

Base de conhecimento para orientar a modelagem e simulação unidimensional de sistemas de engenharia

Luiz Amilton Pepplow¹, Jonny Carlos da Silva², Renan Ferreira Dutra³

1- Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - UTFPR – Curitiba, PR - CEP: 80.230-901

luizpepplow@utfpr.edu.br

2- Departamento de Engenharia Mecânica – UFSC – Florianópolis, SC - CEP: 88.040-970

3- Departamento Acadêmico de Eletrotécnica - UTFPR – Curitiba, PR - CEP: 80.230-901

jonny@emc.ufsc.br; bob1485rfd@hotmail.com

Resumo: *Este trabalho descreve a construção de uma Base de Conhecimento (BC) para orientar a modelagem de sistemas de engenharia que representem sistemas físicos reais, pela reutilização de modelos de componentes existentes em uma Base de Modelos (BM) os quais descrevem um determinado comportamento dinâmico, com vista à implementação em ambiente virtual de modelagem e simulação dinâmica unidimensional para análise operacional. Os modelos extraídos da BM do software AMESim foram testados e validados em aplicações industriais e acadêmicas. Com utilização da BC pretende-se reduzir os esforços de engenharia na construção de modelos dinâmicos aplicados em simulação virtual, que envolvem grande complexidade, habilidades e abstração em diferentes domínios energéticos e conhecimentos matemáticos, físicos e computacionais. A Representação do Conhecimento (RC) estabelece associação entre conceitos, características de efeitos físicos (resistivo, capacitivo e indutivo) as propriedades físicas do sistema e as características de dimensionamento de componentes. 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). Para o processo de representação computacional adotou-se o software Protege versão Frames no formato de representação RDF (Resource Description Framework). Esta ferramenta possibilita a geração de código computacional que permite futuras implementações (p.e. sistema especialista utilizando a shell CLIPS ou por uma interface HTML). O Protege proporciona o estabelecimento de Queries (encadeamento lógico de busca) para analisar as instâncias (saídas) dos modelos gerados permitindo a verificação da RC. A BC foi disponibilizada por meio de interface WEB e avaliada em atividades práticas desenvolvidas por alunos de Engenharia Mecânica. Comprovaram-se a contribuição tanto na construção de modelos de sistemas de engenharia para análise de operação como no processo ensino-aprendizagem.*

Palavras chave: *Modelagem e simulação dinâmica unidimensional; representação do conhecimento; base de conhecimento.*

Mini-simpósio: Simulação Computacional.

1 INTRODUÇÃO

No contexto do processo de desenvolvimento de produto descrito por Back (1993), definida a alternativa de solução, na fase de projeto preliminar remete-se à modelagem e simulação do sistema proposto. Uma das tarefas do engenheiro é efetuar a modelagem (construir um modelo) deste produto para representá-lo mediante uma estrutura mais simplificada que facilite sua análise e avaliação antes de encaminhá-lo para produção. Modelo pode ser definido como uma representação física, mental ou virtual de um objeto real, que pode representar diferentes subsistemas ou sistemas que compõe o produto. Segundo Back *et al* (2008) com modelos é possível um exame rápido da situação de muitas variáveis, determinando suas sensibilidades. Na fase de projeto deve-se encontrar um modelo que simule de modo adequado o sistema físico real para reconstituir sua rotina funcional para análise de comportamento (SHIGLEY *et al.* (2005)).

Diferentes modelos podem ser empregados para comparar os resultados sob diferentes pontos de vista em função da dinâmica a ser representada. Podem ser adotados ensaios em laboratório ou, como alternativa, serem utilizados modelos matemáticos aplicáveis em simulação dinâmica computacional. Segundo Back *et al.* (2008) e Ogata (2004) há limitações ao descrever um fenômeno físico por meio de um modelo e prever seu comportamento. Erros de formulação do modelo ao final da simulação produzem resultados incompatíveis com o objetivo do problema, o que pode conduzir a tomada de decisões equivocadas. O grau de erro depende das suposições e simplificações efetuadas pelo projetista, relacionando-se diretamente com o que ele entende do problema, o quanto da situação se decide incluir e o que necessita obter da solução. Lebrun e Richard (1997) destacam a modelagem virtual como alternativa de solução, os problemas representativos neste tipo de abordagem e diferenças entre técnicas de modelagem disponíveis.

A modelagem e simulação de sistemas de engenharia são tarefas intensivas em conhecimento, fato que possibilita sua representação e reutilização por meio de um Sistema Baseado 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. Exemplos de trabalhos nesta área são: Zdrahal *et al.* (2000), Tucho *et al.* (2003), Christley *et al.* (2004).

Esta pesquisa 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 de componentes previamente representados, testados e validados que descrevem um determinado comportamento dinâmico. Estes modelos estão 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 e etapas que orientam a construção e representação da BC e o processo verificação e validação.

2 ABORDAGENS ADOTADAS POR AMBIENTES PARA MODELAGEM E SIMULAÇÃO DINÂMICA VIRTUAL

Estes ambientes utilizam técnicas ou abordagens distintas para a modelagem matemática de seus componentes e a simulação. Entre essas, as que mais se destacam são a abordagem de fluxo de sinal empregadas em softwares como Matlab, XMath, Easy e VisSim e, multiportas a qual envolve fluxo de potência e é derivada da técnica *Bond Graph* (grafos de ligação – GL) em softwares como ITI-Sim, 20 Sim, Hopsan e AMESim.

A abordagem de GL desenvolvida em 1959 pelo professor Dr. Paynter, considera a união de diferentes domínios físicos, por conseguinte, a modelagem de sistemas energéticos envolvendo múltiplos domínios de energia por intermédio da transferência de potência em uma plataforma comum. A aplicação desta abordagem pode ser encontrada em: Barbosa (2001), Silva (2005), Carrera (2006), Oliveira, *et. al.* (2006). Em função das características analisadas adotou-se *software* que utiliza esta abordagem.

O Quadro 1, apresenta associações entre elementos e características elementares relacionados com os domínios da física: Mecânico, Hidráulico e Elétrico, e as respectivas variáveis de potência. O produto do fluxo e do esforço resulta no valor da potência.

Elemento	Característica	Domínio Físico Mecânico	Hidráulico	Elétrico
Inércia	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)		

Quadro 1 – Relacionamento entre elementos dos domínios da física na abordagem *Bond Graph*

As seções seguintes apresentam o desenvolvimento da BC descrevendo: os critérios, os relacionamentos estabelecidos e as metodologias e fontes de informação adotados.

3 DESENVOLVIMENTO DA BASE DE CONHECIMENTO (BC)

A Figura 1 apresenta as etapas propostas para a construção incremental da BC contemplando as fases indicadas na primeira coluna da esquerda. Em função do problema e do objetivo anteriormente descrito, definiu-se o escopo da Representação do Conhecimento (RC) no domínio energético em 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 que 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 (p. e. a força de reação ao movimento de um cilindro em uma prensa hidráulica).

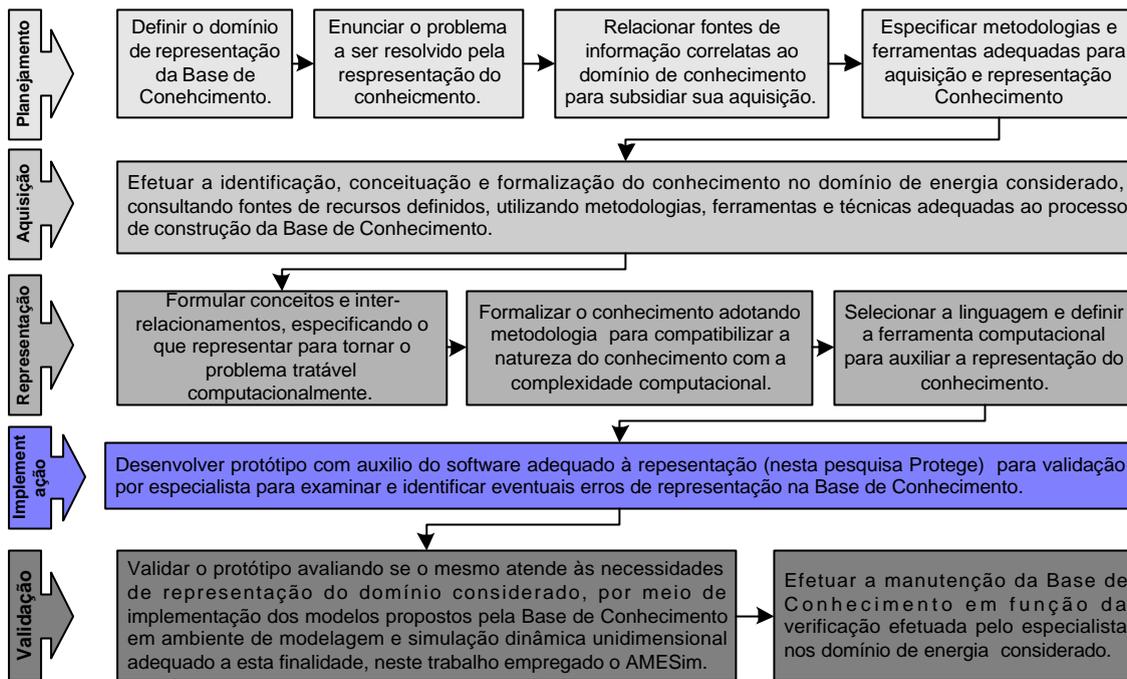
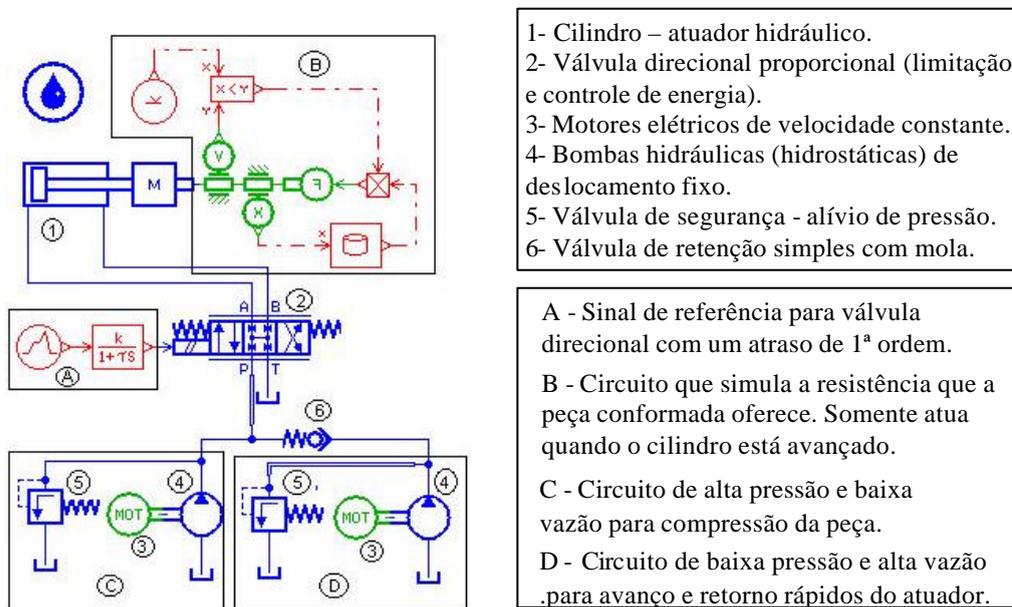


Figura 1 - Fluxograma com a identificação das etapas propostas para a construção da BC

Em função do caráter de desenvolvimento incremental da construção da BC, para determinar quais os componentes e sistema a serem utilizados para RC, definiu-se como caso de estudo a modelagem de uma Prensa Hidráulica.



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. Como exemplos têm-se a vazão e pressão nas portas hidráulicas, torque e velocidade angular na porta mecânica, que são as variáveis de potência do sistema motor-bomba.

Figura 2 - Diagrama de prensa de movimento combinado para conformação com divisão dos subsistemas. As velocidades de aproximação e de prensagem são diferentes. Os componentes dos domínios destacam-se pelas cores: hidráulico – azul; mecânico – verde; vermelho - sinal e controle

A Figura 2 com o uso simbologia¹ ISO representa o diagrama de prensa hidráulica no ambiente de modelagem e simulação dinâmica AMESim V 4.2. 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 para expressar a necessária amplitude de representação das características de operação. Segundo Prado (2002) a construção de um modelo matemático para análise de uma característica operacional ou funcional para um tipo de prensa, pode ser estendida a outros tipos de 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 mesma força em função da posição do êmbolo (Força X deslocamento), por exemplo, 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).

2.1. METODOLOGIAS E FERRAMENTAS PARA CONSTRUÇÃO DA BC

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.

Definido o sistema a ser analisado, é necessário verificar se determinadas características como comprimento e diâmetro de tubulação, regime de escoamento do fluido, valores de pressões e vazões do sistema, etc foram determinados na fase de projeto. Estas características serão adequadamente relacionadas com efeitos físicos característicos e conceitos no domínio de representação para proceder a escolha do modelo dinâmico de um componente. Esta verificação pode ser subsidiada por Fialho (2004) que descreve nove passos para o dimensionamento de um sistema hidráulico aplicado a uma prensa.

Foi definido pelo uso do software AMESim para aquisição de conhecimento considerando que: (i) os componentes representados em sua Base de Modelos 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 sem a necessidade de instalação e uso de software dedicado. O AMESim foi utilizado em diversas pesquisas, como exemplo Silva e Silva (2002).

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 no trabalho de Breunese *et al.* (1998)). Citam-se ainda 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 Fensel (2001) e Sowa

¹ Comumente são utilizadas as normas NBR 8896; NBR 8897; NBR 8898; ISO 1219; DIN 24342/1.

(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.

2.2. REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO (RC)

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. A Figura 3 exemplifica relação empregada na RC para seleção de um modelo de componente.

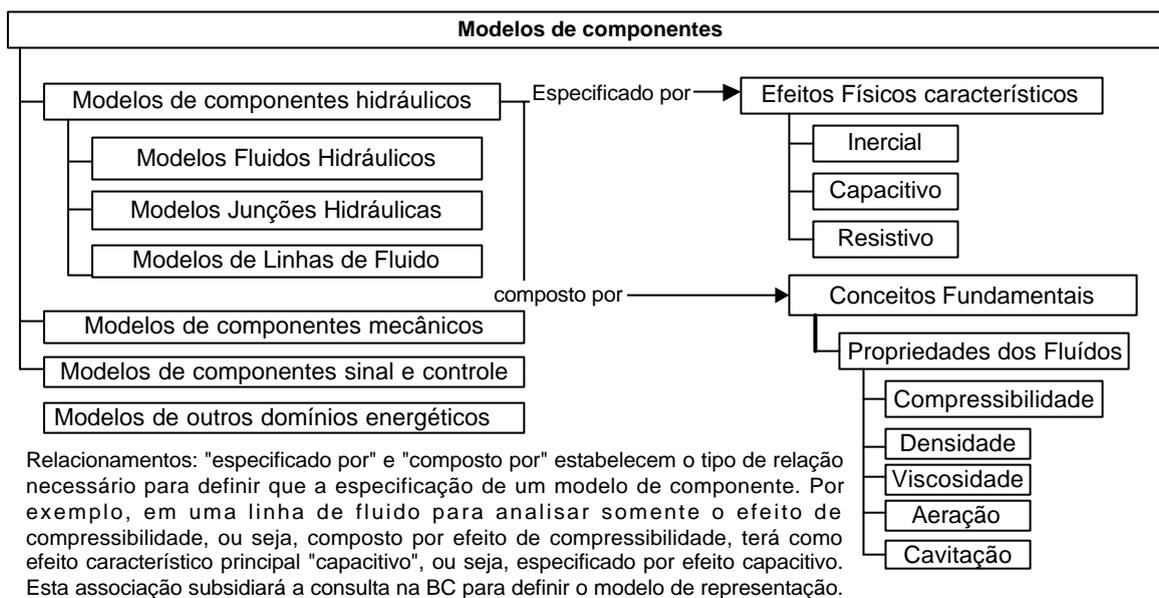


Figura 3 – Fluxograma com a representação das taxonomias entre conceitos, efeitos físicos e modelos.

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. A adequada associação destes atributos por meio de uma taxonomia,² que também contempla conceitos dos fenômenos envolvidos, define instâncias destas classes. Para este caso em estudo foram considerados relacionamentos do tipo: “especificado por” e “composto por”.

Estas instâncias que representam a saída da Base de Conhecimento (BC) são associadas a um modelo dinâmico de simulação existente em uma Base de Modelos previamente representada. 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). 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*) NOY E MCGUINNESS. (2005).

² 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. Por exemplo, no domínio hidráulico pode-se distinguir: sistemas, sub-sistemas, componentes, conceitos e efeitos físicos característicos.

A Figura 4 ilustra telas capturadas no software Protege e demonstram sua aplicação para a representação do conhecimento, na qual é apresentada a classe de Componentes de Sistemas Hidráulicos. Verifica-se também a definição das instâncias (saídas no *Instance Editor*) para a classe linhas hidráulicas e as características (atributos) devidamente associadas. No campo Modelo de Linha Hidráulica (*LH00 compressibilidade* associado a um modelo da BM *index HL00*), corresponde a um modelo que considera o efeito de simples compressibilidade na linha de fluido.

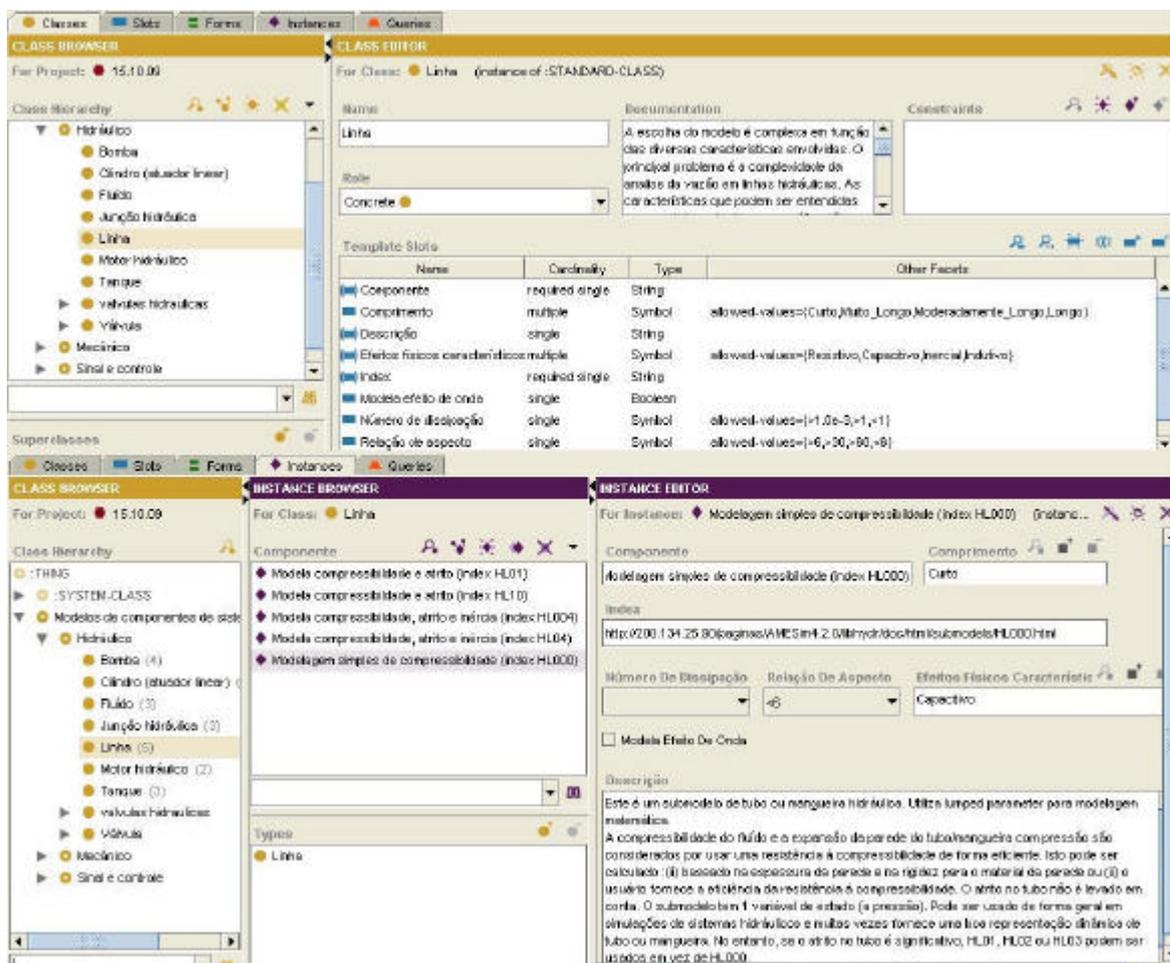


Figura 4 - Exemplo de RC no Protege – associa os atributos para definir um modelo de linha de fluido

2.3. VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

Para os processos de verificação/validação, consideraram-se procedimentos tradicionais aplicados em engenharia de *software* como descrito por Binder (2000). Além da 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. A saída fornecida pela BC serão todos os modelos que possuem em sua representação este efeito conforme Figura 5 superior. Caso se deseje associar mais o efeito resistivo as saídas serão os modelos correspondentes demonstrados na Figura 5 inferior. Claramente observa-

se a redução das instâncias que representam um comportamento dinâmico desejado associado às características de efeitos físicos.

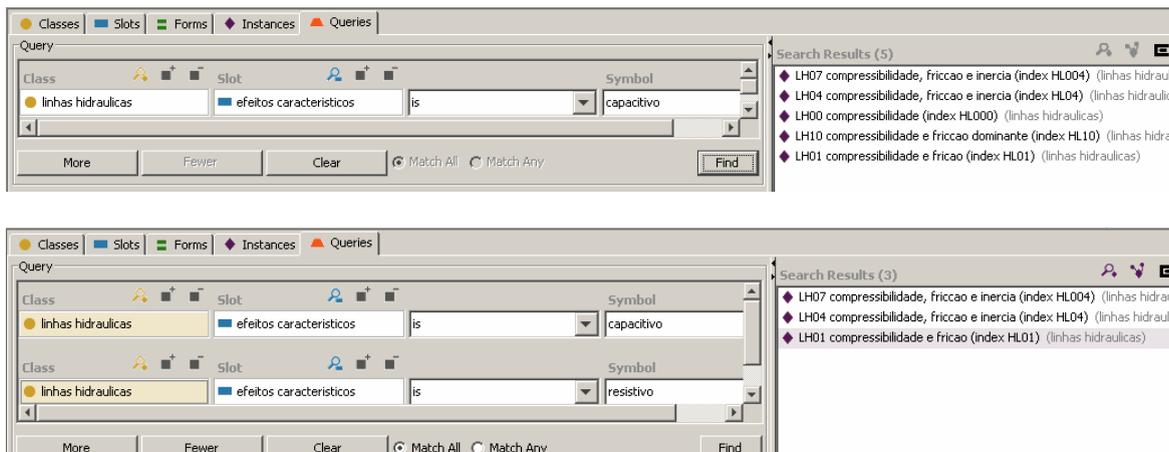


Figura 5 - Exemplo de Query (associa os efeitos característicos para definir um modelo de linha)

Ainda 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 (AVMSD³), efetuar a simulação e analisar os resultados, a BC cumpriu os objetivos a que se propõe.

Esta etapa do processo de validação 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 foram oportunizadas por um Módulo de Interface via WEB, o qual disponibiliza acesso a recursos de hipertexto como tutoriais no formato de textos e vídeos. Após a realização das tarefas propostas para validação, foi respondido um questionário de avaliação que contemplou aspectos relacionados com a qualidade das informações fornecidas pela BC, sobre a abrangência e a possibilidade de re-aplicação dos exemplos propostos para modelagem e ainda, sobre a interface disponibilizada para interação com o usuário. Foi solicitado ainda informações quanto ao aprendizado havido no desenvolvimento do processo de validação.

4 CÓDIGO COMPUTACIONAL EXPORTADO NO FORMATO CLIPS

Os códigos apresentados nos textos abaixo são um pequeno exemplo da representação do conhecimento com auxílio do software Protege, os quais estão convertidos em formatos que definem o conjunto de regras oportunizadas pela ontologia contendo todas as características de representação computacional aplicada em programação orientada a objetos, e o conjunto de Instâncias desta base. Toda descrição em linguagem natural também é identificada. Este código computacional que compõe a Base de Conhecimento, permitirá sua aplicação em outras ferramentas de software como, por exemplo, *shell* de sistemas especialistas. Uma das possibilidades de aplicação pode ser o desenvolvimento de tutoriais inteligentes..

³ nesta pesquisa utilizado o software AMESim

```

      (type STRING)
;+ (cardinality 0 1)
      (create-accessor read-write))
      ((BC_teste_050808b_Instance_10004) of %3AINSTANCE-ANNOTATION
      (single-slot Operacao (type SYMBOL)
      (allowed-values Elastica)
      (%3AANNOTATED-INSTANCE [BC_teste_050808b_Instance_2])
      (%3AANNOTATION-TEXT "HL000 não representa o efeito de
;+ (cardinality 1 1)
      (create-accessor read-write))
      viscosidade (fricção). Representa o modelo mais simples de linhas
      (single-slot simples_compressibilidade
      hidráulicas, com uma câmara de pressão somente modelando o efeito
      (%3ACREATION-TIMESTAMP "2008.08.06 11:07:11.921 BRT")
      (%3ACREATOR "Usuário"))
;+ (comment "Representa um modelo de linha
      hidráulica muito simples. A análise para escolha do modelo
      considera somente o efeito capacitivo, que o comprimento total das
      linhas do sistema hidráulico é desprezível para apresentar efeito
      resistivo, na velocidade e massa do fluido são insignificantes para
      considerar o efeito da inércia. Para maiores detalhes de engenharia
      ver:
      D:\Doutorado\HTML_tese\AMESim4.2.0\libhydr\doc\html\submodels\
      HL000.html")

```

5 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. Somente um dos envolvidos havia trabalhado com um software de modelagem e simulação como o AMESim, um deles com o próprio AMESim, alguns com o Modysim e a maioria somente com o MATLAB sem incluir o módulo Simulink. 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 Base de Modelos.

A proposta para futuras pesquisas está traduzida em trabalhos em andamento para representação do conhecimento nos domínios elétrico e eletromagnético, controle de sistemas, além de abordagem WEB para disponibilizar o acesso à Base de Conhecimento representada e de um sistema especialista nos moldes de tutorial inteligente para orientar a modelagem e simulação dinâmica de sistemas de engenharia.

6 BIBLIOGRAFIA

- Barbosa, Euler Gonçalves. Modelagem por Grafos de Ligação de Estrutura Flexível com Atuação Hidráulica. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica). Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.
- Binder. Testing Object-Oriented Systems: Models, Patterns and Tools. Addison-Wesley, 2000.
- Breunese, 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/>> novembro 2006.
- Carrera, Ricardo Ariane Silva. Modelagem Dinâmica e Controle de Turbina a Gás. 2006, 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica). Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.
- Christley, Scott; Xiang, Xiaorong; Madey, Greg. An Ontology for Agent-Based Modeling and Simulation. Computer Science and Engineering, University of Notre Dame, (2004). Disponível em <<http://beauwrath.cse.nd.edu>> Acesso em: 19 novembro 2006.

- Clavier A., Alirand A., Vernat F., Sagot B., ENSEEIHT, IMAGINE, ESTACA “Local Approach To Improve The Global Approach Of Hydraulic Forces In Ball Poppet Valves” 4th Int. Symposium on Fluid Power, Wuhan, China, April 8-10 2003
- Fensel, D. et al.. OIL: an ontology infrastructure for the semantic web. IEEE Intelligent Systems, v. 1, n.2, p. 38-45, mar/apr 2001.
- Lebrun, Michel; Ric hards, Claude. How to Create Good Models Without Writing a Single Line of Code. In: 5th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP'97, Linköping Sweden, May 28-29 1997.
- 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.
- Ogata, Katsuhiko. Engenharia de controle moderno. Tradução Ivan José de Albuquerque. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 2. ed, 1993, 781p.
- Oliveira, Danilo Nobre; Cunha Jr, Henrique; Teixeira, Vanessa Siqueira de Castro. 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, Solange Oliveira. **Sistemas Inteligentes - Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Manole, 2003, 525p.
- Shigley, Joseph E.; Mischke, Charles R.; Budynas, Richard G.. Projeto de Engenharia Mecânica, 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005, 960 p.
- Schreiber, G., et al. Knowledge engineering and management – The CommonKADS methodology, Cambridge: The MIT Press., 1999, p. 465.
- SILVA, Jonny Carlos da, Expert System Prototype for Hydraulic System Design Focusing on Concurrent Engineering Aspects. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis
- SILVA, Itamar Pífano. Modelagem e Identificação de uma máquina de Extrusão através de Bond graph. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica). Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.
- 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.
- Silva, Luiz César da.; Boletim técnico Modelagem e Simulação, 2006. Disponível em: <http://www.agais.com/ms0206_modelos_simulacao.pdf> Acesso 20 novembro 2006.
- Sowa, J. F.. Building, sharing and merging ontologies. Tutorial (1999). Disponível em <<http://users.bestweb.net/%7Esowa/ontology/ontosar.htm>>, acesso 15 julho 2006.
- Top, J.L., et al. Structure And Use Of A Library For Physical Systems Models. Disponível em: <http://citeseer.ist.psu.edu/153218.html> Acesso em: 25 novembro 2006.
- Tucho, R. et al. Expert tutoring system for teaching mechanical engineering. Expert systems with applications, v. 24, n. 4, p. 415-424. 2003. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/> Acesso 7 de agosto de 2004.
- Turban, E.. Expert Systems and Applied Artificial Intelligence. The Macmillan Series in Information Technology, New York: Macmillan Publishing Company, 1992, 804 p.
- Zdrahal et al. Sharing engineering design knowledge in a distributed environment. Knowledge Media Institute The Open University, Milton Keynes, UK. 2000. Disponível <http://citeseer.ist.psu.edu/> Acesso agosto 2006.

7 DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.