

Arquitetura de Adaptação em Sistemas Hipermídia Adaptativos Educacionais

José M Parente de Oliveira, Clovis Torres Fernandes

Divisão de Ciência da Computação – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)
Pça Mal Eduardo Gomes, 50 – 12228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil
{parente, clovis}@comp.ita.br

Resumo. Diversos Sistemas Hipermídia Adaptativos Educacionais (SHAEs) têm sido descritos na literatura. Os mecanismos de adaptação empregados são apresentados, mas, em geral, a arquitetura desses sistemas não separa claramente o papel dos diversos componentes envolvidos. Como consequência, essas arquiteturas não oferecem facilidades à compreensão e reprodução visando à implementação de novos modelos de SHAEs, nem oferecem um referencial de comparação e análise. Neste trabalho apresenta-se uma proposta de arquitetura de alto nível para SHAEs. Como aplicação da arquitetura, mostra-se a análise de dois SHAEs utilizando como base os componentes da arquitetura. Com base na análise realizada, acredita-se que a arquitetura apresentada seja um referencial seguro para a implementação de SHAEs.

Palavras-chave: Sistemas Hipermídia Educacionais, Sistemas Hipermídia Adaptativos, Adaptação, Adaptatividade, Adaptabilidade.

1. Introdução

Atualmente encontram-se disponíveis diversos Sistemas Hipermídia Adaptativos Educacionais (SHAEs). A literatura apresenta esses sistemas com os respectivos mecanismos de adaptação empregados [Brus et al. 1996; Fern 2000; Henz 2000; De Bra and Calv 1998; Barb 2001]. Em geral, a arquitetura desses sistemas não separa claramente o papel dos diversos componentes envolvidos. Devido a isso, não oferecem facilidades à compreensão e reprodução visando à implementação de novos modelos de SHAEs, nem oferecem um referencial de comparação e análise. O foco principal deste artigo é apresentar uma arquitetura de alto nível para SHAEs. Como aplicação da arquitetura, mostra-se a análise de dois SHAEs utilizando como base os componentes da arquitetura proposta.

O artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 procura justificar a necessidade de se usar a adaptação. A Seção 3 apresenta uma proposta de arquitetura para SHAEs. A Seção 4 apresenta uma análise da adaptação em SHAEs. Finalmente, a Seção 5 apresenta algumas conclusões do trabalho.

2. Justificativa Para a Adaptação

A adaptação em aplicações hipermídia se justificará na medida em que proporcionar algum benefício ou, pelo menos, minimizar certos problemas.

Ao contrário de outros tipos de sistemas de aplicação, sistemas hipermídia sempre são adaptáveis, uma vez que, por meio de navegação livre, diferentes usuários podem adaptar o sistema às suas necessidades de informação [Brus 1996]. Então, por que utilizar outras formas de adaptação? Por que buscar que o sistema se adapte a um usuário particular?

A literatura descreve os seguintes quatro problemas para os quais a adaptação pode ser uma solução [Brus 1996; De Bra and Calv 1998; Murr et al. 2000]:

- Quebra de fluxo conceitual
- Desorientação
- Sobrecarga cognitiva
- Quebra de fluxo narrativo

Em hiperespaços com uma estrutura rica de links poderá haver muitos caminhos levando a um dado nó. Além disso, o conteúdo desse nó pode estar fortemente relacionado ou mesmo depender de outro nó. Por esse motivo, é praticamente

impossível garantir que um usuário possa alcançar um nó após ter lido todos os nós dos quais o nó corrente depende. Como consequência, os usuários podem sentir dificuldade para compreender o conteúdo do nó devido à falta de conhecimento anterior requerido [De Bra e Calv 1998]. Murray et al. [2000] se referem a esse tipo de problema como quebra de fluxo conceitual

O mecanismo de links de hipertexto gera também problemas de desorientação devido à estrutura complexa de links, muito embora algumas partes sejam mais próximas de uma estrutura hierárquica. Dessa forma, o usuário, ao navegar, pode não saber onde está, como e porque chegou onde está, onde esteve e como chegar onde deseja no hiperespaço de informações.

A sobrecarga cognitiva refere-se à sensação de sobrecarga ou confusão experimentada pelo usuário devido a diversas opções oferecidas pelo sistema, em termos de muitos caminhos a serem seguidos, ferramentas e documentos hipermídia [Brus 1996]. Quebra de Fluxo Narrativo refere-se à quebra de continuidade do fluxo didático ou da narrativa do texto em si [Murr et al. 2000]. Os usuários normalmente esperam um fluxo narrativo suave. Em sistemas hipermídia, esse fluxo pode ser interrompido durante a passagem de um nó para outro.

Muitos desses problemas têm tido soluções apresentadas na literatura sobre sistemas hipermídia tradicionais, tais como em [Zuas 2000]. Entretanto, as soluções apresentadas não levam em consideração aspectos individuais do aprendiz. Por exemplo, o que é um problema de orientação para um aprendiz pode não ser para outro. A quebra de fluxo conceitual também pode ocorrer de forma diferente para cada um deles. Dessa forma, a incorporação de mecanismos de adaptação, usuais em Sistemas de Tutoria Inteligente (STIs) [Weng 1987; Vanl 1988; Burn and Capp 1988; Brus 1996, 2001], pelos sistemas hipermídia tradicionais pode proporcionar melhores soluções aos problemas apresentados, uma vez que podem oferecer maior personalização da aprendizagem. Os seguintes aspectos devem ser considerados, entre outros:

- Aprendizagem distinta para cada aprendiz.
- Atendimento de estilos de aprendizagem diferentes.
- Satisfação de diferentes necessidades de navegação pelo hiperespaço de informações.

3. Proposta de Arquitetura Para SHAEs

Oppermann et al. [1997] separam o conceito de adaptação em sistemas computacionais em adaptatividade (*adaptativity*) e adaptabilidade (*adaptability*). Além dessa separação, Oppermann et al. definem um espectro de adaptação que vai do conceito de adaptatividade ao de adaptabilidade, com algumas escalas intermediárias entre eles, definindo distintos níveis de adaptação.

Sistemas adaptativos têm a capacidade de modificar automaticamente suas próprias características, de acordo com a sua percepção das necessidades e características pessoais do usuário. Sistemas adaptáveis oferecem ferramentas que permitem que o usuário altere explicitamente certas características do sistema, a fim de adequá-lo ao seu comportamento [Oppe 1994; Oppe et al. 1997]

Para que os SHAEs possam comportar diversos aspectos de adaptatividade e adaptabilidade é preciso que haja uma separação clara dos papéis dos elementos envolvidos nesse processo. A Figura 1 apresenta uma proposta de arquitetura de alto nível para SHAEs. A arquitetura proposta é fruto da análise da arquitetura de SHAEs e de sistemas adaptativos apresentados na literatura [Brus et al. 1996; Fern 2000; Henz 2000; De Bra e Calv 1998; Barb 2001; Oppe 1994; Oppe et al. 1997; Kara et al., 2001]. Com a separação dos papéis dos elementos envolvidos, a arquitetura proporciona tanto uma forma para comparar quanto para implementar novos SHAEs.

Apresenta-se a seguir uma descrição de cada um dos elementos da arquitetura proposta, com exceção da Interface, que está fora do escopo deste trabalho.

Analizador da Interação

O Analizador da Interação tem duas funções principais [Kara et al. 2001]:

- Monitorar a interação do aprendiz com o sistema, obtendo informações sobre links ativados, ferramentas selecionadas etc.
- Inferir conclusões relevantes sobre o comportamento do aprendiz, como por exemplo, se ele está querendo relacionar um conceito com outro, quer mais detalhes etc. Dependendo das ações do aprendiz, o analisador estabelece conclusões que podem levar a adaptatividade ou a adaptabilidade.

Modelo de Decisão de Adaptação

O Modelo de Decisão de Adaptação tem a função de decidir o que o sistema deve fazer e como fazê-lo. Exemplos de o que fazer são apresentar mais detalhes, apresentar conceitos relacionados etc, com base nas conclusões do analisador da interação. O como fazer inclui a escolha e a ativação dos mecanismos de adaptação correspondentes. Nele se encaixam os dois tipos principais de adaptação identificados em Brusilovsky [1996, 1998]: apresentação adaptativa e navegação adaptativa.

A função da apresentação adaptativa é adaptar o conteúdo de um nó de informação do domínio da aplicação, que pode corresponder a uma ou mais páginas, ao nível corrente de conhecimento, metas e outras características do aprendiz. Para esse tipo de adaptação, os seguintes métodos, ou seja, “o que fazer”, podem ser utilizados [Brus 1996]:

- Explicações adicionais – Para um aprendiz mais qualificado, o sistema pode proporcionar informação mais detalhada e com maior profundidade. Para um principiante, além do básico no seu nível de compreensão, o sistema pode proporcionar explicações adicionais, para enriquecer sua experiência de aprendizagem.
- Explicações de pré-requisito – Antes de um dado conceito, o sistema insere explicações de todos os conceitos pré-requisitos que não são de domínio do usuário.
- Explicações comparativas – O sistema apresenta uma explicação comparativa entre conceitos, ressaltando as similaridades e as diferenças entre eles.
- Variantes de explicação – O sistema armazena diversas variantes para algumas

partes do conteúdo e o aprendiz recebe a parte que melhor corresponda às suas características.

- Classificação – Os diferentes fragmentos de informação sobre um conceito são classificados de acordo com sua relevância para o aprendiz.

Algumas aplicações hipermídia mais recentes contêm opções de diferentes tipos de mídia para apresentar informações ao usuário [Brus 2001]. Nessas aplicações, ainda, fragmentos de diferentes mídia representam o mesmo conteúdo e o sistema se encarrega de escolher aquele mais relevante ao aprendiz num dado momento. Em outros casos, esses fragmentos podem ser usados em paralelo, situação na qual o sistema escolhe um subconjunto de mídias.

A função da navegação adaptativa é ajudar os aprendizes a encontrar suas rotas de navegação no hiperespaço. O sistema faz isso mediante adaptação da apresentação de *links* para as metas, conhecimento e outras características do aprendiz. Brusilovsky [1996] identifica, dentre outros, os seguintes métodos para a navegação adaptativa:

- Guia direta – Guia o aprendiz indicando quais são os próximos melhores nós a serem acessados.
- Classificação Adaptativa – Classifica os *links* segundo sua relevância para o aprendiz. Essa classificação pode ser por similaridade, pré-requisito, conhecimento atual etc.
- Ocultação Adaptativa – Limita as possibilidades de navegação, ocultando os *links* de informação irrelevantes.

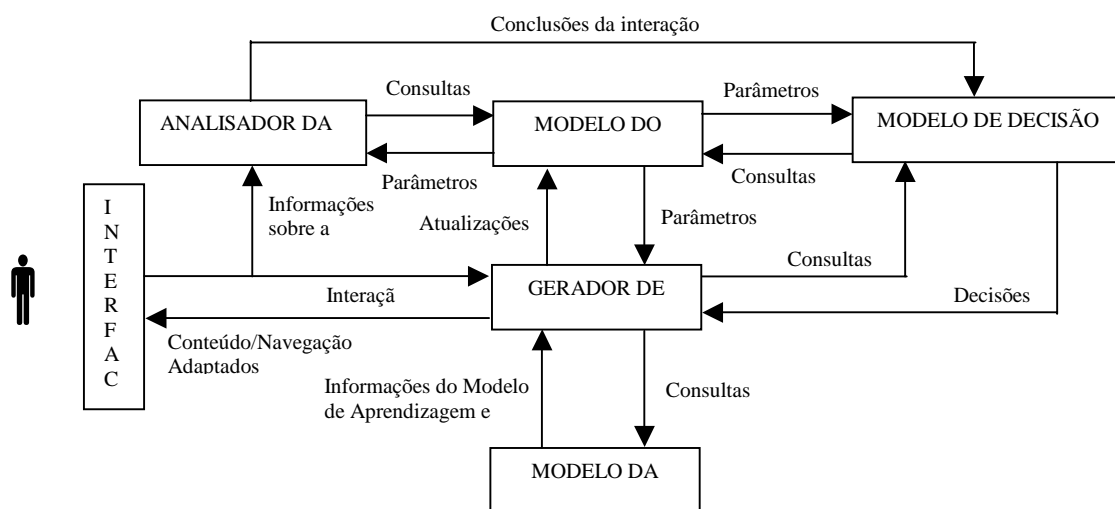


Figura 1 – Proposta de Arquitetura para SHAEs.

- Anotação de *links* – A idéia é proporcionar maior significado aos *links* por meio de informações sobre os nós de destino dos *links*. Essas anotações podem ser de forma textual ou visual.
- Adaptação de mapas – Compreende várias maneiras de adaptação dos mapas de navegação global e local apresentados ao usuário.
- À luz dos modernos sistemas de recomendação de informação, faz-se necessário distinguir duas formas de apoio à navegação adaptativa: adaptação de links presentes numa página, definidos no momento da autoria, e a geração de novos links, que não tenham sido definidos durante a autoria [Brus 2001]. A geração de novos links inclui três casos, a saber:
- Descoberta de novos links úteis entre documentos, com sua adição permanente ao conjunto de links existentes.
- Geração de links por similaridade de navegação entre itens.
- Recomendação dinâmica de links relevantes.

A geração de links pode ser usada em conjunto com os métodos de anotação e classificação descritos anteriormente.

Da mesma forma que para a adaptatividade, caso as decisões sejam de adaptabilidade, o Gerador de Adaptação operacionaliza as ações correspondentes. A adaptabilidade inclui os diversos recursos de seleção/alteração que o aprendiz pode realizar, com respeito à interface, adaptação de conteúdo e de apoio à navegação e seleção/alteração de parâmetros do modelo de aprendiz.

Os recursos de adaptação de conteúdo e navegação, dos aspectos de adaptabilidade, referem-se a ferramentas oferecidas pelo sistema que permitem ao aprendiz fazer suas próprias escolhas. Os recursos de seleção/alteração de parâmetros do modelo de aprendiz se referem a facilidades oferecidas para que o aprendiz, por exemplo, indique sua percepção com referência ao seu nível de conhecimento sobre o assunto corrente.

Modelo do Aprendiz

O Modelo do Aprendiz é a estrutura que contém as informações sobre as características do aprendiz durante a interação com o SHAE, que permitem ao sistema adaptar-se a essas características [Holt et al. 1994]. Brusilovsky [1996] identifica cinco características importantes sobre os usuários a serem consideradas para adaptação:

- Nível de conhecimento do aprendiz – É importante por que à medida que o nível de conhecimento do aprendiz aumenta, o sistema precisa fazer inferências sobre esse avanço para proporcionar o apoio adaptativo correspondente.
- Metas do aprendiz – Meta ou tarefa do aprendiz é a característica relacionada com o contexto de trabalho do aprendiz no sistema hipermídia.
- Conhecimento prévio do aprendiz – Refere-se a toda informação relacionada com a experiência prévia do aprendiz não pertencente ao domínio em questão, mas relevante o suficiente para ser considerada.
- Experiência do aprendiz – Refere-se a quão familiarizado o aprendiz está com a estrutura do hiperespaço de informações e quão facilmente o aprendiz pode navegar por ele.
- Preferências do aprendiz – Referem-se às diversas preferências do aprendiz em termos de atividades e de formato de informações.

Outro aspecto que pode ser acrescentado a essa lista são características individuais que definem um aprendiz como um indivíduo [Brus 2001]. Exemplos dessas características são os fatores de personalidade, tais como introversão/ extroversão, fatores cognitivos e estilos de aprendizagem.

Com relação ao Modelo do Aprendiz, consideram-se ainda os seguintes aspectos: Quem está sendo modelado, aprendiz individual ou classe de aprendiz? Tipo de modelo, tais como *overlay*, estereótipos e se o modelo permite que o aprendiz forneça informações diretamente ao modelo.

Modelo da Aplicação Hipermídia

O Modelo da Aplicação é composto por dois submodelos, a saber, Submodelo da Hiperbase e Submodelo de Aprendizagem, que correspondem, respectivamente, aos fatores de apresentação e de processo em sistemas de aprendizagem descritos por Nichols [2002]. O Submodelo da Hiperbase inclui aspectos de modelagem do domínio, metainformação sobre o domínio e a forma como as informações são representadas. As informações

armazenadas incluem os conceitos a serem aprendidos, exemplos, exercícios e avaliações.

Um aspecto importante do Submodelo da Hiperbase é a granularidade de representação da informação do domínio da aplicação. Granularidade se refere ao nível de detalhe com que um conceito é representado [McCa and Gree 1994]. A granularidade pode ir de mais fina a mais grossa.

Pela granularidade fina cada conceito é composto por partes menores que também podem ser tratadas separadamente. A granularidade grossa representa nós da hiperbase que contém diversos conceitos acoplados que não podem ser separados.

O Submodelo de Aprendizagem inclui os aspectos pedagógicos, roteiros de apresentação e representa o tipo e a forma de realização das atividades de aprendizagem, que, em última análise, determinam a forma de atuação do aprendiz nessas atividades. O Submodelo de aprendizagem leva em consideração se o aprendiz possui um comportamento mais passivo ou mais autônomo, o nível de guia proporcionado pelo sistema e a acessibilidade aos materiais disponíveis.

Gerador de Adaptação

O Gerador de Adaptação tem a função de gerar o que vai ser apresentado ao aprendiz, como resultado das informações oriundas do Analisador da Interação, Modelo de Decisão de Adaptação, Modelo do Aprendiz e Modelo da Aplicação.

4.2. Comparação com Outras Arquiteturas

Comparando-se a arquitetura apresentada com arquiteturas similares, pode-se obter uma idéia de sua abrangência. Por exemplo, Oppermann [1994] defende que sistemas adaptativos podem ser genericamente descritos como sendo constituídos de três partes: Componente Aferente, Componente Inferente e Componente Eferente.

O Componente Aferente é o encarregado de monitorar o comportamento do usuário. Ele procura reconhecer padrões de interações regulares, erros que ocorrem com frequência etc. O Componente Aferente pode coletar dados de diferentes níveis, desde, por exemplo, informações sobre teclas pressionadas e cliques e movimentos de mouse até informações sobre uma tarefa específica. Esse componente corresponde ao Analisador da Interação da arquitetura proposta.

O Componente Inferente decide de que forma o sistema deveria modificar seu comportamento de maneira a corresponder ao perfil corrente de uso do sistema. Isso implica na definição de uma base de regras e heurísticas para a realização das inferências. Isso também implica na definição dos tipos de dados a serem registrados e das formas de comportamento correspondentes do sistema. Esse componente está contido no Modelo de Decisão da Adaptação.

O Componente Eferente encarrega-se das modificações de comportamento do sistema. As mudanças podem ser com relação a apresentação de objetos, funções ou ferramentas, valores *default* para determinados parâmetros, seqüência de diálogo ou mensagens do sistema. O efeito da adaptação pode também ser diferenciado pelo grau de determinação das mudanças. Ou seja, as mudanças podem ter como resultado o oferecimento de um efeito particular ou a proposta de um espectro de alternativas a serem selecionadas pelo usuário. O Componente Eferente está contido no Gerador de Adaptação da arquitetura proposta.

Brusilovsky [1996], por sua vez, argumenta que, em sistemas inteiramente adaptativos, o componente de adaptação do sistema observa o que o usuário está fazendo, coleta dados que descrevam a atividade do usuário, processa dados para construir ou atualizar o modelo de usuário e, então, aplica o modelo do usuário para proporcionar adaptação. Todas essas funções também estão contidas, de forma segmentada, no Analisador da Interação, Modelo do Aprendiz, Modelo de Decisão de Adaptação, Modelo da Aplicação e Gerador da Adaptação.

Para Karagiannidis et al. [2001], a adaptatividade em aplicações educacionais adaptativas pode ser caracterizada basicamente por dois processos ou fases, de alto nível, denominados avaliação da interação e tomada de decisão. A finalidade do processo de avaliação da interação é obter conclusões de alto nível sobre aspectos da interação aprendiz-computador, que sejam significativas para a aplicação educacional particular. Essa avaliação baseia-se em informações de baixo nível, como, por exemplo, teclas pressionadas, respostas a testes etc., obtidas por um mecanismo de monitoramento. Esse processo pode, ainda, levar em consideração aspectos como tipo do material educacional que está sendo apresentado, as tarefas que estão sendo realizadas etc. A fase de avaliação da interação corresponde ao Analisador da Interação da arquitetura proposta.

Na fase de tomada de decisão, adaptações específicas são selecionadas, com base nos resultados da fase de avaliação, com a finalidade de melhor adequar as características do sistema e da aplicação ao aprendiz. Decisões de adaptação podem, por exemplo, resultar na reestruturação do espaço de navegação, proporcionar explicações adicionais para um conceito específico etc. Essa fase está incluída no Modelo de Decisão de Adaptação da arquitetura proposta.

Note-se que apesar da similaridade da arquitetura proposta com as outras mencionadas, as outras arquiteturas se referem puramente à adaptatividade. A arquitetura proposta é um pouco mais ampla por considerar também a adaptabilidade no Analisador da Interação e no Gerador de Adaptação. Além disso, na arquitetura proposta, os diversos componentes descrevem os diversos aspectos da adaptação de forma mais segmentada, onde os seus papéis e interações são claramente identificados. Isso confere aos usuários da arquitetura uma facilidade adicional na compreensão e reprodução das tarefas envolvidas, de modo a facilitar a implementação de novos SHAEs e a realizar a comparação de SHAEs da literatura.

5. Análise da Adaptação em SHAEs

A arquitetura apresentada na Figura 1, além de útil para a implementação de SHAEs, proporciona também subsídios para se analisar a adaptação em SHAEs. Para tal análise, pode-se utilizar ainda

uma representação gráfica que mostre como os elementos da arquitetura dos SHAEs se relacionam com os da arquitetura proposta.

5.1. Exemplos de Análise de Adaptação

Apresenta-se a seguir uma amostra de análise dos sistemas ELM-ART [Brus et al. 1996] e Curso Hipermídia Adaptativo [Barb 2001], usando a arquitetura proposta.

EXEMPLO 1 - ELM-ART

ELM-ART (*Episodic Learner Model - Adaptive Remote Tutor*) é um sistema hipermídia adaptativo para a WWW, que oferece apoio à aprendizagem da Linguagem Lisp. ELM-ART pode ser considerado como um livro eletrônico inteligente integrado a um ambiente de solução de problemas [Brus et al. 1996].

Embora na presente análise o ELM-ART tenha sido tratado como um SHAE, Brusilovsky et al. [1996] se referem a ele como um STI para a WWW. Por incorporar aspectos de sistemas hipermídia e de STI, e portanto aspectos de adaptatividade e adaptabilidade, neste trabalho foi considerado como um SHAE. A Figura 2 apresenta uma possível estruturação da arquitetura do ELM-ART usando a arquitetura proposta.

Modelo da Aplicação

Submodelo da Hiperbase

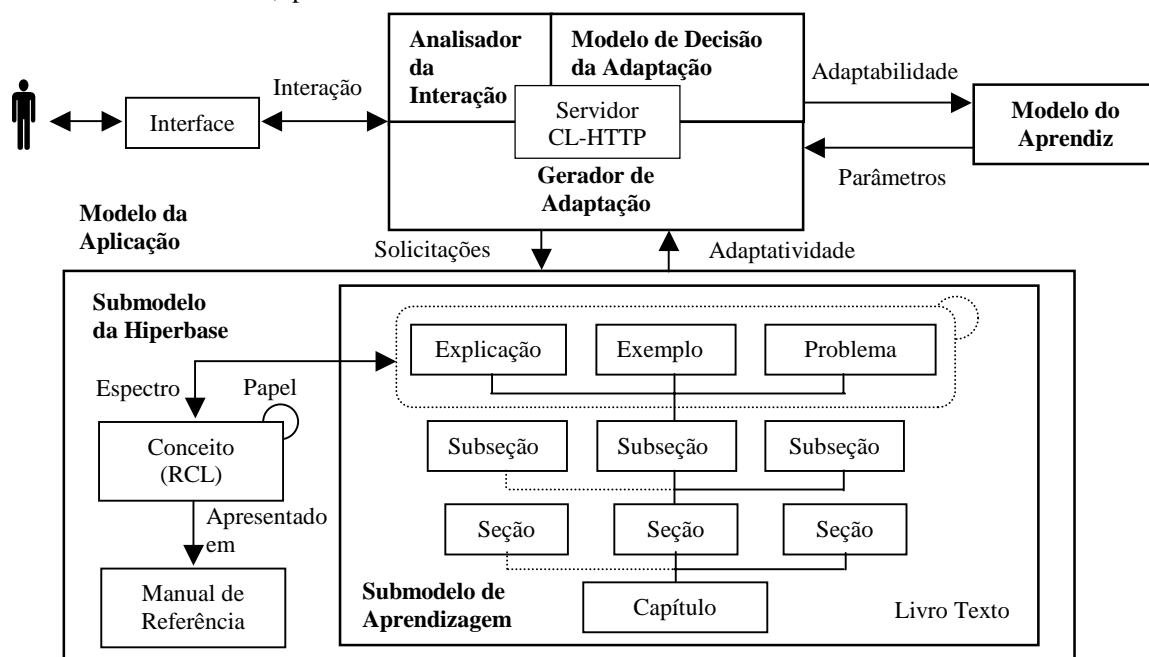


Figura 2 - Arquitetura do ELM-ART comparada com a arquitetura proposta.

O material de aprendizagem compõe-se de dois componentes principais: livro texto e manual de referência. O livro texto é estruturado hierarquicamente por capítulos, seções e subseções. Cada uma dessas unidades pode ser apresentada como página WWW. Todos os exemplos de solução de problema e os problemas propostos são apresentados em páginas interativas separadas que utilizam os recursos de formulários HTML. O manual de referência proporciona acesso de referência ao material de aprendizagem. Cada página do manual de referência contém uma breve explicação de um dos conceitos do curso, bem como os *links* para as unidades do curso e para as páginas do manual relacionadas.

A principal parte da base de conhecimento do ELM-ART consiste no conhecimento sobre solução de problema em Lisp, que é representada como uma rede de conceitos, planos e regras de construção de programas. A parte de conceitos, denominada Rede Conceitual Lisp (RCL), representa todos os conceitos importantes usados no curso e todos os relacionamentos entre eles. A RCL é representada na Figura 2 pelo retângulo “Conceito”. Os dois principais tipos de relacionamentos na RCL são os tradicionais “parte-de” e “é-um”. Os relacionamentos de pré-requisito entre os conceitos não são representados diretamente, mas podem ser computados a partir dos relacionamentos “parte-de” e “é-um” e várias heurísticas definidas.

Cada conceito representado na RCL corresponde a uma página no Manual de Referência do ELM-ART. Com isso, para representar o conhecimento sobre um curso, todas as unidades terminais do material de aprendizagem, tais como explicações, exemplos e problemas, são indexadas pelos conceitos da RCL. Isso significa que cada unidade terminal está relacionada com uma lista de conceitos, denominada espectro da unidade. Para cada conceito envolvido, o espectro da unidade representa também o tipo de relacionamento ou o papel do conceito. Por exemplo, um conceito pode ser introduzido, apresentado ou sumariado numa unidade de explicação, ou ser um conceito pré-requisito para a unidade. Da mesma forma, para cada exemplo e para cada problema há um conjunto de conceitos relacionados.

O retângulo de bordas arredondadas na figura tem a função apenas de conferir maior simplicidade à figura. O retângulo significa que um ou mais conceitos estão relacionados com cada uma das unidades terminais Explicação, Exemplo e Problema. Com relação aos exemplos de solução de problema, como o sistema guarda a estrutura

de solução dos problemas, o sistema pode proporcionar *links* para exemplos similares ao corrente. Da mesma forma, o sistema pode indicar onde o conceito é exemplificado ou aplicado, bem como indicar problemas semelhantes ao corrente.

Submodelo de Aprendizagem

O Submodelo de Aprendizagem fica implícito pela estrutura do livro texto. Entretanto, o sistema proporciona apoio cognitivo à solução de problemas, mediante a possibilidade de prever a forma de um aprendiz solucionar um problema particular e encontrar um exemplo mais relevante a partir do seu histórico individual de aprendizagem.

Modelo de Decisão de Adaptação

Na arquitetura do ELM-ART não há uma separação clara dos elementos envolvidos. No componente Servidor CL-HTTP (Common Lisp – Hypertext Transfer Protocol) estão concentrados os elementos Analisador da Interação, Modelo de Decisão de Adaptação e Gerador de Adaptação da arquitetura proposta. Por esse motivo, na presente análise, apresenta-se a seguir apenas os aspectos de adaptatividade e adaptabilidade do ELM-ART, que se relacionam com o Modelo de Decisão de Adaptação da arquitetura proposta.

Adaptatividade

Para apoiar a navegação do usuário, o sistema proporciona anotação e classificação adaptativa de *links*. Nessa navegação adaptativa, o sistema faz uso de recursos visuais, tais como ícones, fontes e cores, para mostrar o tipo e o estado pedagógico de cada link. ELM-ART distingue vários estados pedagógicos para cada página de material, a saber, problema, exemplo e página do manual. Esses estados correspondem a estados definidos como “conhecido pelo aprendiz”, “pronto para ser aprendido” ou “não pronto para ser aprendido”. Este último caso ocorre pela falta de determinados pré-requisitos.

A classificação adaptativa de *links* é usada para apresentar similaridade de *links* entre casos, que correspondem a exemplos e problemas. Como o sistema pode medir a similaridade entre cada dois casos, ele pode também classificar todos os casos relacionados ao caso corrente, de acordo com os valores de similaridade. Dessa forma, os *links* são apresentados em ordem de classificação, com os mais relevantes no topo da lista, para que os aprendizes sempre saibam quais são os casos similares mais relevantes.

Como o sistema possui conhecimento sobre quais são os conceitos pré-requisitos para cada página,

incluindo-se páginas de exemplos e problemas, quando o aprendiz acessa uma página contendo conceitos que ele ainda não esteja preparado para aprender, o sistema avisa o aprendiz que a página contém pré-requisitos ainda não aprendidos e mostra *links* adicionais para páginas do livro texto e do manual de referência, onde esses conceitos são apresentados. Esse tipo de adaptação caracteriza ajuda baseada em pré-requisitos.

Uma importante característica do ELM-ART é que o sistema pode prever a forma como um aprendiz está solucionando um problema particular e, com isso, encontrar o exemplo mais relevante do histórico individual de aprendizagem. ELM-ART seleciona os exemplos mais relevantes, classifica-os segundo sua relevância e os apresenta na forma de uma lista ordenada de *links*. Essa característica representa apoio à solução de problema.

Adaptabilidade

ELM-ART proporciona certo grau de adaptabilidade. ELM-ART oferece ao aprendiz a possibilidade de inspecionar e fazer algumas alterações no próprio Modelo do Aprendiz. Dessa forma, o aprendiz pode cooperar com o sistema para refinar seu modelo. Um exemplo disso, é o aprendiz indicar que já domina determinados conceitos.

Outras características adaptáveis no ELM-ART

incluem a possibilidade de selecionar a cor da anotação dos *links*, ativar/desativar anotação de *links* e guia, suprimir avisos e selecionar a leitura somente de texto, sem a apresentação de exercícios. Note-se que esses aspectos não ficam refletidos no Modelo do Aprendiz. São ajustes efetuados no sistema hipermídia de apresentação do ELM-ART.

Modelo do Aprendiz

O Modelo do Aprendiz utilizado é um modelo *overlay*, no qual informação individual de cada aprendiz é armazenada com respeito aos conceitos da base de conhecimento do curso. O modelo guarda uma referência ao estado educacional de cada unidade terminal do livro-texto. Esses estados educacionais são os já apresentados anteriormente: “conhecido pelo aprendiz”, “pronto para ser aprendido” e “não pronto para ser aprendido”.

Note-se ainda que a Figura 2 reflete tanto os aspectos de adaptatividade quanto os de adaptabilidade. A adaptatividade ocorre pela interação com as unidades terminais do livro texto. Já adaptabilidade pode ocorrer tanto pela interação com o sistema, que intermedeia o acesso às unidades, quanto pela alteração de determinados parâmetros do Modelo do Aprendiz diretamente pelo aprendiz.

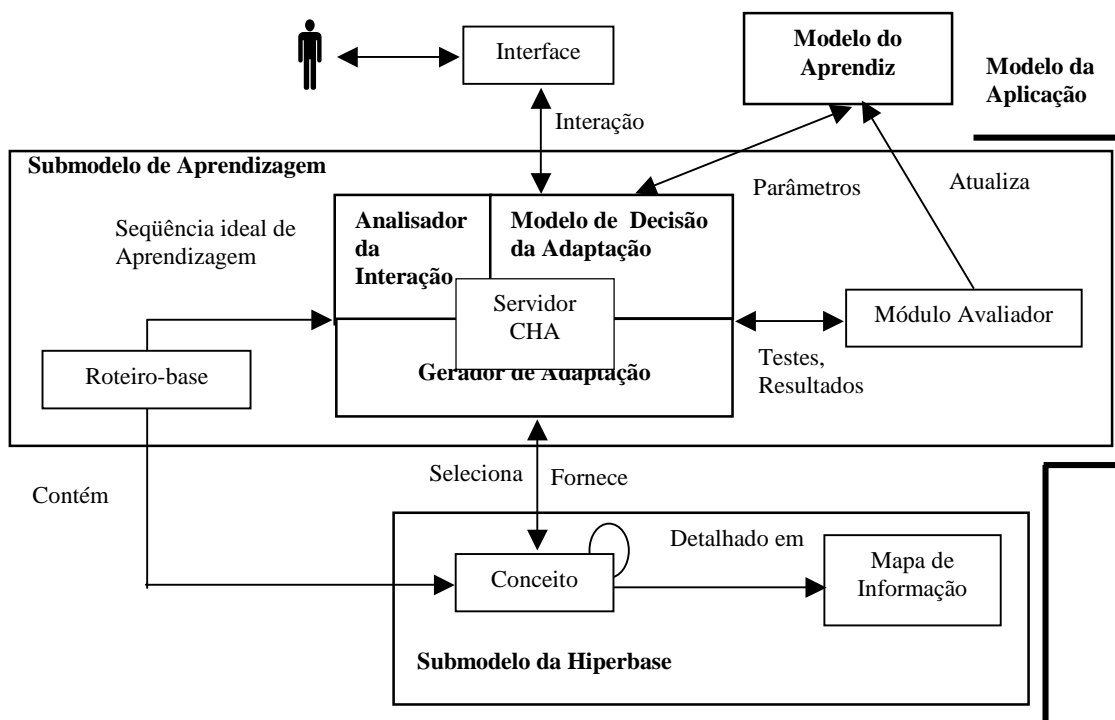


Figura 3 - Arquitetura do CHA comparada com a arquitetura proposta.

EXEMPLO 2 - CHA

CHA é um acrônimo para arquitetura de Curso Hiperídia Adaptativo [Barb 2001], que estende o conceito de Curso Hiperídia [Zuas 2000]. Incorpora um Modelo de Aprendiz e usa esse modelo para adaptar aspectos visíveis do curso, tais como, resposta de um exercício, *links* e conteúdo, de acordo com o nível de conhecimento do aprendiz. A Figura 3 apresenta uma comparação da arquitetura do CHA com a arquitetura proposta.

Modelo da Aplicação

Submodelo da Hiperbase

O CHA possui uma hiperbase estruturada com base no Modelo Daphne [Kawa 1996], que se baseia na combinação de mapas conceituais [Nova 1998] e mapas de informação [Horn 1989]. Dessa forma, cada conceito julgado relevante do domínio de conhecimento é interligado com outros conceitos num mapa conceitual e sua estrutura interna é representada como um mapa de informação. O uso de mapa de informação visa proporcionar um alto grau de modularização e legibilidade ao material de aprendizagem.

A hiperbase comporta diferentes perspectivas e níveis de conhecimento para cada conceito. As perspectivas se referem a diferentes formas de apresentação de informação. Por exemplo, um conceito pode ser apresentado em forma textual, em vídeo ou por um esquema. Já os níveis de conhecimento se referem a informações apresentadas com grau de complexidade adequada a determinados estereótipos.

Submodelo de Aprendizagem

O modelo de aprendizagem do CHA é implementado no Servidor CHA, um componente da arquitetura que contém a lógica do curso e integra informações dos demais componentes. O Servidor CHA utiliza um roteiro-base como referência para definir o melhor conceito a ser aprendido antes de outro. Ou seja, o roteiro-base define uma seqüência ideal de aprendizagem para um aprendiz ideal.

Outro componente importante do submodelo de aprendizagem é o Módulo Avaliador. Pelo fato de ser o responsável por efetuar o controle do desempenho dos aprendizes, ele determina qual é o melhor nível de informação a ser apresentado ao aprendiz e seleciona quais conceitos devem ser vistos.

Modelo de Decisão de Adaptação

Na arquitetura do CHA também não há uma separação clara dos elementos envolvidos. No componente Servidor CHA estão concentrados os elementos Analisador da Interação, Modelo de Decisão de Adaptação e Gerador de Adaptação da arquitetura proposta. Por esse motivo, na presente análise, apresenta-se a seguir apenas os aspectos de adaptatividade e adaptabilidade do CHA que se relacionam com o Modelo de Decisão de Adaptação da arquitetura proposta

Para apresentar ao aprendiz somente os conceitos que ele precisa ver para aprender determinado assunto, o CHA se baseia na modelagem inicial do aprendiz e na avaliação do seu desempenho ao longo do curso.

Através da modelagem inicial, o CHA determina quais conceitos deverão ser apresentados ao aprendiz. Essas informações são válidas nesse momento, mas precisam ser atualizadas ao longo do curso. Assim, caso um aprendiz deseje ser avaliado sobre um conceito sem ter visto o material correspondente a esse conceito e seja bem sucedido, ele poderá passar a um nível de conhecimento acima do atual. Nesse caso, esse conceito será considerado como a “não ser apresentado ao aprendiz” e o sistema fará as atualizações correspondentes.

Adaptatividade

No CHA os próximos nós a serem seguidos e o grau de liberdade atribuída a cada nó acessado pelo aprendiz é definido pelo sistema durante a realização do curso. Ou seja, o caminho a ser seguido pelo aprendiz dependerá do seu conhecimento prévio, dos diferentes níveis de aprendizagem já alcançados, do seu desempenho ao longo do curso e das preferências que ele tiver selecionado. Dessa forma, o CHA apresenta, a cada momento, o tópico mais adequado à aprendizagem, disponibilizando os *links* adequados à curiosidade e necessidades do aprendiz. Portanto, a adaptatividade proporcionada pelo CHA é do tipo seqüência curricular [Brus 1998].

Adaptabilidade

O CHA permite dois tipos de adaptabilidade. O aprendiz pode definir suas preferências de mídia e marcar determinados conceitos para serem vistos novamente, o que causa uma atualização no Modelo do Aprendiz.

Modelo do Aprendiz

O Modelo do Aprendiz caracteriza o aprendiz em três níveis: básico, intermediário e avançado. Ou seja, esse módulo trabalha com três estereótipos de aprendiz.

A modelagem do aprendiz ao iniciar o curso é realizada através de uma auto-avaliação para a identificação do seu nível de conhecimento em cada conceito do curso. O aprendiz indica o que ele considera ser seu nível de conhecimento em cada conceito. Existem quatro opções de escolha: Não Conhece, Conhece Pouco, Conhece Bem e Especialista. Além de serem utilizados para atribuir um nível ao aprendiz quando ele inicia um curso, esses níveis servem também para definir quais conceitos serão apresentados ao aprendiz ao longo do curso.

A definição das suas preferências sobre a forma de apresentação do material de aprendizagem é feita ao iniciar o curso, mas pode ser alterada a qualquer momento durante o curso.

5.3 Resultado da Análise da Adaptação em SHAEs

Nesta seção descrevem-se os principais resultados da análise de adaptação dos seguintes sistemas: ELM-ART [Brus et al. 1996], HEZINET [Fern 2000], KBS Hyperbook [Henz 2000], AHA [De Bra and Calv 1998], CHA [Barb 2001] e NetCoach [Webe et al. 2001].

Ao contrário das técnicas de adaptação dos STIs que refletem os aspectos didáticos e pedagógicos da aplicação em modelos específicos, pode-se dizer que as dos SHAEs analisados, correndo-se o risco de um reducionismo extremo, limitam-se a definir a quantidade e a forma do material a ser proporcionado ao aprendiz, bem como a especificar a forma de apoiar a navegação pela hiperbase. Isso tanto para a adaptatividade quanto para adaptabilidade.

Nota-se que, nas hiperbases, as informações são armazenadas em níveis de granularidade que vão de médio a alto. Por essa forma de granularidade, um conceito corresponde a um nó (uma página) ou um nó contém mais de um conceito. Além disso, normalmente são representados por uma única perspectiva, como, por exemplo, apenas uma descrição textual. Isso tudo sugere que uma representação mais rica e com menor granularidade talvez ajude na definição de melhores inferências sobre o comportamento do aprendiz.

Observa-se ainda que não há uma separação muito clara entre os modelos da hiperbase e o

modelo de aprendizagem das aplicações. De certa forma, esses modelos se confundem num só.

Características individuais que definem um aprendiz como um indivíduo, como, por exemplo, fatores de personalidade, fatores cognitivos e estilos de aprendizagem, conforme mencionado anteriormente, não são exploradas nos sistemas analisados.

Nota-se também que aspectos de adaptabilidade são muito pouco explorados. Basicamente, limitam-se a permitir que o usuário defina suas preferências em termos de mídia dos conteúdos de aprendizagem e que altere alguns aspectos sobre seu nível de conhecimento no Modelo do Aprendiz.

6. Conclusão

A arquitetura proposta, além de servir como um modelo para a implementação de SHAEs, apresenta-se como um arcabouço conceitual para a análise da adaptação nessa classe de sistemas. A análise apresentada neste trabalho, que é apenas uma parte de um estudo em progresso, permitiu destacar aspectos importantes para a modelagem e implementação de novas aplicações.

Um aspecto interessante com respeito à adaptabilidade é que ela pode ser relacionada com habilidades metacognitivas. Com isso, quando o aprendiz solicita que o sistema se comporte de determinadas maneiras, ele o está fazendo com base em suas experiências prévias. Diante de determinadas situações, ele pode querer aplicar modelos mentais que lhe tenham proporcionado algum tipo de êxito. Da mesma forma, o próprio sistema poderia sugerir determinadas ações metacognitivas a partir de suas conclusões sobre o comportamento do aprendiz. Esses dois aspectos abrem novos caminhos de pesquisa sobre a adaptação.

A principal conclusão da análise realizada é que o conceito de adaptação para SHAE precisa ser melhor explorado com base no modelo da hiperbase, no modelo de aprendizagem empregado e no modelo do aprendiz. Isso abre espaço para se explorar mais níveis de adaptação entre os conceitos de adaptatividade e adaptabilidade.

7. Referências

- BARBEIRO, R. S. G. *Caracterização e Modelagem de Cursos Hiperídia Adaptativos*. 2001. 235 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos.
- BRUSILOVSKY, P. Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*, v.6, n. 2-3, p. 87-129, 1996.
- BRUSILOVSKY, P. Adaptive Educational Systems on the World-Wide-Web: A Review of Available Technologies. In: International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 4., 1998, San Antonio, Texas. Proceedings... 1998.
- BRUSILOVSKY, P. Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction*. Kluwer Academic Publishers, v.11, p. 87-110, 2001.
- BRUSILOVSKY, P.; SCHWARZ, E.; WEBER, G. ELM-ART: An intelligent tutoring system on World Wide Web. In: FRASSON, C.; GAUTHIER, G.; LESGOLD, A. (Eds.). *Third International Conference on Intelligent Tutoring Systems, ITS-96*. Berlin: Springer, p. 261-269, 1996.
- BURNS, H. L.; CAPPS, C. G. Foundations of Intelligent Tutoring Systems: An Introduction. In: POLSON, M. C.; RICHARDSON, J. J. (Eds.). *Intelligent Tutoring Systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1988. p. 1-19.
- De BRA, P. Hypermedia Structures and Systems. Eindhoven University of Technology. Disponível em <<http://www.wis.win.tue.nl/2L690>>.
- Acesso em: 2 mar. 1999.
- De BRA, P.; CALVI, L. *AHA! An Open Adaptive Hypermedia Architecture*. The New Review of Hypermedia and Multimedia. Taylor Graham Publishers, v. 4, 1998, p. 115-139.
- FERNÁNDEZ, T. A. P. *Un Hiperentorno Adaptativo para el Aprendizaje Instructivo/Constructivo*. 2000. 286 f. Tesis (Doctorado en Informática) - Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos, Universidad del País Vasco, San Sebastián.
- HENZE, N. *Adaptive Hyperbooks: Adaptation for Project-Based Learning Resources*. 2000. 95 f. Thesis (Doctorate) - Department of Mathematics and Informatic, University of Hanover, Hanover.
- HOLT, P.; DUBS, S.; JONES, M.; GREER, J. The State of Student Modelling. In: GREER, J.; McCALLA, G. (Eds.). *Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-Based Instruction*. Berlin: Springer, 1994.
- HORN, R. E. *Mapping Hypertext*. Lexington: Lexington Institute, 1989.
- KARAGIANNIDIS, C.; SAMPSON, D.; BRUSILOVSKY, P. Layered Evaluation of Adaptive and Personalized Educational Applications and Services. In: *AI-ED 2001, Workshop on Assessment Methods in Web-Based Learning Environments & Adaptive Hypermedia*, 2001.
- KAWASAKI, E. I. *Modelo e Metodologia para Projeto de Cursos Hiperídia*. 1996. 96 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Divisão de Ciência da Computação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos.
- McCALLA, G. I.; GREER, J. E. Granularity-Based Reasoning and Belief Revision in Student Models. In: GREER, J.; McCALLA, G. (Eds.). *Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-Based Instruction*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- MURRAY, T.; SHEN, T.; PIEMONTE, J.; CONDIT, C.; THIBEDEAU, J. Adaptivity for Conceptual and Narrative Flow in Hyperbooks: The MetaLinks System. In: *Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems: International Conference, AH 2000*, Trento, Italy, 2000. Proceedings...Berlin: Springer, 2000, p. 155-166.
- NICHOLS, M. Principles of Best Practice for 21st Century Education. *International Forum of Educational Technology & Society*, IEEE, Apr. 2002.
- NOVAK, J. D. *Learning Creating and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
- OPPERMAN, Reinhard. Adaptively Supported Adaptability. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, p. 544-472, 1994.
- OPPERMAN, Reinhard; Rashev, Rossen; Kinshunk. Adaptability and Adaptivity in Learning Systems. *Knowledge Transfer*, v. 2, p.173-179, 1997.

- WEBER, Gerhard; KUHL, Hans-Christian; WEIBELZAHL, Stephan. Developing Adaptive Internet Based Courses with the Authoring System NetCoach. In: *ACM Conference on Hypertext and Hypermedia – Hypertext’ 01*, 12., 2001, Arhus, Denmark. Proceedings...2001.
- ZUASNÁBAR, Delfa Mercedes H. APACHE: *Um Ambiente de Pré-Autoria de Cursos Hiperídia Estendidos*. 2000. 123 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Divisão de Ciência da Computação, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.