

# Um Assistente Inteligente Fuzzy no Acompanhamento da Aprendizagem Significativa

Vandor Roberto Vilardi Rissoli<sup>1</sup>, Giovanni Almeida Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Católica de Brasília (UCB)  
QS07 Lote 01 EPCT - fone: 61 33569306 - 72002-900 Taguatinga – DF

<sup>2</sup> Universidade de Brasília (UnB) – Faculdade Gama  
Área Especial 2 Lote 14 Setor Central - fone: 61 3484 3443 - 72405-610 Gama – DF

Apoio: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

vandor@ucb.br, giovannix@unb.br

**Abstract.** *This work shows one different architecture of Intelligent Tutoring System that include other human agents in collaboration with one Intelligent Assistant in the teaching process and learning. This process incorporated the Fuzzy Logic like the resource of followed educational methodology based in Subsumption Theory, using the Concept Maps as organized elements from the contents applied domain, reaching its prototype, promising results.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta uma arquitetura diferente de Sistema Tutor Inteligente que inclui outros agentes humanos na colaboração com um Assistente Inteligente no processo de ensino e aprendizagem. Este processo incorpora a Lógica Fuzzy como recurso de acompanhamento da metodologia educacional baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa, usando os Mapas Conceituais como elementos organizadores do conteúdo do domínio da aplicação, alcançando, seu protótipo, resultados promissores.*

## 1. Introdução

A evolução e a capacidade de adaptação dos recursos tecnológicos vem colaborando com as reflexões pedagógicas de âmbito educacional, ajudando a promover novas posturas e condutas na efetivação de um ensino-aprendizagem mais coerente às características atuais da sociedade e as necessidades específicas de cada área de conhecimento, assim como de seus discentes e docentes envolvidos neste processo. Essa relação tem se consolidado de tal forma que alguns pesquisadores a interpretam de maneira muito expressiva, como na afirmação de Lopes (2010) dizendo que os "*termos ensino e tecnologia estão intimamente ligados*".

Essa relação "intensa" vem aumentando nas últimas décadas, onde o auxílio da tecnologia tem ampliado seu apoio, anteriormente focado no aprendiz, para um suporte mais significativo ao processo e aos principais envolvidos com a realização adequada do ensino-aprendizagem.

Diante desta realidade os recursos tecnológicos têm subsidiado a implementação de metodologias capazes de personalizar este processo às principais necessidades dos

diferentes perfis de indivíduos envolvidos, procurando, cada vez mais, efetivar o ensino que almeja a aprendizagem como principal fator de sucesso.

Para isso, torna-se fundamental o acompanhamento de todo o processo e não somente os resultados alcançados nos momentos de avaliação. Geralmente, estas avaliações encerram um ciclo de estudo que poderia ter alcançado resultados melhores se orientações adequadas tivessem acontecido em sintonia com estes momentos da aprendizagem de cada estudante.

A possibilidade deste acompanhamento mais detalhado e personalizado às características de cada aprendiz, contribui com o processo de avaliação, seja este mais Formativo, Somativo ou de Diagnóstico [Gonçalves et al. 2009].

Embora tal acompanhamento seja relevante à formação de cada aprendiz, geralmente, ele acontece por meio da sobrecarga de trabalho do perfil docente (professores), inclusive quando tecnologias são utilizadas sem a preocupação com o objetivo de cada processo e a capacidade de assistência de cada indivíduo envolvido.

Esta situação tem promovido a difusão da tecnologia ITA (*Intelligent Teaching Assistant*) nas diferentes modalidades de ensino (presencial, semipresencial e a distância), almejando maior assistência a todos os envolvidos neste processo de formação, agilidade no acesso às informações estratégicas e relevantes à tomada de decisão, além do fornecimento de orientação pedagógica mais condizente com a situação cognitiva de cada aprendiz, sem sobrecarregar as atividades docentes.

Este trabalho propõe a integração desta tecnologia (ITA) com a Teoria dos Conjuntos Fuzzy, que será aplicada no acompanhamento contínuo da aprendizagem de cada estudante. Por meio desta teoria será possível expressar, matematicamente, valores imprecisos e incertos, que são significativos e bastante utilizados na comunicação natural entre os seres humanos (linguagem natural) [Nicoletti e Camargo 2004].

Dessa forma, se almeja avaliar o conteúdo assimilado por cada estudante durante seu processo educacional, além de fornecer assistência necessária a uma possível mudança de postura do aprendiz, assim como do professor, conforme sejam as necessidades momentâneas ao sucesso de cada perfil na efetivação coerente deste processo. Isso pode acontecer sem aumentar o comprometimento das atividades docentes, apesar do maior nível de personalização às necessidades de cada perfil (discente e docente) participante deste processo.

Este artigo está organizado em 6 seções. Na seção 2 é sintetizado o envolvimento dos Sistemas Tutores Inteligentes e o ITA na Educação. Na seção 3 são abordados os conteúdos fundamentais da Teoria da Aprendizagem Significativa e a proposta de um ITA usando Lógica Fuzzy no acompanhamento do ensino-aprendizagem mediado por esta tecnologia. Na seção 4 são mostrados alguns resultados promissores alcançados num experimento envolvendo um protótipo ITA, sendo na seção 5 apresentadas as considerações finais. As referências bibliográficas são relacionadas na seção 6.

## **2. Softwares Inteligentes no Apoio da Educação**

A realidade das diversas comunidades terrestres (povos) é diferente em vários aspectos (cultura, economia, educação, língua, etc.), no entanto, todas estas comunidades sofrem, direta ou indiretamente, a interferência das tecnologias usadas pela sociedade atual.

Apesar de uma variedade enorme destes recursos tecnológicos, a evolução dos softwares educacionais merece certa atenção, principalmente por sua evolução e demanda contínua de novos recursos que possam satisfazer as necessidades das várias áreas de conhecimento. O uso destes recursos na Educação ainda se destaca pelo volume de usuários e investimentos de alguns países, além da aplicação de tecnologias "inteligentes" provenientes da Inteligência Artificial (IA).

Dentre estes softwares, se destacam, neste trabalho, os Sistemas Tutores Inteligentes (STI). Sua tecnologia é proveniente da década de 70, quando pesquisadores desta nova área de conhecimento (IA) se entusiasmavam com as novas perspectivas almejadas pela IA [Giraffa 2009].

Em sua evolução, os STI se consolidaram como uma arquitetura modular responsável pelo fornecimento de um ambiente interativo que contemplava os conteúdos ou domínios de estudo para os aprendizes, o armazenamento das informações resultantes da interação de cada estudante com o sistema e os aspectos pedagógicos que forneciam a direção mais adequada à realidade da aprendizagem de cada aprendiz. Um módulo de controle propiciava a interação entre estes outros módulos e gerenciava a interação individual do STI com cada um de seus aprendizes.

As características particulares de cada área de conhecimento promoveram algumas modificações ou extensões a esta arquitetura consolidada, também chamada de tradicional, gerando uma quantidade expressiva de variações desta arquitetura.

Essas variações possibilitaram a adaptação desta arquitetura a uma diversidade de necessidades, geralmente, bem específicas e inerentes a algumas áreas de conhecimento. No entanto, algumas dificuldades ainda não foram superadas por este tipo de software, o que tem limitado seu maior uso em cenários acadêmicos e profissionais.

Dentre estas dificuldades se destaca a incapacidade dos atuais recursos de hardware coletarem alguns tipos de dados relevantes ao reconhecimento de características individuais da situação cognitiva de seus aprendizes, podendo isso resultar na modelagem incompleta de alguns aprendizes pelo STI. Consequentemente a orientação pedagógica fornecida por este sistema poderá ser inadequada a real situação detectada.

Essa realidade ressalta ainda mais a grande capacidade de observação sensitiva dos seres humanos, que conseguem captar várias informações relacionadas a esta situação de aprendizagem, podendo usar delas para inferir, de forma mais segura e completa, sobre quando e qual estratégia educacional usar nos diferentes momentos que cada estudante possa estar durante sua jornada de aprendizagem [Vicari e Giraffa 2003].

Diante desta constatação, o envolvimento de mais agentes humanos (monitores e professores), participantes deste processo e como novos usuários do STI, contribuiriam com a realização de uma inferência mais completa por parte deste sistema, que, em contrapartida, poderia subsidiar as atividades destes agentes com o fornecimento de dados resultantes da interação do STI com seus aprendizes.

Estas novas características em um software educacional, que se preocupa com o processo de ensino e assiste a aprendizagem de seus estudantes, auxiliando a atuação de seus diferentes colaboradores humanos (monitores e professores), é identificada por

uma outra tecnologia, atualmente denominada de Assistentes Inteligentes (ITA-*Intelligent Teaching Assistant*).

A arquitetura ITA compreende os módulos do STI, agregando a estes responsabilidades de assistência aos colaboradores humanos envolvidos, diretamente, com o ensino-aprendizagem. Isso amplia suas alternativas de interação e propicia a participação destes agentes humanos nos diagnósticos efetuados por seus módulos, inclusive, permitindo a orientação do docente no seu módulo de controle [Yacef 2002].

Esta tecnologia procura realizar tarefas mais simples, voltadas às atividades essenciais ao acompanhamento personalizado de cada aprendiz e à assistência adequada das possíveis necessidades de seus agentes humanos colaboradores. A arquitetura ITA não trabalha com modelos tão complexos, mas provê uma interface de interação entre estes colaboradores, capazes de coletarem e compartilharem informações mais completas sobre a situação da aprendizagem dos estudantes, e os seus recursos de assistência e orientação baseados nas interações realizadas por estes estudantes e nas posturas educacionais implementadas em seu módulo pedagógico.

Geralmente, os assistentes artificiais (ITA) não adotam estratégias invasivas, se mantendo em uma conduta baseada na ideia de monitoramento de seus aprendizes. Assim, o ITA os assiste e acompanha seus resultados, sem efetuar muitas intervenções, possibilitando maior liberdade de escolha na construção de um caminho mais confortável de aprendizagem para cada estudante. A postura deste assistente, quando solicitada pelo aprendiz, procura incentivar o uso coerente dos recursos disponíveis em seu próprio ambiente, deixando o estudante também refletir sobre suas escolhas e resultados obtidos com o estudo e as atividades que foram realizadas durante sua trajetória de aprendizagem.

Esta junção de recursos, reais (agentes humanos) e artificiais (ITA), procura promover um processo educacional personalizado às características de cada perfil envolvido na eficiência do processo de assimilação dos estudantes engajados no êxito de sua própria aprendizagem. Sendo vários estes recursos, tecnológicos e humanos (docentes, monitores), ressalta-se, ainda mais, a necessidade de uma postura pedagógica harmônica entre todos eles, a fim de direcionar um apoio eficiente, com uma conduta didático-pedagógica adequada à superação de possíveis dificuldades na aprendizagem de cada estudante.

Tal harmonia é alcançada através da adoção de metodologias pedagógicas por todos estes recursos, sendo sua definição o aspecto mais importante à elaboração e uso de um ITA. Por meio destas metodologias será possível acompanhar e avaliar a ação destes recursos de apoio e a possível evolução da aprendizagem de cada estudante.

Diante destes estudos, é proposta a elaboração de um ITA que integra a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), aplicada no âmbito educacional como uma metodologia de aprendizagem, com uma lógica multivalorada, denominada Lógica Fuzzy, que possibilita o acompanhamento gradual da situação de aprendizagem de cada estudante, sendo esta fundamentada pela Teoria dos Conjuntos Fuzzy.

### **3. Assistente Inteligente Fuzzy no Apoio à Aprendizagem Significativa**

Os aspectos comuns à TAS e à tecnologia ITA atendiam aos objetivos almejados por esta proposta que utilizou o arcabouço conceitual da TAS como direcionador da

modelagem proposta para o desenvolvimento deste novo software educacional, denominado SAE (Sistema de Apoio Educacional).

Dentre as principais características desta metodologia se destaca o reconhecimento da individualidade no processo de assimilação e construção do conhecimento na estrutura cognitiva dos aprendizes. Tal construção ocorre por meio do processo de subsunção, onde os conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva de um aprendiz (conceitos subsunçores) incorporam, progressivamente, novas ideias e informações a esta estrutura, promovendo assim sua aprendizagem [Ausubel et al. 1980].

Esta teoria define a mente humana como uma estrutura hierárquica muito bem organizada, estando as ideias mais inclusivas no topo desta hierarquia, que por meio da associação de novos conteúdos promove o aumento de seus conhecimentos estabelecidos.

Além do atendimento personalizado às necessidades de cada aprendiz, esta proposta ainda objetiva satisfazer as possíveis necessidades dos agentes humanos (docentes e monitores) participantes deste processo. Para isso lhes serão fornecidos subsídios significativos sobre o estado cognitivo de cada aprendiz, suas atividades realizadas nos momentos de interação com o ITA e com os monitores estudantis, além das orientações pedagógicas fornecidas pelo professor e por este assistente inteligente.

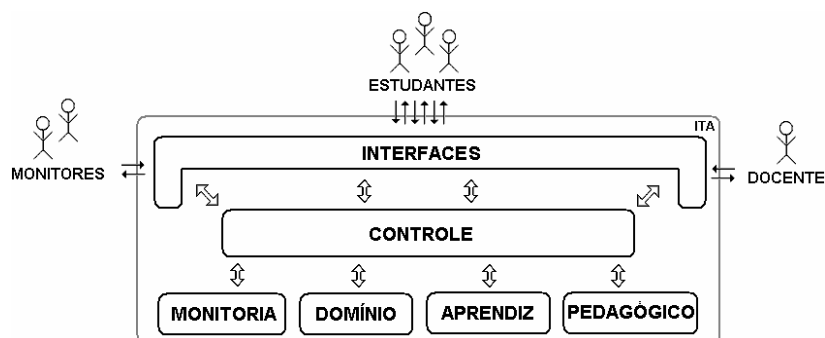
No entanto, a análise para o acompanhamento deste ensino-aprendizagem não é adequada aos objetivos desta proposta, que deseja acompanhar a realidade da situação cognitiva de cada estudante em qualquer momento deste processo.

Uma variedade de trabalhos tem utilizado a Lógica Fuzzy no acompanhamento do ensino-aprendizagem. Em Fabri (2002), é apresentada uma solução que acompanha o desempenho dos alunos em cursos a distância, existindo somente dois conjuntos fuzzy para esta apuração (Satisfatório e Insatisfatório), que é efetuada somente sobre aspectos quantitativos dos exercícios resolvidos (certos e errados). Lopes (2010) apresenta uma outra solução mais ampla em sua análise para educação a distância, mas não envolve uma metodologia de aprendizagem e se mantém num nível alto de acompanhamento de todo o conteúdo, sem identificar em qual conceito, ou tópico deste conteúdo, o aprendiz está com dificuldade, impossibilitando ao software uma orientação bem direcionada.

Contudo, Malvezzi (2010) conclui em sua pesquisa que o emprego desta Lógica, sobre dados educacionais imprecisos, lhe possibilitou "*materializar algo tão abstrato que é o nível de evolução da aprendizagem do estudante*".

Dessa forma, propõe este trabalho a integração de um acompanhamento fuzzy com a TAS, que será incorporada como metodologia direcionadora ao desenvolvimento e uso deste novo ITA. Esta implementação conjunta (TAS e ITA) envolverá um número maior de variáveis linguísticas na averiguação de cada conceito que constitua um conteúdo a ser assimilado pelos aprendizes, respeitando os aspectos estruturantes e organizacionais propostas pela TAS.

A arquitetura destes ITA está representada na Figura 1 e engloba um novo módulo de interação entre os monitores estudantis e este assistente inteligente. Por meio deste módulo o ITA coleta mais dados resultantes da interação humana, não obtidos por suas tecnologias atuais, aumentando seu "conhecimento" sobre o estado cognitivo de cada estudante que é atendido por esta monitoria [Rissoli e Santos 2010].



**Figura 1. Representação da arquitetura desta nova proposta ITA denominada SAE.**

Estes monitores são estudantes mais experientes que colaboram com a aprendizagem de estudantes novatos na exploração dos conteúdos que lhes sejam relevantes ao atual momento de sua assimilação. Tal atendimento acontece fora do horário de aula (extraclasse) e propicia um momento, usualmente, mais tranquilo para interação entre estes estudantes (experiente e novato) e o conteúdo a ser aprendido.

A atividade desta monitoria envolve uma outra metodologia de aporte aos agentes envolvidos neste processo de apoio educacional e ao ITA, sendo ela fundamentada nos aspectos principais da pedagogia proposta por Pestalozzi [Lopes 1981].

Em Viccari e Giraffa (2003), é apresentado uma outra dificuldade ao aumento do uso dos STI, que, geralmente, implementam somente uma postura pedagógica a ser utilizada pelo sistema. Esta proposta ITA se fundamenta nos pressupostos da TAS, podendo atender a várias outras metodologias, principalmente, aquelas voltadas à organização do raciocínio e à solução de problemas. Sua concepção de uso ainda incorpora os pressupostos essenciais à proposta de Pestalozzi sobre o recurso de apoio educacional conhecido, atualmente, como Monitoria Estudantil.

Estas possibilidades pedagógicas enriquecem as expectativas de atuação coerente deste ITA, sendo ele um software baseado em conhecimento com capacidade de ensinar e aprender, continuamente, por meio da interação dos seus diferentes perfis de usuários. Tal expectativa se almeja alcançar com o uso da Lógica Fuzzy no acompanhamento de todo o processo assistido pelo ITA, em colaboração com os demais agentes humanos.

### **3.1 Modelo de Acompanhamento Fuzzy**

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy (TCF) surgiu na década de 60, tendo como principal objetivo efetuar um tratamento matemático apropriado sobre certos termos linguísticos subjetivos. Por meio desta teoria torna-se possível a realização de análises e cálculos sobre informações vagas ou imprecisas, tais como "bom" ou "fraco".

Esta análise se fundamenta na flexibilização da pertinência de cada elemento num conjunto, sendo ela indicada por meio de um grau de pertinência que varia no intervalo  $[0,1]$ . Nos conjuntos convencionais esta pertinência é definida pela enumeração de seus elementos ou por meio de uma função característica, que identifica ou não, de maneira excludente, a pertinência de tal elemento no conjunto.

Na TCF esta pertinência não é excludente e radical, onde o elemento pertence ou não pertence ao conjunto, podendo o mesmo pertencer, parcialmente, a um dado

conjunto. Assim, para se modelar matematicamente este conjunto, esta teoria propõe a definição dos conjuntos fuzzy, que consistem na generalização da noção de conjuntos, na qual uma função de pertinência identifica o grau corresponde à pertinência de qualquer possível elemento no conjunto [Nicoletti e Camargo 2004].

A obtenção deste grau expressa, numericamente, a pertinência de informações imprecisas em determinados conjuntos, por meio de suas respectivas funções de pertinência. A definição destas funções é essencial ao tratamento fuzzy, pois representa o conhecimento e a experiência de especialistas em determinados domínios ou conteúdos.

A utilização desta teoria possibilita a identificação de pontos importantes a serem acompanhados durante o processo de aprendizagem de cada estudante, independente deles possuírem características imprecisas à sua apuração.

Esta identificação resultará na definição das variáveis linguísticas que possibilitarão o acompanhamento destes pontos pelo ITA, sendo elas formuladas por uma equipe multidisciplinar formada pelos docentes relacionados com a área de conhecimento do conteúdo envolvido nesta aprendizagem, além de especialistas em Educação, Matemática e Computação.

A apuração dos possíveis valores a serem atribuídos a estas variáveis indica o potencial de interferência de cada uma nos resultados alcançados por esta aprendizagem, sendo realizada sobre cada um dos conceitos, ou itens de estudo, pertencentes a um conteúdo a ser assimilado.

Para cada uma destas variáveis, indicadas na Tabela 1, são definidos os possíveis termos linguísticos, que lhes serão atribuídos mediante a aplicação de suas respectivas funções de pertinência. Estas funções calcularão os graus de pertinência de cada termo, lhes confiando um nível de intensidade sobre tal pertinência no conjunto fuzzy que retrata a realidade de cada uma destas variáveis.

**Tabela 1. Variáveis e termos linguísticos utilizados por este ITA.**

ENTRADA			S A Í D A
<b>ESFORÇO</b>	<b>DESEMPENHO</b>	<b>PARTICIPAÇÃO</b>	<b>RESULTADO</b>
<b>Baixo</b> função pertinência: $-1/10x + 1$	<b>Fraco</b> função pertinência: $1,1^{-x}$	<b>Não Participou</b>	<b>Satisfatório</b> função pertinência $8^{\circ}$ grau
<b>Médio</b> função pertinência: $x / 7$ para $0 \leq x \leq 7$ $-1/3x + 10/3$ para $7 < x \leq 10$	<b>Razoável</b> função pertinência: $-1/47 x^2 + 14/51x$	<b>Participou</b>	<b>Insatisfatório</b> recebe grau máximo quando conceito é insatisfatório
<b>Alto</b> função pertinência: $x / 10$	<b>Bom</b> função pertinência: $1,09^{(x - 10)}$	<b>Contribuiu</b>	-

Nesta proposta sintetizada na Tabela 1 são identificadas três variáveis de entrada (Esforço, Desempenho, Participação) e uma de saída (Resultado), resultante da inferência fuzzy realizada pelo ITA durante o acompanhamento da aprendizagem de cada conceito por cada estudante usuário desta tecnologia.

Na variável linguística denominada **Esforço** é analisado, quantitativamente, o número de exercícios resolvidos e a quantidade de visitas que cada estudante efetuou na monitoria estudantil, envolvendo ainda os metadados relacionados ao conteúdo, mais

especificamente, a sua organização em conceitos que serão assistidos pelo ITA. Seus possíveis termos linguísticos e suas respectivas funções de pertinência, também estão definidas na Tabela 1.

A atuação da monitoria junto aos estudantes é analisada, de maneira direta, por esta variável linguística (**Esforço**). No entanto, a atuação dos monitores interfere, indiretamente, no resultado apurado pela variável **Desempenho**, além de fornecer mais informações ao acompanhamento docente, por meio do acesso ao ambiente virtual deste ITA.

A análise da variável **Desempenho** é qualitativa e envolve o resultado obtido na solução da quantidade de exercícios apurados pela variável **Esforço**. Esta nova variável também respeita os metadados organizacionais de cada conteúdo que o ITA irá assistir, principalmente, a organização hierárquica de cada conceito contido neste conteúdo, respeitando, assim, um dos principais aspectos estruturantes estabelecidos pela TAS.

A definição destes metadados consiste na forma pela qual os docentes, de um mesmo conteúdo (disciplina), direcionarão o acompanhamento e a orientação pedagógica do ITA aos seus aprendizes, onde Mapas Conceituais são elaborados a fim de organizarem os conceitos contidos em um conteúdo, respeitando os principais pressupostos da TAS [Novak 1998].

A análise que apura o valor da variável **Desempenho** acontece sobre a quantidade de exercícios certos e errados resolvidos, distribuindo, para cada um deles, um peso diferente que respeita as características relacionadas ao tipo de questão, nível de dificuldade e categoria do exercício. Estes pesos fazem parte do que poderia ser chamado de metadados dos exercícios elaborados pelos professores e utilizados pelo ITA em interação com os aprendizes. A indicação destas definições está na Tabela 2.

**Tabela 2. Definições para análise qualitativa da variável linguística Desempenho.**

<b>TIPO DE QUESTÃO (30%)</b>	<b>NÍVEL DE DIFICULDADE (40%)</b>	<b>CATEGORIA DA QUESTÃO (30%)</b>
Verdadeiro ou Falsa (peso 1,3)	Fácil (peso 2)	Revisão (peso 2,5)
Múltipla Escolha (peso 1,8)	Médio (peso 3)	Fixação (peso 3,5)
Escolha Múltipla (peso 2,3)	Difícil (peso 5)	Avaliativa (peso 4,0)
Lacuna (peso 1,8)	-	-
Aberta/Dissertativa (peso 2,8)	-	-

Para a análise da terceira variável linguística, denominada **Participação**, este ITA averiguará a participação de cada aprendiz nas atividades interativas propostas pelo docente. Estas atividades poderão acontecer por meio de fóruns ou chats (bate papo) envolvendo assuntos relacionados aos conceitos pertinentes a cada conteúdo acompanhado pelo ITA.

No entanto, esta análise não acontece por conceitos existentes em um conteúdo, diferentemente das duas variáveis anteriores, mas sobre o nível de interação efetivada por cada estudante nestas oportunidades interativas onde há troca de experiências, esclarecimentos de dúvidas e colaboração entre os aprendizes e professores na superação de possíveis dificuldades de assimilação. A Tabela 3 sintetiza os principais aspectos relacionados a esta variável e seus possíveis termos linguísticos.

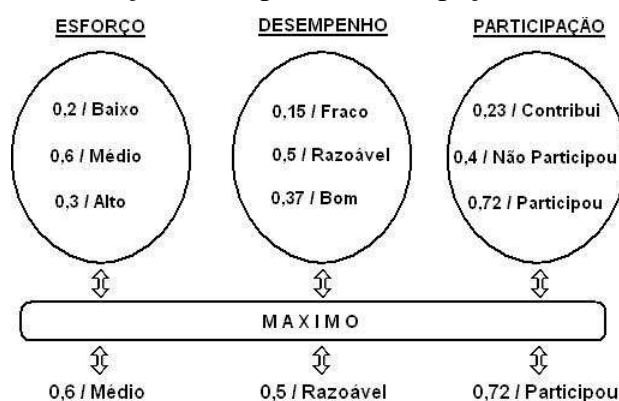


**Tabela 3. As principais definições da variável linguística Participação.**

TERMO	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA
<b>Não Participou</b>	$n = \begin{cases} 0 & \text{se } x \geq 1,013725668; \\ 0,5 + \frac{x-0,0001}{-0,24975 + \frac{x-0,1}{-0,5216481528+0,007494661219x}} & \text{se } x < 1,013725668. \end{cases}$
<b>Participou</b>	$p = \begin{cases} 1,855726754x + 14,42732455x^3 & \text{se } x < 0,1; \\ -0,0288546492 + 2,288546492x + 4,32819736642954478(x-0,1)^2 - 12,62390899(x-0,1)^3 & \text{se } x < 0,5; \\ 1,154185964 - 0,3083719287x - 10,8204934160738606(x-0,5)^2 + 39,04212707(x-0,5)^3 & \text{se } x < 0,6; \\ 1,680724081 - 1,301206801x + 0,892144695020432810(x-0,6)^2 - 0,347819232(x-0,6)^3 & \text{se } x < 1; \\ 1,254444276 - 0,7544442763x + 0,47476161646738313(x-1)^2 - 0,1203173402(x-1)^3 & \text{se } x < 2; \\ 0,4317461278 - 0,1658730639x + 0,11380959588315423(x-2)^2 - 0,03793653197(x-2)^3 & \text{se } x \leq 3,187286476; \\ 0 & \text{se } x > 3,187286476. \end{cases}$
<b>Contribui</b>	$c = \begin{cases} 0 & \text{se } x < 0,08386381483; \\ -0,05197573162 + 0,6197573162x - 0,1234832263(x-0,1)^3 & \text{se } x < 0,5; \\ -0,0302426838 + 0,5604853676x - 0,148179871520342593(x-0,5)^2 - 0,02558172733(x-0,5)^3 & \text{se } x < 1; \\ 0,0968807994 + 0,3931192006x - 0,186552462526766605(x-1)^2 + 0,05343326193(x-1)^3 & \text{se } x < 2; \\ 0,3893718772 + 0,1803140614x - 0,0262526766595289097(x-2)^2 - 0,00406138477(x-2)^3 & \text{se } x < 3; \\ 0,5531263383 + 0,1156245539x - 0,0384368308351177718(x-3)^2 + 0,01281227695(x-3)^3 & \text{se } x \leq 4,129196326; \\ 1 & \text{se } x > 4,129196326. \end{cases}$

Diante da definição destas três variáveis linguísticas é averiguado o valor mais significativo entre cada um de seus possíveis termos, sobre cada um dos conceitos relevantes ao estudo e à aprendizagem do conteúdo organizado em um Mapa Conceitual pela equipe multidisciplinar.

Para isso é aplicada a operação de *maximo*, caracterizada na TCF como uma *t-conorma*, sobre os graus de pertinência obtidos por cada um destes termos, sendo atribuído a cada uma destas variáveis o termo com maior grau entre todos os possíveis [Nicoletti e Camargo 2004]. A Figura 2 exemplifica esta operação para as variáveis linguísticas de entrada (Esforço, Desempenho, Participação).



**Figura 2. Exemplo da apuração do termo mais significativo às variáveis de entrada.**

Após estas atribuições serão acionadas as regras de inferência que formam a base de conhecimento deste ITA. Essas regras são baseadas em conhecimento e incorporam ao assistente artificial sua capacidade de representação do raciocínio humano no fornecimento de suas orientações pedagógicas "inteligentes".

O conjunto destas regras trabalha as combinações possíveis das variáveis de entrada que definirão o termo linguístico da variável de saída, identificando se a assimilação significativa está satisfatória a aprendizagem almejada em cada conceito mapeado ao acompanhamento deste ITA.

Como pode ser observado na Figura 3, essas regras são proposições condicionais não qualificadas (*se...então*) que conferem "inteligência" a este assistente para o fornecimento de orientação aos seus estudantes sobre quais atividades interativas realizar e sobre qual conteúdo dedicar mais atenção no seu atual momento de aprendizagem.

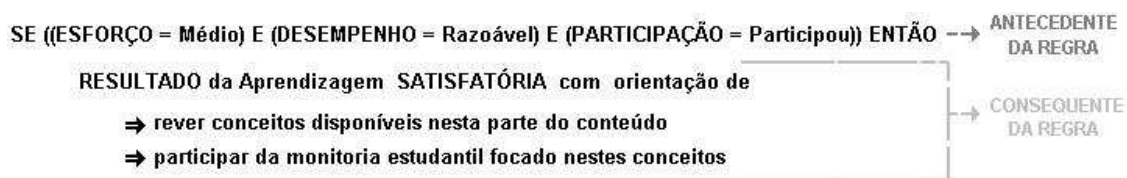


Figura 3. Exemplo de uma proposição condicional não qualificada (regra de inferência).

Estas proposições avaliam cada uma das variáveis de entrada em sua parte antecedente, indicando na consequente qual a situação da aprendizagem inferida e as orientações pedagógicas que seriam mais coerentes à aprendizagem significativa.

O número destas regras pode ser calculado pelo produto escalar das quantidades das funções de pertinências de cada conjunto fuzzy envolvido nesta apuração, sendo também de responsabilidade da equipe multidisciplinar a definição de cada uma delas.

A variável de saída deste ITA é denominada **Resultado** na Tabela 1 e possui dois termos linguísticos, Satisfatório e Insatisfatório, que são definidos pelo processo de inferência (*forward chaining*) que identifica qual é a regra mais conveniente à situação detectada pelas variáveis de entrada. A Tabela 4 mostra estes termos e a função de pertinência existente somente para a situação da aprendizagem Satisfatória, onde o ITA calcula seu grau de pertinência e o fornece como um valor de confiança sobre esta aprendizagem ter sido significativa. Na situação Insatisfatória o grau não é apurado, pois a orientação do ITA será baseada na averiguação das variáveis de entrada para o fornecimento da orientação pedagógica que seja mais indicada à superação das deficiências de assimilação inferidas.

Tabela 4. As definições da variável linguística de saída Resultado.

TERMO	FUNÇÃO DE PERTINÊNCIA
Satisfatório	$satis = 0,002209486898 + 0,2393247106x - 0,2939870561x^2 +$ $+ 0,1447862596x^3 - 0,02634090467x^4 + 0,0005043943843x^5 +$ $+ 0,0004038777723x^6 - 0,00004623993339x^7 + 0,000001547099395x^8$ <p>onde <i>satis</i> corresponde ao grau de pertinência desta aprendizagem com <math>x \in [0,10]</math></p>
Insatisfatório	1 para qualquer indicação da regra de inferência como Insatisfatória

De acordo com a experiência multidisciplinar contida na equipe envolvida, foi definida a função de pertinência que representa a efetivação satisfatória da aprendizagem significativa. Esta função de oitavo grau foi obtida através do Método dos Mínimos Quadrados, pois foi necessário realizar cálculos de aproximação dos valores definidos pela equipe multidisciplinar, a fim de representar sua experiência e conhecimento da melhor forma possível no "raciocínio" deste ITA [Burden e Faires 2003].

Dessa forma, o ITA infere o estado cognitivo de cada aprendiz, em relação a cada conceito existente num conteúdo de estudo, além de fornecer um esclarecimento detalhado sobre a situação da aprendizagem destes estudantes, por meio da constatação adequada de cada um de seus termos linguísticos, não sendo necessário, neste processo

de inferência fuzzy, a desfuzzificação, pois estes termos já se encontram em linguagem natural para a comunicação humana e são apresentados, de maneira significativa e esclarecedora, aos seus diferentes perfis de usuários (alunos, monitores, professores).

#### 4. Resultados Preliminares de um Experimento na área de Programação

A elaboração de um protótipo deste ITA (SAE) aconteceu num momento que possibilitou a sua utilização em um ambiente real de ensino de graduação na área de Informática (curso de Ciência da Computação).

Assim, um experimento foi realizado no segundo semestre de 2010 e envolveu disciplinas (conteúdos) da área de Programação Computacional (Algoritmo, Laboratório-1 – Linguagem C e Laboratório-2 – Linguagem Java), área esta reconhecida como uma das mais difíceis à aprendizagem nesta formação [Almeida et al. 2002].

Embora os resultados aprofundados ainda estejam sendo apurados, algumas indicações positivas conferem expectativas promissoras para esta proposta que envolveu 177 estudantes, 31 monitores e 3 professores. Entre elas se destacam o índice de satisfação de 82% dos 97 aprendizes (mais de 54% dos estudantes) que participaram de uma pesquisa no final deste período letivo (2/2010) e a aprovação de mais de 93% da metodologia usada combinando as ações dos agentes reais e o assistente artificial. Outro fator relevante consiste nos quase 95% dos estudantes que relataram que recomendariam a outros colegas cursarem as disciplinas com esta metodologia.

A postura docente não se modificou muito na condução das disciplinas, mas identificou uma satisfação em torno de 80% ao uso desta proposta pelos docentes envolvidos neste experimento, abrangendo seis turmas, sendo duas de cada disciplina. No entanto, foi possível identificar a necessidade de mais conteúdo de auxílio (*Help*) ao uso dos vários recursos disponíveis neste assistente, colaborando com o envolvimento mais seguro destes docentes na condução de suas disciplinas assistidas pelo ITA.

O índice de aprovação destes estudantes, participantes desta pesquisa, foi de 71%, porém não envolveu os aprendizes que evadiram da disciplina antes de seu encerramento. Além destes números, o próprio ITA (Figura 4) consiste em um resultado deste trabalho, onde o apoio do CNPq e o Ministério do Planejamento estarão o disponibilizando com um software público brasileiro nos próximos meses.

The screenshot shows the SAE (Sistema de Apoio Educacional) interface. At the top, there is a motivational message: "Aproveite!! seu sucesso pode depender disso!!!" and buttons for "Orientação" and "Pesquisar". The main title is "Orientações do Aluno". Below this, the student's details are shown: "Dados do Aluno", "Nome: Rafael Silveira Brit", "Email: rafaelbrit@gmail.com", and "Disciplina: Algoritmo e Programação". A sidebar on the left contains navigation buttons: "Situação", "Orientação", "Disciplina", and "Histórico". The main content area displays a table of orientations with columns for "Conteúdo", "Orientação", "Data", and "Hora".

Conteúdo	Orientação	Data	Hora
Fundamentos de Algoritmo	• Muito bem! Percebo que você está apto a continuar no próximo conteúdo, mas seria importante uma revisão para reforçar sua aprendizagem. Vamos começar! • Seus resultados podem ser melhores. Por isso lhe aconselho usar o ambiente de Cooperação, principalmente na análise de suas soluções compartilhadas.	16/09/2010	05:36:17
SATISFATÓRIO Grau: 0.68			
Tipos de Dados e Operadores	• Os equívocos fazem parte da experiência que vamos adquirindo, mas a insistência é que nos ajuda a melhorar. Vamos tentar de novo! • Na sua situação atual é importante reverter o resultado nas questões interativas. Por isso, atente as suas respostas e demonstre tudo	16/09/2010	05:36:18
INSATISFATÓRIO			

Figura 4. Janela de orientação pedagógica do ITA, denominado SAE, vista pelo docente.

#### 5. Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A elaboração deste tipo de tecnologia proporciona uma organização nos atuais ambientes educacionais, tornando-os mais eficientes no apoio ao ensino-aprendizagem.

Aspectos relevantes à realidade social também são mais bem atendidos, como a facilidade da comunicação, a autonomia de cada perfil envolvido e o respeito às características individuais de cada estudante durante sua trajetória de aprendizagem.

Apesar do acompanhamento do aprendiz ser personalizado, não houve aumento significativo na carga de trabalho docente, passando este ainda a receber maior assistência aos processos formativos, somativos e até de diagnóstico, em tempo real, sobre a situação de aprendizagem de cada um de seus estudantes.

Dessa forma, a integração entre os recursos reais e artificiais promove um espaço de aprendizagem dinâmico, com assistência baseada no acompanhamento mais realista de cada participante deste processo. Várias são as possibilidades de evolução neste trabalho, desde a criação de novas variáveis linguísticas para acompanhamento mais eficiente até a integração deste ITA com outros ambientes virtuais de aprendizagem.

## 6. Referências

- Almeida, E. S. de, Costa, E. B., Silva, K. S., Paes, R. B., Almeida, A. A. M., Braga, J. D. H. (2002) AMBAP: Um Ambiente de Apoio ao Aprendizado de Programação. In: Workshop sobre Educação em Computação. Florianópolis: SBC, p. 691-700.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., Hanesian, H. (1980) Psicologia Educacional. Rio de Janeiro: Editora Interamericana.
- Burden. B., Faires, J. D. (2003) Análise Numérica. Thompson Pioneira.
- Fabri, J. (2002) Ferramenta fuzzy para acompanhamento do desempenho do estudante nos cursos à distancia. IMENSA – Universidade de São Paulo.
- Giraffa, L. M. M. (2009) Uma odisséia no ciberespaço: O software educacional dos tutorias aos mundos virtuais. Revista Brasileira de Informática na Educação. v. 17, n. 1, p.20-30.
- Gonçalves, J. P., Monzón, A. J. B., Aluísio, S. M. (2009) Métodos de avaliação informatizada que tratam o conhecimento parcial do aluno e geram provas individualizadas. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. Florianópolis: SBC.
- Lopes, R. S., Fernandes, M. A. (2010) Lógica Fuzzy na avaliação de conhecimento e comportamento em ambientes de EAD. In: Workshop de Licenciatura em Computação, SBIE. João Pessoa: SBC.
- Lopes, L. (1981) Pestalozzi e a educação contemporânea. Rio de Janeiro: Associação Fluminense.
- Malvezzi, W. R., Mourão, A. B., Bressan, G. (2010) Uma ferramenta baseada em Teoria Fuzzy para o acompanhamento de alunos aplicado ao modelo de educação presencial mediado por tecnologia. In: Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. João Pessoa: SBC.
- Nicoletti, M. C., Camargo, H. A. (2004) Fundamentos da Teoria de Conjuntos Fuzzy. São Carlos: EdUFSCar.
- Novak, J. (1998) Learning, Creating, and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations. Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey.
- Rissoli, V. R. V., Santos, G. A. (2010) A Monitoria Estudantil aliada a um Assistente Virtual Inteligente no Suporte à Aprendizagem via Internet. In: Workshop de Arquiteturas Pedagógicas para Suporte à Educação a Distância mediada pela Internet, SBIE. João Pessoa: SBC.
- Vicari, R. M., Giraffa, L. M. M. (2003) Fundamentos dos Sistemas Tutores Inteligentes. In: Barone, D. (Org.). Sociedades Artificiais: A Nova Fronteira da Inteligência nas Máquinas. Porto Alegre: Bookman, p. 155-208.
- Yacef, K. (2002) Intelligent Teaching Assistant Systems. In: International Conference on Computers in Education. New Zeland. Proceedings. New Zeland: IEEE. v. 1, p. 136-140.