



BASE DE CONHECIMENTO PARA APLICAÇÃO NO ENSINO DE MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE ENGENHARIA

Luiz Amilton Pepplow – luizpepplow@utfpr.edu.br
Emerson Rigoni – rigoni@utfpr.edu.br
Pablo Sanches – pablosanches_tb@yahoo.com.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Avenida Sete de Setembro, 3165
80.230-901 – Curitiba – Paraná
Jonny Carlos da Silva – jonny@emc.ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Campus Universitário Trindade
CEP: 88.040-970 – Florianópolis – Santa Catarina

Resumo: *Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma base de conhecimento (BC), aplicada em um protótipo de ambiente de aprendizado via web, cuja finalidade é orientar a modelagem de um sistema de engenharia pela reutilização de modelos matemáticos que descrevem um comportamento dinâmico, existente em uma base de modelos previamente representados, testados e validados em diferentes aplicações industriais e acadêmicas. A representação do conhecimento desta base estabelece a associação entre conceitos e características de efeitos físicos (resistivo, capacitivo, indutivo e inercial) e as propriedades físicas do sistema e características de dimensionamento de componentes. A BC adequadamente implementada no ambiente de aprendizado com a utilização de computadores representa uma alternativa de metodologia de ensino/aprendizagem de baixo custo, dentro e fora do escopo de sala de aula para aproximar de forma consistente a teoria e a prática. Para oportunizar a implementação computacional, reuso e interoperabilidade, definiu-se pela representação do conhecimento por meio de Ontologia baseada em frames (heranças), a qual possibilita estruturação taxonômica por classes organizadas hierarquicamente, associadas a características que descrevem seus atributos (propriedades) e um conjunto de instâncias que definem modelos dinâmicos de representação destas classes. A BC foi avaliada em atividades práticas desenvolvidas por alunos do curso de Engenharia Mecânica. Os resultados comprovaram ganhos no aprendizado referentes aos conhecimentos gerais nos domínios energéticos envolvidos, bem como em modelagem de sistemas de engenharia com posterior simulação para análise de comportamento. Como realização futura, esta BC será implementada em tutorial inteligente no ensino de projeto e simulação de sistemas de engenharia.*

Palavras-chave: *Ensino de Engenharia, Modelagem e Simulação, Base de Conhecimento*

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia tem proporcionado aplicação em sistemas de aprendizagem de Sistemas de Inteligência Artificial denominados por Sistemas Especialistas (SE – *Expert Systems*), mais especificamente a Instrução Auxiliada por Computador (CAI – *Computer Assisted Instruction*) que tem se constituído em alternativa para aprendizagem eletrônica. Os SE's tentam simular os processos de raciocínio dos especialistas humanos ao solucionar problemas.



A modelagem e simulação de sistemas de engenharia são tarefas intensivas em conhecimento, fato que possibilita sua utilização em Sistemas Baseados em Conhecimento (SBC). Exemplo deste tipo de aplicação é o projeto *European Union ESPRIT-II* do programa *OLMECO* (*Open Library for Models of mEchatronic COmponents*), cujo propósito é proporcionar integração entre ferramentas de modelagem e simulação, oportunizando um ambiente aberto para armazenamento e troca de dados de modelos que podem ser reutilizados.

A pesquisa descrita neste artigo é concebida considerando como problema principal a dificuldade de gerar a representação de um modelo matemático válido para simulação dinâmica, expressa por questões abstratas como: (i) como modelar a intenção do usuário no sentido de captar a análise que se deseja efetuar na modelagem? (ii) como modelar as hipóteses simplificadoras? (iii) qual o ponto de partida para definir tais hipóteses e em que fundamentos se orientarão para estabelecê-las e diminuir a complexidade do modelo gerado sem comprometer a fidelidade das respostas esperadas?

O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de uma BC, que possa ser implementada e aplicada para orientar a modelagem de um sistema de engenharia que represente um sistema físico real por meio da reutilização de modelos matemáticos disponibilizados em uma Base de Modelos (BM) existente em um ambiente virtual de modelagem e simulação dinâmica unidimensional. A implementação dos modelos propostos pela saída da BC nestes ambientes virtuais permite a simulação do sistema e análise do comportamento dinâmico. As seções seguintes descrevem os principais fundamentos sobre, fundamentos sobre sistemas baseados em conhecimento, tutoriais inteligentes, as etapas que orientam a construção e representação da BC e o processo verificação e validação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas baseados em conhecimento

Até o início dos anos 80, o desenvolvimento de um SBC era visto como um processo de transferência do conhecimento humano para uma BC. A transferência está baseada no fato de que o conhecimento requerido pelo SBC existe e pode ser coletado e representado.

A Figura 1 ilustra a estrutura de um SBC.

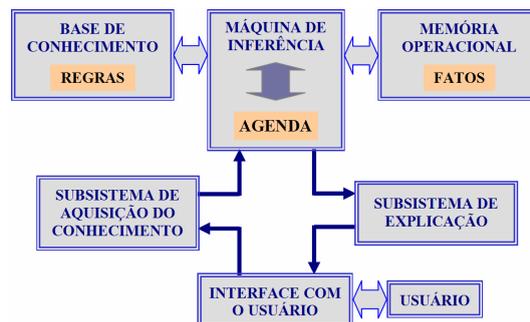


Figura 1 – Arquitetura de um Sistema Baseado em Conhecimento (SBC).

O conhecimento requerido era obtido pela entrevista com os especialistas para explicitação de como eles resolviam tarefas específicas (MUSEN, 1987). Esta necessidade fomentou o desenvolvimento da área de aquisição de conhecimento, que estrutura o processo de levantamento de requisitos no desenvolvimento de sistemas especialistas. O principal objetivo de um SBC é transferir a experiência de um especialista e de fontes documentadas



para o computador e, posteriormente, orientar o usuário. Podem fazer um diagnóstico correto dos problemas e solucioná-los de modo satisfatório dentro de um prazo razoável.

Os SBC's empregam informações nem sempre completas manipulando-as através de métodos de raciocínio simbólico sem seguir modelos numéricos, para produzir aproximações satisfatórias ou aproximações úteis. Sendo assim, quanto mais completa e corretamente estiver representado o conhecimento, melhor será a saída do sistema. Para tanto se faz necessário a aquisição de conhecimento, uso de heurísticas, de métodos de representação de conhecimento e de máquinas de inferência. Com estas características os SBC's não somente diferem dos sistemas de informação convencionais, que apenas facilitam a obtenção e o armazenamento da informação, como também tornam-se úteis para a capacitação e o ensino.

2.2 Abordagens de ensino com suporte em Sistemas Baseados em Conhecimento

O desenvolvimento de metodologias e ferramentas que proporcionem melhorias no ensino tem proporcionado aos estudantes maior aproximação entre a teoria e a prática da engenharia, como mostram os exemplos descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplos de pesquisas que utilizam SBC's no ensino.

Autor	Descrição
Zdrahal <i>et al.</i> (2000)	O projeto RichODL, um ambiente de aprendizado via WEB desenvolvido para treinar estudantes na modelagem e simulação de ambientes dinâmicos, utiliza Ontologias para descrever o domínio físico dos sistemas modelados, além de suas correlações. Destaca a atividade de engenharia de projeto como complexa e que o "saber como" e o "saber fazer" obtidos pela experiência dos especialistas contribui para obter melhores resultados, fato que inspirou a criação de um SBC para preparar estudantes de engenharia para o mercado de trabalho. O sistema contempla uma biblioteca de casos e ainda possibilita ao estudante a iteração com um sistema <i>on line</i> via WEB denominado <i>Dynast Code</i> (Mann, 1999). Possui formalismo similar a um <i>software</i> de simulação como o MatLab, o qual permite alterar parâmetros da simulação para avaliar os efeitos que as grandezas consideradas exercem sobre o fenômeno em análise.
Tucho <i>et al.</i> (2003)	Propõe o desenvolvimento de ferramentas computacionais para o ensino na área de projeto de sistemas mecânicos, sem contemplar a modelagem e simulação dinâmica. Descreve as fases de desenvolvimento de um sistema de projeto inteligente composto por um sistema CAD, um sistema de banco de dados, programas de análise e cálculos de engenharia complementares, todos integrados a um SBC.
Maitelli & Silva (2004)	Descreveram a aplicação do ModSym, um ambiente computacional direcionado ao ensino de sistemas de controle. O software adota o conceito de energia na generalização de variáveis e elementos físicos. Nesta abordagem, o ModSym implementa uma interface gráfica para a modelagem de sistemas onde é possível conectar elementos generalizados de diversos domínios físicos na forma de <i>Bond Graph</i> (Grafos de Ligação).

2.3 Tutoriais Inteligentes

São softwares que se utilizam de técnicas de Inteligência Artificial (IA), assim como os SBC's e são capazes de identificar os erros mais frequentes e ajudar os alunos a superá-los, auxiliando na resolução de problemas específicos, ou auxiliando o professor a planejar suas aulas ou monitorar o desempenho dos alunos. Na educação com computadores, na linha dos programas de apoio ao ensino, está situada a aplicabilidade dos Sistemas Tutores Inteligentes (STI), que buscam potencializar a informática educativa através da aplicação de técnicas de IA junto aos programas educativos. Os STI's simulam o processo do pensamento humano, dentro de um determinado domínio, para auxiliar em estratégias nas soluções de problemas ou nas tomadas de decisões. Estes sistemas não são capazes apenas de armazenar e manipular dados, mas também da aquisição, representação, e manipulação de conhecimento. Esta manipulação inclui a capacidade de deduzir ou inferir novos conhecimentos - novas relações sobre fatos e conceitosa partir do conhecimento existente.



O projetista de um programa educacional necessita, antes de tudo, conhecer a teoria sobre processos de tomadas de decisões que vão desde o aspecto técnico até o aspecto pedagógico. É necessário que se lembre que os computadores nada mais são do que o meio e não o fim, isto é, eles são somente solucionadores de problemas, mas que sozinhos não fazem nada, e só podem se tornar úteis com a ajuda de um bom especialista. O professor detém o conhecimento teórico e deve dominar o assunto que pretende ensinar.

3 METODOLOGIAS E FERRAMENTAS DEFINIDAS PARA CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

O processo de aquisição do conhecimento é subsidiado por diferentes técnicas como imersão na literatura, entrevistas, etc., aplicadas em função da natureza do conhecimento adquirido, na consulta a especialistas, livros e catálogos de fabricantes.

Como metodologia de fundamentação para relacionamento dos conceitos necessários à construção da BC definiu-se por empregar Ontologias, tendo em vista a necessidade de representar características com o uso de linguagem natural, a representação do vocabulário e dos significados dos conceitos utilizados no processo de modelagem e, ainda, possibilitar reuso consensual do conhecimento formalizado e sua implementação computacional (como demonstrado nos trabalhos de (Breunese et al. 1998) e (Schreiber 1999)).

Ontologias são empregadas pelas áreas da Web Semântica e Gestão do Conhecimento para dar semântica e representação comum à informação. Mesmo sem uma definição consensual, Ontologias proporcionam soluções tecnológicas para resolver problemas de estruturação de dados, informações e principalmente na representação do conhecimento tácito, o qual é difícil de ser articulado na linguagem formal. Para (Sowa 2006) Ontologia é uma especificação formal explícita de uma conceitualização compartilhada. Complementa Rezende (2003) com reutilização e interoperabilidade, no sentido de que conceitos e relações sejam usados em diferentes BC.

Quanto às ferramentas analisadas e escolhidas para elaboração de um STI, para o processo de representação computacional adotou-se o software Protege versão Frames no formato de representação RDF (Resource Description Framework) de acordo com o protocolo OKBC (*Open Knowledge Base Connectivity*), fundamentado nas descrições de (Noy & McGuinness 2005). O Protege possibilita a geração de código computacional que permite implementações computacionais (exemplo SE ou STI, utilizando a *shell* CLIPS).

O CLIPS é uma ferramenta que permite o total desenvolvimento de SE baseados em regras. É facilmente extensível pelo uso de protocolos já fortemente definidos e pauta-se principalmente na portabilidade entre vários sistemas operacionais. Ele pode ser embutido em código procedural, chamado como uma sub-rotina, e integrado com linguagens como C, Java e FORTRAN. Ele Compila em vários sistemas operacionais inclusive com versão em Java.

Para orientar a aquisição de conhecimento no domínio de modelagem e simulação dinâmica e como Base de Modelos adotou-se o ambiente AMESim (*Advanced Modeling Environment for Simulations*) aplicado em diversas pesquisas, como exemplo Silva e Silva (2002). Considera-se que: (i) os componentes representados em sua BM são suficientemente robustos e amplos nos domínios energéticos definidos, previamente modelados, testados e validados, além de possibilitar o reuso em diferentes aplicações em sistemas do mundo real. Também garante a consistência quanto à fundamentação física e formulação matemática. Suas bibliotecas descrevem o conteúdo de engenharia envolvido na representação dos modelos dos componentes em termos simples (a engenharia é aberta e o código computacional é fechado); (ii) possibilita consulta às bibliotecas por meio de recursos de hipertexto.



4 DESENVOLVIMENTO DA BASE DE CONHECIMENTO (BC)

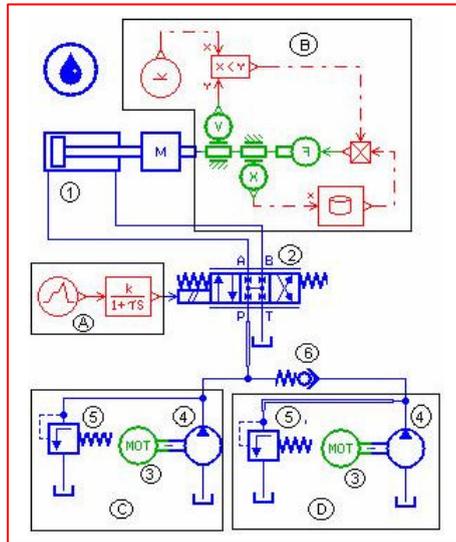
O princípio que norteia esta pesquisa é de que um mesmo modelo matemático que representa um determinado comportamento dinâmico para um tipo de componente pode ser reutilizado em diferentes aplicações em função da análise desejada. Os sistemas energéticos e seus componentes podem ser arranjados em uma estrutura orientada a objetos, por meio de heranças que definem classes e seus atributos constituindo uma taxonomia. Taxonomia é uma representação estruturada na qual elementos que integram um determinado domínio ou conjunto podem ser classificados hierarquicamente, estabelecendo um tipo de relacionamento entre estes, que facilitem a sua identificação. A associação destes atributos, que também contempla conceitos dos fenômenos envolvidos, define instâncias destas classes as quais representam as saídas da BC. Estas instâncias são associadas a um modelo dinâmico de simulação existente em uma BM previamente representada.

Em função do problema e do objetivo anteriormente descritos, definiu-se o escopo da Representação do Conhecimento (RC) no domínio energético dos Sistemas Hidráulicos, complementado pelos domínios Mecânicos e de Sinal. Analogias com estes sistemas podem ser facilmente aplicadas a sistemas energéticos, como pneumáticos e elétricos. Justifica-se ainda: (i) Hidráulica: Segundo (Silva 1998) estes sistemas apresentam boa fundamentação teórica em modelagem e análise e, seus componentes exercem funções específicas no sistema, o que facilita o uso de técnicas de orientação a objeto. (ii) Mecânica: permite a inclusão de elementos e cargas de movimento linear e rotacional, massas, dispositivos de medição; conversores e transdutores entre diferentes domínios como rotacional e de sinal; (iii) Sinal: fornece diferentes tipos de sinais que simulam controles de operação ou forças aplicadas a um sistema (Ex.: a força de reação ao movimento de um cilindro em uma prensa hidráulica).

Com o objetivo de proporcionar a amplitude necessária à representação do conhecimento, optou-se por utilizar como exemplo de Sistema Físico (sistema de engenharia) uma prensa hidráulica, fundamentado nos trabalhos de (Prado 2002) e (Back et al. 2008). Este sistema apesar de sua aparente simplicidade tem nove variáveis de estado, no qual o comportamento dinâmico do sistema é composto por nove equações diferenciais de primeira ordem. Este tipo de sistema hidráulico permite variações em termos de conformações em seus sistemas e subsistemas interligados fisicamente e a aplicação de diferentes componentes e funções. A Figura 3, com o uso simbologia ISO, representa o diagrama de prensa hidráulica no ambiente de modelagem e simulação dinâmica AMESim Versão 4.2.

Segundo Prado (2002) a construção de um modelo matemático para análise de uma característica operacional ou funcional de um tipo de prensa, aplica-se a outras máquinas de operação similar como posicionadores tipo mesa, etc. Dentre as possibilidades de análise de comportamento dinâmico pode-se avaliar: variação da pressão e vazão do sistema; o comportamento do deslocamento do cilindro em relação ao tempo; a força de resistência do material em relação ao tempo; a força de resistência em função do deslocamento do êmbolo para verificar o que ocorre no momento no qual o pistão encontra a peça a ser conformada (força que ocorre no avanço do pistão e crescente com a profundidade de conformação).

Como exemplo da transferência de potência e relacionamento entre os diferentes sistemas descreve-se a conexão entre um motor elétrico e uma bomba hidráulica (ver figura 3) pode-se a forma da energia varia dentro de cada sistema. O motor elétrico é conectado a uma fonte de potência elétrica que fornece tensão (esforço - V) que ao ser aplicada ao motor, retorna corrente (fluxo - A). O motor elétrico fornece velocidade (fluxo - rev/min) que é transferida para a bomba hidráulica pelo acoplamento que em contrapartida retorna ao motor torque (esforço- N.m). A bomba hidráulica transformará a rotação em vazão de fluido hidráulico para o circuito (fluxo). Em função das características dos componentes do sistema hidráulico, este retorna à bomba pressão (esforço – resultado da resistência oferecida ao fluxo (vazão)).



- 1 - Cilindro – atuador hidráulico.
- 2 - Válvula direcional proporcional (limitação e controle de energia).
- 3 - Motores elétricos de velocidade constante.
- 4 - Bombas hidráulicas (hidrostáticas) de deslocamento fixo.
- 5 - Válvula de segurança - alívio de pressão.
- 6 - Válvula de retenção simples com mola.

- A - Sinal de referência para válvula direcional com um atraso de 1ª ordem.
 B - Circuito que simula a resistência que a peça conformada oferece. Somente atua quando o cilindro está avançado.
 C - Circuito de alta pressão e baixa vazão para compressão da peça.
 D - Circuito de baixa pressão e alta vazão, para avanço e retorno rápidos do atuador.

Ao representar o sistema na interface gráfica do software AMESim, na medida em que se constroem as conexões através das portas dos componentes, vão se estabelecendo as relações de causalidade e a conectividade dos diferentes domínios energéticos envolvidos analisando as suas variáveis de potência.

As velocidades de aproximação e de prensagem são diferentes. Componentes dos domínios destacados pelas cores: hidráulico (azul); mecânico (verde); sinal e controle (vermelho).

Figura 3 - Prensa para conformação, de movimento combinado, com divisão dos subsistemas.

O quadro 1 demonstra o relacionamento entre os elementos físicos, suas características elementares e as respectivas correspondências com os diferentes domínios da física: Mecânica, Hidráulica e Elétrica. Demonstram-se também as variáveis de potência representadas por esforço e fluxo de energia, mutuamente dependentes, cuja interpretação física e nomenclatura variam conforme o domínio do sistema estudado.

Quadro 1 – Relacionamento entre elementos dos domínios da física: Mecânica, Hidráulica e Elétrica. O produto do Fluxo x Esforço = Potência (Ex.: no domínio elétrico $P=E \cdot I$)

Elementos físicos	Característica elementar	Domínios da física		
		Mecânica	Hidráulica	Elétrica
Inercial	Acumula energia	Massa	Inércia hidráulica	Indutor
Capacitivo	Acumula energia	Molas, barra de torção	Tanques a gravidade e acumuladores	Capacitor
Resistivo	Dissipa energia	Amortecedor mecânico, amortecedor a êmbolo	Porosidade, rugosidade em linhas de fluidos	Resistor
Variáveis de Potência	ESFORÇO (e)	Força (F)	Pressão (P)	Tensão (E)
		Torque (t)		
	FLUXO (f)	Velocidade (v)	Vazão (Q)	Corrente (I)
		Velocidade angular (ω)		

Para a construção da BC foi adotado o procedimento de desenvolvimento incremental, contemplando as fases de planejamento, aquisição, representação, implementação e validação e refinamento (Figura 2).

Para oportunizar implementação computacional, reuso e interoperabilidade, definiu-se pela RC por meio de Ontologia baseada em *frames* (heranças), a qual possibilita estruturação taxonômica por classes organizadas hierarquicamente, associadas a *slots* (características) que descrevem seus atributos (propriedades) e um conjunto de instâncias destas classes (definem modelos dinâmicos de representação). A Figura 4 ilustra telas do software Protégè utilizado para representação do conhecimento. Destaca-se a classe de Componentes de Sistemas Hidráulicos com a definição das instâncias (saídas no *Instance Editor*) para a classe linhas



representação apresentada na Figura 4. O Protege oportuniza o estabelecimento de *Queries* (encadeamento lógico de busca), pelas quais é possível efetuar a verificação da associação estabelecida ente característica (*Slots*) definidas. Por meio das *Queries* o especialista pode verificar se a combinação dos valores ou descrições dos *Slots* fornece uma saída adequada com as associações definidas na construção da BC. Por exemplo, para uma linha hidráulica pode-se desejar modelar somente o efeito característico capacitivo. As saídas da BC serão todos os modelos que possuem em sua representação este efeito conforme Figura 5 superior.

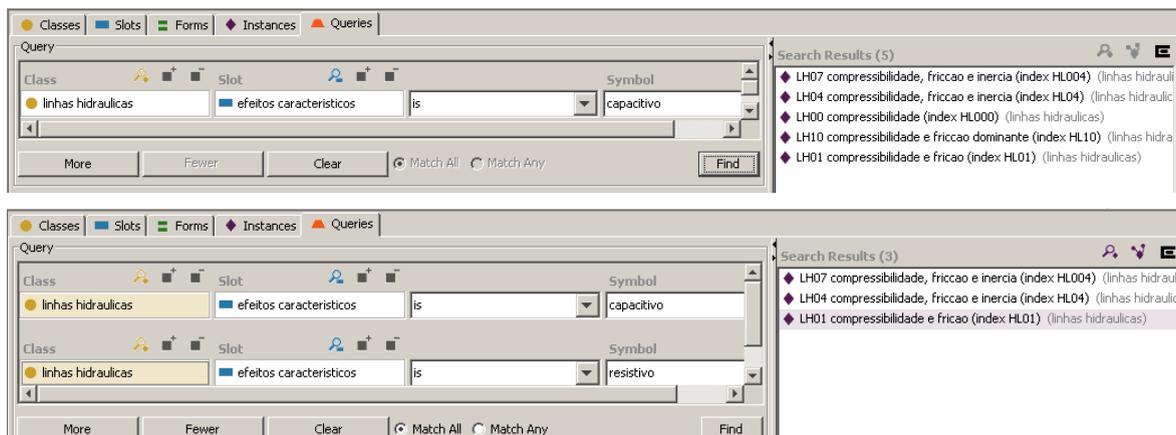


Figura 5 – *Queries* - associa os efeitos característicos na definir um modelo de linha

Para adicionar o efeito resistivo as saídas serão os modelos demonstrados na Figura 5 inferior. Claramente observa-se a redução das instâncias que representam um comportamento dinâmico desejado associado às características de efeitos físicos.

6 VALIDAÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

Para validação, além dos procedimentos anteriores, considerou-se a efetiva utilização da BC. Para tanto estabeleceu-se como premissa fundamental: “se” um usuário/projetista, orientados pelos conceitos representados e disponibilizados na BC, for capaz de modelar um sistema para implementá-lo em um Ambiente Virtual de Modelagem e Simulação Dinâmica Unidimensional (AVMSD), efetuar a simulação e analisar os resultados, a BC cumpriu os objetivos a que se propõe. Esta etapa do processo consistiu em fornecer a especialistas e a um grupo de alunos de Engenharia Mecânica, os diagramas previamente dimensionados de três sistemas hidráulicos, para os quais foram indicadas as análises dinâmicas desejáveis. As orientações aos usuários sobre a consulta às informações da BC são oportunizadas por um Módulo de Interface via WEB, (protótipo para construção do Tutorial Inteligente) o qual disponibiliza acesso a recursos de hipertexto como tutoriais no formato de textos e vídeos. Os usuários de hipertexto dependem de um esquema organizacional baseado no computador que lhes permita moverem-se, rápida e facilmente, de uma seção de texto para outras seções relacionadas ao texto. Para proporcionar ordenação dos conteúdos para o estabelecimento de relações semânticas que proporcionem a correta decodificação da mensagem, avaliou-se a melhor estrutura de ordenação dos conteúdos a serem disponibilizados de modo a proporcionar um processo de busca que possibilite uma rápida navegação pelas categorias da taxonomia (classes da ontologia), utilizando os relacionamentos hierárquicos até encontrar os documentos com a descrição dos componentes desejados. Em função das características de interação com o usuário a externalização da Base de Conhecimento é organizada com base em



hipertexto. A Figura 7 representa a interação proposta para utilização da BC, incluindo o módulo de interface entre o usuário e a BC, o qual será objeto do desenvolvimento do STI.

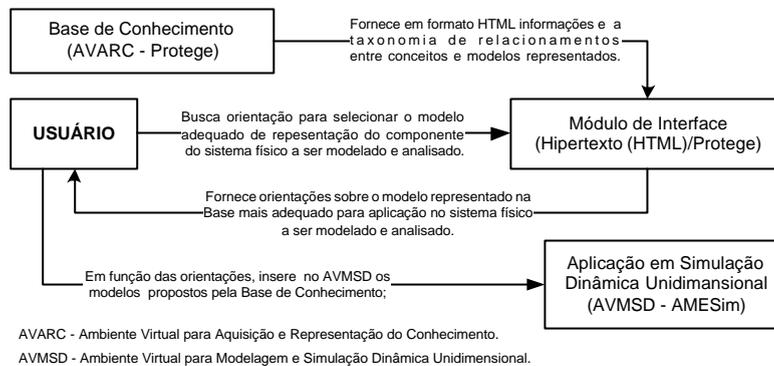


Figura 7 - Processo de interação entre usuário e a Base de Conhecimento

Após a realização das tarefas para validação, foi respondido um questionário de avaliação que contemplou: a qualidade das informações fornecidas pela BC; a abrangência e a possibilidade de re-aplicação dos exemplos propostos para modelagem; a interface para interação com o usuário e ainda, o aprendizado proporcionado no processo de validação.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comprovaram-se ganhos no aprendizado dos alunos no que se refere aos conhecimentos gerais dos domínios energéticos envolvidos, bem como em modelagem e simulação, área até então desconhecida pela maioria dos alunos. Todos os envolvidos consideraram que as informações disponibilizadas constituem importante material para o aprendizado da Engenharia. Compreenderam o processo de modelagem de um sistema de engenharia pela seleção dos modelos propostos pela Base de Conhecimento, implementaram os sistemas modelados e executaram a simulação com auxílio do software para análise de comportamento dinâmico. Como os usuários da BC construíram seus modelos em função das informações disponibilizadas via WEB, comprovou-se: a possibilidade de modelar componentes orientando-se no comportamento dinâmico esperado dos sistemas físicos por meio das análises a serem efetuadas associando-os a modelos de componentes previamente representados em uma BM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BINDER. Testing Object-Oriented Systems: Models, Patterns and Tools. Addison-Wesley, 2000.
- BREUNESSE, A. P.J et al. Libraries of Reusable Models: Theory and Application. Simulation v. 71, n. 1, p. 7-22, 1998. Disponível <<http://citeseer.ist.psu.edu/>, acesso novembro 2006>.
- MAITELLI, André Laurindo; Silva, Gilbert Azevedo (2004) Um Ambiente Computacional para Modelagem Simbólica de Sistemas Físicos Lineares Utilizando Grafos disponível em www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=609, acesso outubro 2008.
- MILLER, J. A., Fishwick, P. A. 2004, "Investigating Ontologies for Simulation Modeling." In: 37th Annual Simulation Symposium (ANSS 04), Compute Society, p. 55-63, 18-22, abr/2004.
- MUSEN, M.A., FAGAN, L. M., COMBS, D.M. e SHORTLIFFE E.H. Use of a Domain Model to Drive an Interactive Knowledge-Editing Tool. International Journal of Man-Machine Studies, v. 6, n. 1, p. 105-121, 1987.



- NOY, N. F., MCGUINNESS, D. (2005). *Ontology Development 101: Guide to Criating Your First Ontology*. 2005. Stanford University, Stanford, CA. Disponível em: <http://www.ksl.stanford.edu/>. Acesso em 20 julho 2006.
- OLIVEIRA, D. N., Cunha Jr, H., Teixeira, V. S. C. 2006, “Modelagem Bond graph e o Ensino de Engenharia Elétrica - Representação das Máquinas Elétricas.” Em ANAIS DO XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
- REZENDE, S. O. 2003, “Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações.” São Paulo: Manole, 525p.
- SCHEREIBER, G., et al. *Knowledge engineering and management – The CommonKADS methodology*, Cambridge: The MIT Press., 1999, p. 465.
- SHIGLEY, J. E., MISCHEKE, C. R., BUDYNAS, R. G. 2005, “Projeto de Engenharia Mecânica” 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 960 p.
- SILVA JR., Alvino C. e SILVA, Jonny C.. *Integração entre Sistemas Especialistas e Simulação para o Monitoramento de Redes de Transporte de Gás Natural*. II CONEM- Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, João Pessoa, Agosto 2002.
- SOWA, J. F., 1999. “Building,sharing and merging ontologies.” Tutorial disponível em <<http://users.bestweb.net/%7Esowa/ontology/ontoshar.htm>>, acesso 15 julho 2006.
- TUCHO, R. et al. 2003. “Expert tutoring system for teaching mechanical engineering. Expert systems with applications, v. 24, n. 4, p. 415-424”. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/> Acesso 7 de agosto de 2004>.
- ZDRAHAL et al., 2000. “Sharing engineering design knowledge in a distributed environment.” Knowledge Media Institute The Open University, Milton Keynes, UK. Disponível <http://citeseer.ist.psu.edu/> Acesso agosto 2006.

KNOWLEDGE BASE FOR INTELLIGENT TUTORIAL APPLICATION FOR THE TEACHING OF MODELING AND SIMULATION OF ENGINEERING SYSTEMS

Abstract: *This article presents the development of a knowledge base (KB) applied to a web learning context prototype whose purpose is to guide the modeling of an engineering system through reused mathematical models that describe a dynamic behavior existent in a base of models previously represented, tested and validated within different industrial and academic applications. The knowledge representation of this base establishes the association between concepts and physical effect characteristics (resistive, capacitive, inductive and inertial) and the physical properties of the system and dimensioning characteristics of the components. The properly implemented KB in the learning context, thorough the usage of computers, represents an alternative for a low cost teaching/learning methodology, both in and out of the classroom scope so as to consistently approximate theory and practice. In order to enable the computational implementation, reuse and interoperability, the knowledge representation by means of Ontology based on frames (heritages) was used as it allows a taxonomic structure by hierarchical organized classes, which are associated to characteristics that describe its attributes (properties) and a group of instances that define dynamic models of representations of these classes. The KB was assessed through practical activities developed by Mechanical Engineering students. Results demonstrated an increase in learning referred to the general knowledge concerning the energetic domains involved as well as in the modeling of engineering systems with a later simulation for behavior analysis. As a future accomplishment, this KB will be implemented in intelligent tutorials for the teaching of projects and engineering systems simulations.*

Key-words: *Engineering Teaching, Modeling and Simulation, Knowledge Base*