis	33	2	0	6,06
Constantes	42	1	0	2,38
Divisões Inteiras	34	5	4	26,47
Operações Relacionais	14	3	3	42,86
Operações Lógicas	15	6	4	66,67
Prioridade de Operadores	18	3	3	33,33
Testes Lógicos	11	1	1	18,18
Saída de Dados	34	1	1	5,88
Entrada de Dados	34	1	1	5,88
Desvio Condicional Simples	10	3	1	40,00
Desvio Condicional Composto	11	1	1	18,18
Desvio Condicional Aninhados	11	2	2	36,36
Laço com Teste Lógico no Início	10	2	1	30,00
Contadores	8	1	1	25,00
Somadores	8	1	1	25,00
Laço com Teste Lógico no Final	4	1	1	50,00
Laço com Variável de Controle	7	2	1	42,86

Conforme já mencionado na seção 3.4.2, o sistema possibilitou a detecção das dificuldades de aprendizagem já nas etapas iniciais da disciplina (os cinco primeiros conceitos da tabela), antes mesmo de qualquer avaliação ter sido realizada.

Dentre os problemas diagnosticados, nota-se que a maioria deles foi encontrada por meio do ambiente ALICE. Isto porque o professor registrou no ambiente apenas os problemas de aprendizagem observados em sala de aula e que não haviam se manifestado no ambiente.

Os conceitos que apresentaram um elevado percentual de alunos com dificuldades de aprendizagem foram determinantes para a tomada de decisão do docente de reforçar seus ensinamentos. Por exemplo, os conceitos de operações relacionais e operações lógicas receberam uma aula de reforço, devido às informações elucidadas pelo uso do ambiente.

3.4.5 Conclusões do Experimento

As conclusões do experimento estão apoiadas nas análises qualitativas e quantitativas realizadas sobre os registros e dados coletados no experimento. A intenção foi permitir a verificação das hipóteses de pesquisa desta tese. Desta forma elas são retomadas a seguir.

Hipótese 1: “O suporte teórico das EAM fornece subsídios para a tomada de decisão em Ambientes de Aprendizagem Inteligentes e podem ser mapeados como novos módulos na arquitetura tradicional de Sistemas Tutores Inteligentes”.

Esta primeira hipótese pode ser aceita como verdadeira já que a arquitetura proposta está fundamentada na teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) conforme foi descrito na seção 3.1. A arquitetura integra aspectos da teoria das EAM em uma perspectiva de um *Intelligent Teaching Assistant* (ITA) que é uma modalidade de Sistema Tutor Inteligente (STI).

Na construção do protótipo, foi criada uma instância da arquitetura que demonstra a viabilidade de representar o processo decisório por meio de regras de produção. Ainda que esta escolha de implementação possa ser aprimorada, ela demonstra que o aporte teórico das EAM fornece subsídios para a tomada de decisão em ambientes de aprendizagem inteligentes.

Hipótese 2: “O compartilhamento do processo decisório entre professor e sistema computacional (característica de um ITA) abre novas possibilidades didáticas que podem favorecer a ocorrência de EAM”.

Estando a EAM fundamentada na escolha adequada de critérios de mediação de acordo com o diagnóstico cognitivo do aluno, decorre que quanto mais informações houver sobre o aluno, melhor pode ser o diagnóstico sobre seu estado cognitivo, e conseqüentemente, melhores decisões podem ser tomadas.

Identificou-se que na verdade, as possibilidades didáticas que se abrem derivam do compartilhamento da informação sobre o aluno, sendo o compartilhamento do processo decisório uma decorrência deste compartilhamento das informações sobre o aluno. Sem um sistema computacional, o professor desejava informações sobre o desempenho extraclasse de seus alunos, mas não os possuía. Sem o professor (abordagem tradicional de STI), faltavam informações externas ao uso do STI que permitissem avaliar o aluno.

Desta forma, pode-se considerar que o compartilhamento da informação favorece a promoção de EAM, pois se amplia a quantidade e a qualidade da informação sobre os alunos, permitindo ao professor e ao sistema computacional tomar decisões com maior consistência, com isso consideramos a segunda hipótese como sendo falsa.

Alguns indícios quantitativos de uma maior ocorrência de EAM na disciplina foram encontrados a partir das análises comparativas com os dados históricos da disciplina e das

correlações entre variáveis de uso do ambiente e desempenho do aluno. Os indícios apontam uma tendência dos alunos que utilizaram o ambiente de maneira sistemática a terem melhores desempenhos na disciplina. Estes indícios, ainda que não permitam demonstrar uma relação de causa e efeito, reforçam a interpretação qualitativa de que o compartilhamento de informações sobre os alunos favorece a ocorrência de EAM.

Hipótese 3: “A proposta de uma arquitetura para promoção de EAM inspirada em um ITA fornece subsídios oriundos do registro das interações do aluno com o sistema para reorientar a atuação do docente com relação aos problemas de aprendizagem”.

A terceira hipótese também pode ser aceita como verdadeira uma vez que o experimento demonstrou a possibilidade de utilizar as informações oriundas do sistema para a detecção e atendimento às dificuldades de aprendizagem. Em especial na fase inicial da disciplina, onde o professor ainda não conhecia os alunos suficientemente para avaliar se estão com dificuldades ou não. Vale lembrar que quanto maior a quantidade de alunos de uma turma, mais tempo um professor leva para conhecê-los.

O principal aspecto da arquitetura proposta que possibilita esta atenção às dificuldades de aprendizagem é o compartilhamento do modelo do aluno entre o STI e o ITA o que permite que os assistentes de análise e síntese forneçam informações qualificadas ao professor. Conforme relatado na descrição do experimento (seção 3.4.2) os professores valeram-se das informações sobre as dificuldades de aprendizagem registradas no ITA para ampliar a atenção aos alunos com dificuldades, inclusive analisando detalhadamente suas trajetórias em busca de um melhor diagnóstico.

Outra forma de reorientação ocorreu baseando-se nos relatórios de síntese fornecidos pelo ITA que permitiram uma visão geral das dificuldades de aprendizagem da turma. Foi possível

identificar que os conceitos de operações relacionais e operações lógicas estavam com um alto percentual de alunos com dificuldades. Isto permitiu ao professor perceber a necessidade de uma revisão destes conceitos junto à turma.

Desta forma, as hipóteses de pesquisa puderam ser verificadas, sendo que a primeira e a terceira mostraram-se verdadeiras, porém a segunda mostrou-se falsa, pois verificou-se que anterior ao compartilhamento do processo decisório está o compartilhamento das informações sobre o aluno.

4. CONCLUSÕES

A mediação da aprendizagem nos Sistemas Tutores Inteligentes vem sendo alvo de pesquisas a mais de duas décadas, mas devido à complexidade do processo educacional, permanece um problema em aberto suscetível à contribuições provenientes de novas abordagens. Neste sentido, esta tese propõe uma abordagem que integra duas contribuições de naturezas distintas, uma pedagógica e outra metodológica, a fim de avaliar e discutir questões sobre como melhorar a assistência ao aluno, fazendo com que esta seja mais personalizada e focada nas reais necessidades desse.

A contribuição de natureza pedagógica é proveniente da escolha de uma teoria ainda inexplorada para a construção de STI. A teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas (EAM) de Feuerstein apresentou-se como uma alternativa viável, fundamentada em pressupostos interacionistas, e que possui uma proposta teórico-instrumental, onde o aporte teórico fornece orientações sobre a mediação pedagógica. Desta forma, este trabalho abordou a questão de como a teoria em questão poderia ser mapeada em componentes da arquitetura de um Sistema Tutor Inteligente. A arquitetura proposta como resultado desta tese apresenta uma solução para esta questão.

A contribuição de natureza metodológica está na adoção da modalidade de *Intelligent Teaching Assistants* (ITA). Esta abordagem foi selecionada por trazer uma característica que vinha ao encontro das crenças educacionais do autor desta tese e de sua orientadora: um software educacional deve ser utilizado contextualizado no trabalho do docente. Logo, a abordagem tradicional de STI de substituição do professor dá lugar a uma abordagem onde existe uma colaboração entre professor e sistema, ambos compartilhando informações que possibilitam melhorar a assistência ao aluno.

O domínio selecionado para realização de experimentos foi a disciplina introdutória de Algoritmos. Esta escolha foi determinada pela experiência do autor e orientadora como docentes desta disciplina e o alto índice de dificuldades de aprendizagem observado nesta disciplina. O estudo realizado sobre a aprendizagem de algoritmos permitiu identificar a natureza dos problemas e abordagens para seu atendimento.

A colaboração entre professor e sistema, criou novas possibilidades didáticas, em especial pela possibilidade de compartilhamento das informações sobre os alunos. Esta característica trouxe um diferencial importante relacionado à atenção as dificuldades de aprendizagens dos alunos manifestadas durante o experimento.

Com a presença do ambiente ALICE, foi possível dar um acompanhamento individualizado aos alunos com dificuldades que não era possível nas edições anteriores da disciplina. Salienta-se, no entanto que a demanda de trabalho do docente aumentou significativamente em virtude da necessidade de corrigir as questões resolvidas pelos alunos através do ambiente. Considerando este aspecto, pode-se dizer que a atenção aos problemas de aprendizagem é decorrência de um maior envolvimento do professor e de seu auxiliar (monitor da disciplina) na avaliação dos alunos. Mas, deve-se considerar também a contribuição do ambiente ALICE na criação de novos problemas sob medida para a necessidade dos alunos, a atuação dos assistentes na organização e apresentação das informações que apoiaram a tomada de decisão do professor, e o melhor aproveitamento dos estudos extraclasse realizados pelos alunos devido a disponibilidade de material de apoio e de ferramentas de comunicação via Internet.

Os objetivos propostos para esta tese foram alcançados. Foi elaborada uma arquitetura de um ITA baseada nos pressupostos da teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas descrita nas seções 3.1 e 3.2. Os componentes que foram integrados a arquitetura, e seus inter-

relacionamentos a fim de suportar o processo decisório de promoção de EAM estão descritos nas seções 3.3.1 à 3.3.4. O protótipo que instancia a arquitetura usando como domínio os conteúdos da disciplina introdutória de Algoritmos encontra-se descrito na seção 3.3. E os experimentos realizados para validação da arquitetura proposta são discutidos na seção 3.4.

O processo de desenvolvimento do protótipo refletiu a forma na qual pesquisa foi desenvolvida. A cada ciclo de desenvolvimento novos preceitos teóricos eram agregados, formalizados e passavam a integrar o ambiente. A interdependência entre os modelos do domínio, aluno e tutoria tornou-se evidente de forma que uma mudança em um dos modelos impacta nos outros. Os teste preliminares realizados com a turma do semestre anterior ao experimento (2005-1) foram de importância fundamental para consolidação do protótipo.

A realização do experimento com duas turmas da disciplina de algoritmos permitiu elucidar um conjunto de questões sobre a inserção de um ambiente de apoio a aprendizagem com características inteligentes na dinâmica de sala de aula. O experimento também possibilitou a verificação das hipóteses de pesquisa, sendo que duas foram aceitas como verdadeiras, e uma delas falsa, conforme discutiu-se nas conclusões do experimento (seção 3.4.5).

As evidências empíricas coletadas durante a realização do experimento permitiram identificar diversos aspectos positivos da adoção da arquitetura proposta em uma disciplina presencial: as dificuldades de aprendizagem foram detectadas mais cedo; o professor pôde reorientar sua atuação baseado em dados objetivos coletados pelo sistema; os alunos sempre dispunham de problemas personalizados para serem resolvidos; o ritmo de desenvolvimento dos alunos deixou de ser regido exclusivamente pelas interações de sala de aula; houve maior dedicação uma melhor organização e registro das situações de estudo extraclasse dos alunos; o desempenho dos alunos na primeira parte da disciplina apresentou melhorias com relação aos dados históricos e existem indícios de que o uso do ambiente influenciou positivamente no

desempenho dos alunos. Desta forma, acredita-se que a arquitetura proposta, instanciada por meio do protótipo desenvolvido, auxiliou de diversas maneiras a promoção de experiências de aprendizagem mediadas.

4.1 LIMITAÇÕES

As principais restrições deste trabalho estão relacionadas ao mapeamento entre a Teoria EAM e a sua materialização através de um protótipo. Diversas decisões de projeto foram tomadas levando em consideração as restrições de tempo existentes para realização deste trabalho. Desta forma, discute-se a seguir alguns dos aspectos que podem ser melhorados em versões futuras do protótipo e que poderão aprimorar este mapeamento.

As ações mediadoras adotadas no protótipo estão sempre ligadas a proposição de tarefas tais como a leitura de um texto ou a resolução de um problema. Ações mais amplas e genéricas podem ampliar as formas de mediação de aprendizagem, adotando por exemplo a construção de diálogos explicativos (seja para mediação de significado ou elucidação da intencionalidade), a construção de mediações de transcendência que combinem a leitura de textos com a realização de exercícios, mediações de significado focalizadas na construção de exemplos sob demanda conforme as dúvidas do aluno, mediações de competência que possam explicitamente apresentar ao aluno o quanto ele já sabe, o quanto já aprendeu, etc.

Outra restrição relacionada à construção das ações mediadora é que a sua reciprocidade é mensurada apenas pela realização da tarefa proposta ou não. A reciprocidade possui um forte componente afetivo cuja representação computacional constitui-se em um grande desafio. Existe uma lacuna entre a reciprocidade real do aluno, e o que pode ser capturado através da interface.

Neste sentido, considera-se que a teoria das EAM de Feuerstein fornece bons indicadores para o trato das questões afetivas, e em especial a abordagem de inclusão do professor como

usuário final do sistema e como fonte de informações sobre os alunos pode auxiliar a reduzir esta lacuna

É importante tornar claro que a arquitetura proposta não representa uma automatização da proposta teórico-instrumental de Feuerstein. Ela apenas propõe uma forma de auxiliar a promoção de Experiências de Aprendizagem Mediadas por meio de um ambiente computacional inteligente.

O acervo de ações mediadoras do protótipo da arquitetura não contempla todas as modalidades de mediação presentes na teoria das Experiências de Aprendizagem Mediadas. Isto porque nem todos os critérios de mediação são plenamente realizáveis pelo computador e alguns estavam fora do contexto do domínio do experimento. Desta forma, a implementação demonstra a viabilidade de implementação da arquitetura apoiando-se na teoria da EAM para proporcionar a adaptação às necessidades específicas dos alunos, e fornecer auxílio à atuação do professor.

A modelagem cognitiva do aluno não foi realizada utilizando o instrumento LPAD (apresentado na seção 2.3.5.1), pois este é independente de conteúdo. Desta forma o diagnóstico da modificabilidade do aluno é feito conforme o desempenho do aluno nas unidades da disciplina. Conforme os conceitos são desenvolvidos pelos alunos, estes apresentam um potencial de serem transformados pela proposição de novos conceitos.

A classificação do potencial de modificabilidade dos elementos do acervo foi estabelecida empiricamente a partir da experiência do professor da disciplina. Porém a adoção de apenas dois valores para este atributo (fácil e difícil) certamente pode ser melhorada e constituir-se em outra limitação relacionada à construção do protótipo.

Não foi realizado nenhum estudo a fim de definir as características as serem adotadas na personagem da Interface (Alice). Ela apenas foi adicionada como forma de personificar um monitor virtual por meio do protótipo e pode ser substituída ou melhorada em trabalhos futuros.

No experimento realizado não foram contemplados aspectos relacionados à cooperação existente entre os alunos para a solução dos problemas, seja em sala de aula, seja por meio das ferramentas de comunicação do ambiente computacional. Esta restrição foi assumida intencionalmente uma vez que não era foco deste trabalho analisar tais relações, em trabalhos futuros, no entanto, podem ser incluídos.

A ferramenta desenvolvida será disponibilizada para a comunidade acadêmica com o objetivo de contribuir para o esforço dos pesquisadores de Informática na Educação em construir ferramentas que auxiliem a aprendizagem dos alunos. Acredita-se que as disciplinas cujos conteúdos podem ser trabalhados em uma abordagem baseada na resolução de problemas sejam aquelas onde a ferramenta disponibilizada poderá auxiliar de maneira mais efetiva.

4.2 TRABALHOS FUTUROS

Uma série de possibilidades se abre ao explorar o compartilhamento do processo decisório do professor com um sistema tutor inteligente. Esta tese propôs uma arquitetura que representa um modelo para organização das relações de compartilhamento, porém acredita-se que outros modelos possam ser propostos.

Neste sentido, este trabalho contribui para o esforço de pesquisa que propõe a inclusão do professor nos STI, mas principalmente incentiva a discussão de modelos de compartilhamento do processo decisório entre sistemas tutores inteligentes e professores humanos. Está aí, uma fonte relevante e promissora de trabalhos futuros diretamente relacionados aos resultados desta tese.

Pretende-se realizar novos experimentos com o protótipo a fim de aprofundar questões relativas à identificação e atendimento às dificuldades de aprendizagem dos alunos. A camada de mediação que surge a partir da relação professor-alunos-STI cria a necessidade de uma abordagem metodológica diferenciada a fim de avaliar a eficiência desta abordagem.

A mensuração quantitativa de variáveis relacionadas à variação de desempenho do aluno, inferidas durante o uso do sistema computacional, elucida apenas parte do processo, pois ignora a atuação do professor em sala de aula. Da mesma forma, as análises providas pelo sistema permitem redirecionar a atuação do professor quando interagindo com os alunos em sala de aula.

A abordagem de utilização de grupos de controle pode permitir a mensuração comparativa entre uma turma que utiliza o ambiente computacional e onde o professor se beneficia do recurso, e outra turma em que isto não ocorre. Porém, as diferenças naturais entre as amostras e o viés da participação do professor ainda são entraves para sua adoção. Esta é uma questão que surpreendentemente é pouco discutida na área de Informática na Educação e, desta forma, também deverá ser foco de atenção de trabalhos futuros.

O protótipo criado também será foco de diversos trabalhos futuros, a saber: criação de ferramenta de autoria de STI; modelagem do domínio utilizando objetos de aprendizagem; reconstrução de módulos com foco na interoperabilidade, construção de novos assistentes e inclusão de aspectos afetivos no personagem de interface.

A adoção de um padrão de projeto poderá elucidar melhor a forma pela qual arquitetura deve ser instanciada em um protótipo, criando uma visão mais detalhada de como ocorre o acoplamento entre ITA e STI e de que forma estes se comunicam.

Ferramentas de autoria de STI fornecem mecanismos e interfaces para modelagem do domínio, de forma que através dela, podem ser criados tutores para diversos domínios. Em

alguns poucos casos (ver Murray, 1999) estas ferramentas permitem também a escolha dos atributos que compõem o modelo do aluno e também a adaptação das estratégias pedagógicas. O protótipo criado nesta tese, já foi desenvolvido considerando a possibilidade de ser adaptado a outros domínios, de forma que com pouco esforço de programação esta poderá se tornar uma ferramenta de autoria de STI.

O domínio trabalhado no experimento foi o ensino introdutório de algoritmos. Para isto foram criados textos básicos, textos complementares, exercícios e códigos fonte para servirem de material de consulta e referência aos alunos. A transformação destes elementos em objetos de aprendizagem poderá permitir maior flexibilidade na escolha de atividades pelo STI, além de criarem a possibilidade do reuso destes objetos em outros contextos, característica marcante de um objeto de aprendizagem (Wiley, 2000). Para isto, será definida a granularidade a ser adotada para os objetos, e estes serão descritos por metadados seguindo o padrão LOM (*Learning Object Metadata*) (IEEE LTSC, 2002).

Um outro esforço no sentido do reuso e principalmente da interoperabilidade está na adoção da tecnologia de *Web Services*. Segundo (Hansen e Crespo, 2003), com o crescimento da Internet, surgem novas tecnologias para disponibilização de serviços e com eles a necessidade de tornar estes serviços interoperáveis e reutilizáveis.

Tem-se a perspectiva de utilizar *web services* na recepção de objetos de aprendizagem adaptados a necessidade momentânea do aluno e também no provimento dos objetos de aprendizagem conforme os critérios desejados pelo sistema cliente. Além disso, será verificada a viabilidade de construção de um *web service* para permitir a interoperabilidade entre a plataforma multiagentes FIPA e o protótipo desenvolvido. Isto porque grande parte das contribuições oriundas de trabalhos de mestrado e doutorado desenvolvidos do Grupo de Tecnologia Educacional do PGIE/UFRGS estão sendo direcionadas para FIPA.

Formas de representação alternativas para os algoritmos também podem ser incluídas em versões futuras do protótipo, a fim de permitir ao usuário construir um rascunho de sua solução em linguagem natural e após representá-la em linguagem formal. Isto fornecerá ao avaliador maiores indícios para compreender a natureza dos equívocos apresentados.

A construção de novos assistentes dotados de características inteligentes que possam aprimorar a identificação de perfis de alunos, identificando, por exemplo, estilos de programação para formação de equipes com afinidades em comum, e que possam fornecer informações auxiliares ao diagnóstico dos alunos apoiando a tomada de decisão seja do professor ou do STI, será também abordada como alternativa para trabalhos futuros. O uso de técnicas de *Knowledge Discovery* aplicadas à descoberta de padrões não triviais no registro das interações dos alunos (log) e nos códigos das questões solucionadas, e do raciocínio probabilístico como ferramenta auxiliar a tomada de decisão estão entre as mais prováveis abordagens a serem adotadas para construção destes assistentes.

Uma última perspectiva futura deste trabalho a ser explorada aqui está relacionada à inclusão de parâmetros afetivos na modelagem do aluno, no processo decisório e também na personagem de interface. Os trabalhos da área de Computação Afetiva (Picard, 1995), vem demonstrando que a emoção representa um importante papel na aprendizagem, e que modelos computacionais para tratamento das emoções são viáveis de serem aplicados em sistemas tutores inteligentes (Bercht, 2001; Jaques, 2004).

Desta forma, acredita-se que atributos afetivos que representem estados emotivos do aluno, possam ser incluídos no processo decisório do STI criando uma camada afetiva no modelo do aluno. Já a personagem da interface, pode ter seu perfil psicológico traçado e suas emoções internas representadas, influenciando assim na forma como interage com os alunos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem de inclusão do professor como parceiro de um sistema computacional de apoio a aprendizagem, principalmente na modalidade de STI, possibilita que alguns dos desafios tecnológicos que tradicionalmente dificultam a construção, adoção e popularização dos STI sejam endereçados de formas diferentes.

A concepção de STI para mediar aprendizagem dos alunos de forma autônoma, dá lugar a uma concepção onde as lacunas do processo de modelagem do aluno e de tomada de decisão podem ser identificadas e dirimidas pela participação do professor. Pode-se desta maneira aprimorar as formas de mediação realizadas envolvendo inclusive aspectos afetivos, que dificilmente são capturados pelas interfaces de sistemas.

Neste sentido, a teoria das EAM de Feuerstein constitui-se em uma abordagem que lida explicitamente com o componente afetivo da mediação de aprendizagem dos alunos através de critérios que buscam trabalhar a intencionalidade e reciprocidade das intervenções mediadoras, bem como o sentimento de competência dos alunos. Desta forma considera-se que esta teoria, além de fornecer subsídios para a tomada de decisão em STI, pode contribuir também para a modelagem e representação de aspectos afetivos em ambientes computacionais de apoio a aprendizagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, A.; Laurent, J. A system to debug students programs. *Journal of Artificial Intelligence*, N.6, 1980.
- AKHRAS, F.; SELF, J. Beyond intelligent tutoring systems: situations, interactions, processes and affordances. *Instructional Science*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2002.
- ALEXANDER, S. T. V. Emulating human tutor empathy. IIMS Postgraduate Conference, 2004, Albany, New Zealand. Disponível em: <<http://www.massey.ac.nz/~iimspg/conference/proceedings/12.pdf>>. Acesso em: mar. 2005.
- ALMEIDA, E.; COSTA, E.; SILVA, K.; PAES, R.; ALMEIDA, A.; BRAGA, J. AMBAP: um ambiente de apoio ao aprendizado de programação. Workshop de Educação em Computação, Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Florianópolis, 2002.
- ANDERSON, J.R.; LABIERE, C. *The Atomic Components of Thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 1998.
- ANDERSON, J. et al. Cognitive modeling and intelligent tutoring. *Artificial Intelligence*, Amsterdam, N.42, V.1, 1990.
- ANDERSON, J. et al. Cognitive tutors: lessons learned. *Journal of Learning Sciences*, N.4, 1995.
- ANDRADE, A.; VICARI, R. Construindo um ambiente de aprendizagem a distância inspirado na concepção sócio-interacionista de Vygotsky. *Educação On-line*, Loyola, São Paulo, 2003.
- ANDRADE, A.; GIRAFFA, L.; VICARI, R. Uma Aplicação da Teoria Sócio-interacionista de Vygotsky para Construção de um Modelo de Aluno. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Anais p. 553-562, Rio de Janeiro, 2003.

- AZEVEDO, R. Beyond intelligent tutoring systems: Using computers as METAcognitive tools to enhance learning?. *Instructional Science*, N. 30, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2002.
- BERCHT, M. Em direção a agentes pedagógicos com dimensões afetivas. Tese de Doutorado, Programa de Doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- BEYER, H. O. A abordagem psicossocial do desenvolvimento cognitivo Segundo Reuven Feuerstein: Um modelo teórico para o trabalho pedagógico com indivíduos portadores de dificuldades Cognitivas. *Revista Integração*, Ano 6, N. 15 Brasília, 1995.
- BEYER, H. O. O Fazer Psico-Pedagógico: A abordagem de Reuven Feuerstein a partir de Piaget e Vygotsky. Porto Alegre: Mediação Editora, 1996.
- BOCCA, E.; JAQUES, P.; VICARI, R. Modelagem e Implementação da Interface para Apresentação de Comportamentos Animados e Emotivos de um Agente Pedagógico Animado. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, V.1, N.2, 2003.
- BOEHM, B. A spiral model for software development and enhancement. *Computer*, vol. 21, N. 5, 1998.
- BONAR, J. C. R. BRIDGE: Tutoring the programming process. *Journal of Artificial Intelligence*, 1985.
- BRUSILOVSKY, P.; SCHWARZ, E.; WEBER, G. ELM-ART: An Intelligent Tutoring System on Wide Web. *Intelligent Tutoring Systems Conference*, Montreal, Canada, 1996.
- BULL, S. Student modeling for second language acquisition. *Computers Education*. Londres, V.23, N.1/2, 1994.
- BUTZ, C.; HUA, S.; MAGUIRE, B. A web-based intelligent tutoring system for computer programming. *IEEE/WIC/ACM Conference on Web Intelligence*

(WI04), 2004, China, Disponível em:
<<http://www.cs.uregina.ca/~butz/publications/wi04.pdf>>. Acesso em: fev. 2005.

CAILLOT, M. Modeling the students' errors in the ELECTRE tutor. SELF, J. A. Artificial Intelligence and human learning. London: Chapman and Hall, 1988.

CARBONE, A. KAASBOLL, J. A survey of methods used to evaluate computer science teaching. Proceeding of 6th annual Conference on the Teaching of Computing, Dublin, Ireland, 1998.

CARBONELL, J.R. AI and CAI: an artificial intelligence approach to computer-assisted instruction. IEEE Transactions on Man-Machine Systems, New York, V.11, N.2, 1970.

CASTRO, T.; CASTRO JÚNIOR, A.; MENEZES, C.; CURY, D.. Arquitetura SAAP: Sistema de Apoio à Aprendizagem de Programação. Workshop de Educação em Computação, Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Florianópolis, 2002.

CHANG, S. Computer Anxiety and perception of task complexity in learning programming-related skills. Computers In Human Behavior, 2004.

CHAVES, M.; Contribuições da Matemática para Alunos com Dificuldades de Aprendizagem. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

COSTA, E. (Ed.). New directions for Intelligent Tutoring Systems. Berlin: Springer-Verlag. 1992.

DA ROS, S. Z. Cultura e Mediação em Reuven Feuerstein Relato de um trabalho pedagógico com adultos que apresentam história de deficiência. Tese de Doutorado em Psicologia, PUC-SP, 1997.

DIJKSTRA, E. W. A short introduction to the art of programming. Technological University Endhoven, 1971.

- DU BOULAY, B.; SOTHCOTT, C. Computers teaching programming: an introductory survey of the field. *Artificial Intelligence in Education: learning environment and tutoring systems*, v. 6, 1987.
- EGGES, Arjan; KSHIRSAGAR, Sumedha; MAGNENAT-THALMANN, Nadia. A model for personality and emotion simulation. *Knowledge-Based Intelligent Information & Engineering Systems (KES2003)*. Disponível em: <<http://www.miralab.unige.ch/papers/162.pdf>>. Acesso em: fev. 2005.
- EL-KHOULY, M. M.; FAR, B. H.; KOONO, F. Z. Expert tutoring system for teaching computer programming languages. *Expert System with Applications*, New York, N. 18, 2000.
- ESMIN, A. A. A. Portugol/Plus: Uma Ferramenta de Apoio ao Ensino de Lógica de Programação Baseado no Portugol. IV Congresso da RIBIE, Brasília, 1998.
- EVARISTO, J.; CRESPO, S. Aprendendo a programar: programando numa linguagem algorítmica executável (ILA). Rio de Janeiro: Book Express, 2000.
- FALKEMBACH, G. Uma experiência de resolução de problemas através da estratégia ascendente. Tese de Doutorado, Programa de Doutorado em Informática na Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FEUERSTEIN, R. et al. Don't accept me as I am: helping retarded people to excel. New York: Plenum Press, 1985.
- FEUERSTEIN, R.; FEUERSTEIN, S. Mediated learning experience: a theoretical review. *Mediated Learning Experience (MLE): theoretical, psychosocial and learning implications*. London: Freund Publishing House Ltd., 1994.
- FEUERSTEIN, R. Early Detection: Blessing or Curse. *Approaches to Developmental and Learning Disorders - Theory and Practice*, 1997.
- FEUERSTEIN, R. The Theory of Mediated Learning Experience: About The Human as a Modifiable Being. Ministry of Defense Publications, Jerusalem, 1998.

- FEUERSTEIN, R. FEUERSTEIN, R.; FALIK, L. RAND, Y. The dynamic assessment of cognitive Modifiability. The ICELP Press, 2002.
- FEUERSTEIN, R. A Experiência de Aprendizagem Mediada: Um salto para a Modificabilidade Cognitiva Estrutural. Disponível on-line em: <<http://www.flem.org.br/pei/4.pdf>> Acesso em: jan. 2004.
- FRIGO, L.; POZZEBON, E.; BITTENCOURT, G. O Papel dos Agentes Inteligentes nos Sistemas Tutores Inteligentes. World Congress On Engineering And Technology Education, 2004, São Paulo, Disponível em <<http://www.inf.ufsc.br/~l3c/artigos/frigo04a.pdf>>. Acesso em: jun. 2004.
- GEYER, C.; RODRIGUES, A.; EMILIANO, J.; PEREIRA, A.; FERRARI, D.; OLIVEIRA, A. SEMEAI – Sistema multiagente de ensino e aprendizagem na internet. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, 2001, Disponível em <<http://www.inf.unilasalle.edu.br/semelai/sbie2001.ps>> Acesso em: jun. 2004.
- GILMORE, D. J. ; SELF, J. A. The application of machine learning to intelligent tutoring. SELF, John. A. (Ed.). Artificial Intelligence and human learning. London: Chapman and Hall, 1988.
- GIRAFFA, L. Linguagens de Programação. In: Dalcidio Claudio; Tiaraju Diverio. (Org.). Fundamentos de Matemática Computacional. Porto Alegre, 1987.
- GIRAFFA, L. OLIVEIRA, M. LEONARDO: máquina de auxílio à resolução de problemas. Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Florianópolis, 1995.
- GIRAFFA, L. Uma arquitetura de tutor utilizando estados mentais. Tese de Doutorado, Programa de Doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.
- GIRAFFA, L.; MARCZAK, S.; ALMEIDA, G. O Ensino de algoritmos e programação mediado por um ambiente Web. Workshop de Educação em Computação, Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Computação, Campinas, 2003.

- GIRAFFA, L.; MARCZAK, S.; PRIKLADNICKI R. PDS-E: Em direção a um processo para desenvolvimento de Software Educacional, Workshop de Informática na Escola, Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Computação, São Leopoldo, 2005.
- GOMES, C. M. A. Feuerstein e a Construção Mediada do Conhecimento. Porto Alegre: Artmed Editora, 2002.
- GOOD, J. BRNA, P. Program comprehension and authentic measurement: a scheme for analyzing descriptions of programs. *Journal of Human-Computer Studies*, V.61, 2004.
- GUILBERT, N. GIRARD, P. Teaching and learning programming with a programming by example system. *International Symposium of End User development*, Germany, 2003.
- GRAY, W.; GOLDBERG, N.; BYRNES, S. Novices Programming: Merely a difficult subject or means to mastering metacognitive skills? Review of Soloway & Spohrer's, Studying the novice programmer. *Journal of Educational Research on Computers*, V 9 (1), 1993.
- HANSEN, R.; Crespo, S. Construindo Ambientes de Educação Baseada na Web através de Web Services Educacionais. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Anais p. 65-74, Rio de Janeiro, 2003.
- ICELP - International Center for Enhancement of Learning Potential. Basic Theory. Disponível em: <http://www.icelp.org/asp/Basic_Theory.shtm> Acesso em: fev. 2004.
- IEEE LTSC (Learning Technology Standards Committee). Draft Standard for Learning Object Metadata, July 2002.
- JAQUES, P.; JUNG, J.; ANDRADE, A.; BORDINI, R.; VICARI, R. Using Pedagogical Agents to Support Collaborative Distance Learning in Computer Supported Collaborative Learning. *Proceedings of CSCL 2002*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.

- JAQUES, P. A. Using an animated pedagogical agent to interact affectively with the student. Tese de Doutorado. Programa de Doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- JOHNSON, W; SOLOWAY, E. PROUST: An automatic debugger for Pascal programs. Artificial Intelligence in Education: applications and methods. Addison Wesley. 1987.
- KANIEL, S., TZURIEL, D., FEUERSTEIN, R., BEN-SCHACHAR, N., EITAN, T. Dynamic assessment: Learning and Transfer Abilities of Ethiopian Immigrants to Israel. In FEUERSTEIN, R., KLEIN, P., TANNENBAUM, A. (Eds.). Mediated Learning Experience: Theoretical, Psychosocial, and Learning Implications. Tel Aviv and London: Freund, 1991.
- KAY, J.; KUMMERFELD, R. An Individualized Course for the C Programming Language, Second International WWW Conference 94 Mosaic and the Web, 1984.
- KINSHUK; TRETIAKOV, A.; HONG, H.; PATEL A. Human Teacher in Intelligent Tutoring System: A Forgotten Entity. Proceedings of IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Los Alamitos, 2001.
- KLEIN, P. S.; GAL-NIR O.; DAROM, E. The use of computers in kindergarten, with or without adult mediation; effects on children's cognitive performance and behavior. Computers in Human Behavior, N. 16, Elsevier Science, 2000.
- KOLIVER, C.; DORNELES, R.; CASA, M. Das (muitas) dúvidas e (pocas) certezas do ensino de algoritmos. Workshop de Educação em Computação, Anais do XXIV Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Salvador, 2004.
- KOZULIN, A. GRAB, E. Dynamic Assessment of EFL Text Comprehension of At-Risk students. 9th Conference of the European Association for research on Learning and Instruction. Switzerland, 2001.
- LACERDA, C. KOMOSINSKI, L. PACHECO, L. Uma Base Teórica para Construção de Sistemas RBC Educacionais. Congresso da rede Ibero-Americana de Informática na Educação, 1998.

- LATVA-KARJANMAA, Raija. Mediated Learning in Virtual Learning Environments. In International Conference Unlocking the Human Potential to Learn, Unevoc Canada, 2001.
- LESTA, L.; YACEF, K. An Intelligent Teaching-Assistant System for logic. In: International Conference On Intelligent Tutoring Systems, Biarritz, Spain, 2002.
- LESTER, J. C.; TOWNS, S. G.; CALLAWAY, C. B.; VOERMAN, J. L. Cosmo: A Life-like Animated Pedagogical Agent with Deictic Believability. In Working Notes of the IJCAI '97 Workshop on Animated Interface Agents: Making Them Intelligent, Nagoya, Japan, 1997.
- MARTINS, S.; CORREIA, L. O logo como ferramenta de auxiliar no desenvolvimento do raciocínio lógico – um estudo de caso. International Conference on Electrical and Computer Engineering, 2003.
- MARTINS, F. Anima Algo – Software de animação de algoritmos para auxílio ao ensino e entendimento da programação. Disponível em: <<http://www.uniube.br/uniube/cursos/graduacao/tpd/Disciplinas/rogerio/Projetos/AnimaAlgo.pdf>>. Acesso em: mar. 2004.
- MEDEIROS, C.; DAZZI, R.. Aprendendo algoritmos com auxílio da web. Congresso Brasileiro De Computação, Itajaí, 2002. Disponível em: <<http://cbcomp.univali.br/anais/pdf/2002/alg001.pdf>>. Acesso em: jan. 2005.
- MENDES, A. J. N. Software educativo para apoio à aprendizagem de programação. Taller Internacional de Software Educativo, 2001, Santiago. Disponível em: <http://www.c5.cl/ieinvestiga/actas/tise01/pags/charlas/charla_mendes.htm> Acesso em: maio de 2003.
- MENEZES, C. S.; NOBRE, I. A. M. Um ambiente cooperativo para apoio a cursos de introdução a programação. Workshop de Educação em Computação, Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Computação, Florianópolis, 2002.

- MIRANDA, E. M. Uma ferramenta de apoio ao processo de aprendizagem de algoritmos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- MORAN, J. M. Contribuições para uma pedagogia da educação online. Silva, Marco (Org.). Educação Online. São Paulo: Editora Loyola, 2003.
- MUNGUNSUKH, H.; CHENG, Z. An agent based programming Language learning support system. Proceeding of the IEEE International Conference of Computers in Education, 2002.
- MURRAY, T. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art. International Journal of Artificial Intelligence in Education, N. 10, 1999.
- OHLSSON, S. Some principles of intelligent tutoring. LAWER, R.; YAZDANI, M. (Eds) Artificial Intelligence and Education. – V. 1, Norwood: Ablex Publishing, 1987.
- ORTH, A. Algoritmos e Programação. Editora AIO, Porto Alegre, 2001.
- PAIVA. A.; SELF, J. On the dynamics of learner Models. ECAI 94 11th European Conference on Artificial Intelligence. John Wiley ; Sons, 1994.
- PEA, R. Language-Independent Conceptual “bugs” in novice programming. Journal of educational Computing Research, V.2 (1), 1986.
- PICARD, R. Affective Computing. M.I.T. Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report N. 321, 1995.
- PIMENTEL, E.; FRANÇA, V.; NORONHA, R.; OMAR, N. Avaliação Contínua da Aprendizagem, das Competências e Habilidades em programação de Computadores. Workshop de Informática na Escola, Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Computação, 2003.
- RAABE, A. L. A.; SILVA, J.M. Um Ambiente EaD para promover Experiências de Aprendizagem Mediadas em uma Disciplina Presencial, Revista Informática na Educação Teoria e Prática, V.8, N.1, Porto Alegre, 2005 (a ser publicado).

- ROCHA, Heloísa. O uso da linguagem Logo em um curso de Introdução a Programação de Computadores para alunos Ingressantes no Bacharelado de Ciência da Computação. Publicação do NIED Unicamp: Campinas, 1988.
- RODRIGUES Jr., M. C. Experiências positivas para o ensino de algoritmos. Workshop de Educação em Computação e Informática, Salvador, 2004. Disponível em: <<http://www.uefs.br/erbase2004/documentos/weibase/Weibase2004Artigo001.pdf>>. Acesso em: jan. 2005.
- SANTIAGO, R.; DAZZI, R. Ferramenta de apoio ao ensino de algoritmos, Anais do Seminário de Computação (Seminco), Blumenau, 2004.
- SARMENTO, D.F. A Teoria da Modificabilidade Cognitiva Estrutural: Pressupostos Teóricos e Metodológicos. Revista da AOERGS, Porto Alegre. Ano 6, N 4, 2002.
- SELF, J. Bypassing the intractable problem of student modeling. In C. Frasson and G. Gauthier (eds.) Intelligent Tutoring systems: at the crossroads of artificial Intelligence and education, Norwood, 1990.
- SELF J. A Formal approach to student modeling, in McCalla, G. I.; GREER J. (eds) Student modeling. Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- SELF, J. Grounded in Reality: The infiltration of AI into Practical Educational Systems. Artificial Intelligence In Educational Software. IEE Colloquium, 1998.
- SELF, J. The defining characteristics of intelligent tutoring systems research: ITS care, precisely. In: International Journal of Artificial Intelligence In Education. V. 10, 1999.
- SETÚBAL, J. Uma proposta de plano pedagógico para matéria Computação e Algoritmos. Anais do II Curso de Qualidade de cursos de graduação da área de Computação e Informática, Curitiba, 2000.
- SILVA, J.M.; RAABE, A. L. A.; Um Ambiente para Atendimento as Dificuldades de Aprendizagem de Algoritmos, Workshop de Educação em Computação (WEI), Congresso Anual da Sociedade Brasileira de Computação, São Leopoldo, 2005.

- SKUY, M.; MENTIS, M.; DURBACH, F.; COCKCROFT, K.; FRIDJHON, P.; MENTIS, M. Cross cultural Comparison of Effects of FIE on Children in a South African Mining Town. *School Psychology International*, 16(3): 265-282, 1995.
- SONG, J. et al. An Intelligent Tutoring System for Introductory C Language Course, *Computers & Education Magazine*, V. 28, N. 2, 1997.
- SOUTO, M. Diagnóstico on-line do Estilo Cognitivo de Aprendizagem do Aluno em um Ambiente Adaptativo de Ensino e Aprendizagem na Web: uma Abordagem Empírica baseada na sua Trajetória de Aprendizagem. Tese de Doutorado, Programa de Doutorado em Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.
- SYKES, E.; FRANEK, F. An Intelligent Tutoring System prototype for learning to program java. In: *IEEE International Conference On Advanced Learning Technologies*, Atenas, Grécia, 2003.
- TOBAR, C.; ROSA, J.; COELLO, J.; PANNAIN, R. Uma arquitetura de ambiente cooperativo para o aprendizado de programação. *Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Vitória, 2001.
- TRIBUS, M. FALIK, L. Mediating the development of Character Through Mediated Learning Experience. Disponível em: <<http://www.icelp.org>> Acessado em: Mar 2004.
- TZURIEL, D. Cognitive modifiability, Mediated Learning Experience, and affective-motivational processes: a transactional approach. *Mediated Learning Experience (MLE) theoretical, psychosocial and learning implication*. London: Freund Publishing House Ltd., 1994.
- VICARI, Rosa Maria; GIRAFFA, Lúcia Maria Martins. Fundamentos dos Sistemas Tutores Inteligentes. BARONE, Dante (Org). *Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência das máquinas*. Porto Alegre: Bookman, 2003.
- VICARI, Rosa Maria. OLIVEIRA, Flavio Moreira de. *Sistemas tutores inteligentes*. Porto Alegre UFRGS, 1992.

- VICARI, Rosa Maria. Um tutor inteligente para a programação em lógica: idealização, projeto e desenvolvimento. Coimbra: Tese de doutorado, Universidade de Coimbra, Coimbra, 1989.
- VICENTE, Angel de. Towards tutoring systems that detect students' motivation: an investigation. Tese de Doutorado. Institute for Communicating and Collaborative systems, University of Edinburgh, Edinburgh, 2003.
- VIKKI, F.; WIEDENBECK, S. An Intelligent Tool to Aid Students in Learning Second and Subsequent Programming Languages, Computers & Education Magazine, vol. 27, no. 2, 1996.
- YACEF, K. Intelligent Teaching Assistant Systems, IEEE International Conference On Computers In Education, New Zealand, 2002.
- YACEF, K. Experiment and Evaluation Results of the Logic-ITA. Technical Report Number 542. School of Information Technologies, Sydney, 2003.
- YOUNG, M.; DEPALMA, A.; GARRET, S. Situations, interaction, process and affordances: An ecological psychology perspective. Instructional Science, N. 30, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2002.
- WIEDEMBECK, S. Novice comprehension of small programs written in the procedural and object oriented styles. Journal of Human computer Studies, V. 51, 1999.
- WILEY, D. A. Learning Object Design And Sequencing Theory, PhD Thesis, Department of Instructional Psychology and Technology, Brigham Young University, 2000.
- ZIVIANI, N. Projeto de Algoritmos. Pioneira Thomson learning, São Paulo, 2004.

ANEXO I

Tabela 9 - Unidades e conceitos da disciplina introdutória de Algoritmos

Unidades de Aprendizagem	Conceitos
1. Conceitos Fundamentais	1.1. Conceito de Lógica e de Algoritmos
	1.2. Como o Computador entende e executa os Programas
	1.3. Ferramentas de representação de Algoritmos
2. Representação de Dados	2.1. Tipos
	2.2. Variáveis
	2.3. Constantes
3. Operações	3.1. Operações Aritméticas
	3.2. Divisões Inteiras
	3.3. Operações Relacionais
	3.4. Operações Lógicas
	3.5. Prioridade de operadores
	3.6. Testes Lógicos
4. Instruções Primitivas	4.1. Atribuição
	4.2. Saída de Dados
	4.3. Entrada de Dados
	4.4. Algoritmos Sequenciais
5. Desvio Condicional	5.1. Desvio Condicional Simples
	5.2. Desvio Condicional Composto
	5.3. Desvio Condicional Aninhados
	5.4. Condições excludentes e não excludentes
6. Laços de Repetição	6.1. Laço com teste lógico no início
	6.2. Contadores
	6.3. Somadores
	6.4. Laço com teste lógico no final
	6.5. Laço com variável de controle
7. Tipos Compostos	7.1. Vetores
	7.2. Matrizes
	7.3. Estruturas
8. Modularização	8.1. Procedimentos
	8.2. Funções
	8.3. Passagem de Parâmetros
	8.4. Escopo de variáveis

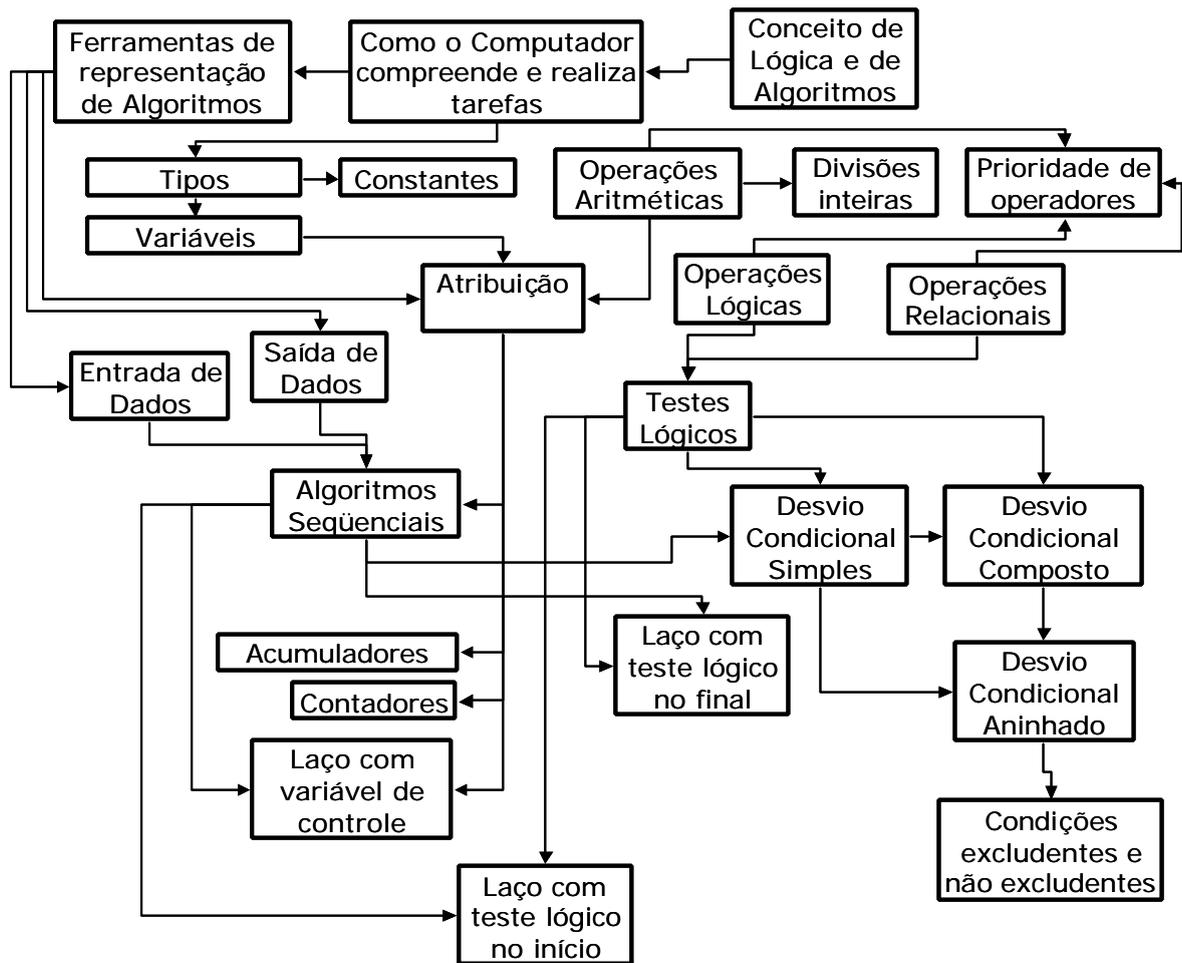


Figura 20 - Diagrama dos conceitos da disciplina de Algoritmos

ANEXO II

DOCUMENTAÇÃO DO SISTEMA