

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE – UNESC
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

FERNANDO SILVANO GONÇALVES

O FORMALISMO DOS FATORES DE CERTEZA NA *SHELL* PEGASUS
UNCERTAINTY MODELING

CRICIÚMA, JULHO DE 2008

FERNANDO SILVANO GONÇALVES

O FORMALISMO DOS FATORES DE CERTEZA NA *SHELL PEGASUS*

UNCERTAINTY MODELING

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado para obtenção do Grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Orientadora: Prof^ª. MSc. Priscyla Waleska
Targino de Azevedo Simões

CRICIÚMA, JULHO DE 2008

A meus pais, Claudi e Juçara, minha
irmã Daniele, minha namorada Simone e
meus amigos pelo apoio concedido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por estar comigo em todos os momentos, me confortar nas horas difíceis e auxiliar nas minhas escolhas.

Agradeço também:

A minha família, pelo amor, carinho e compreensão concedidos, além de sempre me apoiar e incentivar contribuindo com a minha formação.

A minha namorada Simone, por estar sempre ao meu lado, pelo seu amor, carinho e compreensão, também por sempre estar disposta a ajudar independente do dia e da hora.

Aos meus amigos Felipe, José Marcio, pelo apoio concedido durante a execução deste trabalho por sua amizade e pelos momentos compartilhados ao longo da graduação.

A todos os meus colegas de graduação, por compartilharem suas experiências de vida e momentos de descontração além do auxílio concedido durante todo curso.

Ao professor Fabrício Giordani, pelo auxílio nas dúvidas referentes a implementação e da linguagem java.

E finalmente, agradeço a grande incentivadora desta pesquisa, minha professora e orientadora Priscyla, que não mediu esforços para a conclusão deste trabalho, contribuindo com todo seu conhecimento e amizade.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

“But in this world nothing can be said to
be certain, except death and taxes.”

(Benjamin Franklin)

RESUMO

Na área de Inteligência Artificial (IA) a solução de problemas complexos sempre gerou certo esforço por parte dos especialistas na representação do conhecimento, podendo-se observar inclusive a natureza incerta ou incompleta inerente a sua essência. Nesse sentido, a teoria dos Fatores de Certeza (FC) visa auxiliar a redução da incerteza presente nestas situações por meio da representação numérica das afirmações apresentadas, que quantificam o grau de força de uma hipótese por meio de valores no intervalo 0 e 1. Assim, esta pesquisa aborda o desenvolvimento do formalismo dos fatores de certeza na *shell Pegasus Uncertainty Modeling*. O fundamento metodológico dessa pesquisa concentra-se principalmente nas seguintes etapas: modelagem matemática dos fatores de certeza e aplicação do módulo desenvolvido a uma problemática clássica da área de IA. Esta pesquisa resultou em uma ferramenta desenvolvida na linguagem Java a partir do ambiente NetBeans IDE 6.0.1, voltada para o desenvolvimento de sistemas especialistas baseados em regras, a partir da utilização dos FC e da inferência pelo método de encadeamento pra frente. Foi desenvolvido um exemplo numérico na modelagem matemática que buscou auxiliar na compreensão das etapas envolvidas na utilização dos FC. Os testes foram realizados a partir de uma base de conhecimento de vinhos disponibilizada pela *shell Expert SINTA*, e considerados satisfatórios sendo que ambas apresentaram os mesmos resultados com relação ao objetivo do sistema.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Modelagem da Incerteza; Fatores de Certeza; Motor de Inferência; *Shell Pegasus Uncertainty Modeling*.

ABSTRACT

In the area of Artificial Intelligence (AI) the solution of complex problems always generated some effort on the part of specialists in the representation of knowledge, and can be observed including the incomplete or uncertain nature inherent in its essence. In that sense, the theory of Certainty Factors (CF) aims to help reduce this uncertainty in these situations through the numerical representation of the statements made, which quantify the degree of strength of a hypothesis through values in the range 0 and 1. Thus, this research addresses the development of the formalism of the factors of certainty in the shell Pegasus Uncertainty Modeling. The methodological basis of this research is concentrated mainly in the following steps: mathematical modeling of the factors of certainty and application of the module developed to a classical problem in the area of AI. This research resulted in a tool developed in the Java language from the environment NetBeans IDE 6.0.1, aimed at the development of expert systems based on rules, from the use of CF and by inference method of threading looking forwards. A numerical example was developed in mathematical modeling that sought help in understanding the steps involved in the use of FC. The tests were conducted from a base of knowledge of wines available from the shell Expert SINTA, and considered satisfactory since both showed the same results with regard to the objective of the system.

Keywords: Artificial Intelligence; Uncertainty Modelling; Certainty Factors; Inference Engine; Shell Pegasus Uncertainty Modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Representação do sistema fuzzy	24
Figura 2. Grafo Acíclico Orientado	27
Figura 3. Rede Grupo Sanguíneo sem a Influência das Hipóteses	28
Figura 4. Rede Grupo Sanguíneo com a Influência das Hipóteses	28
Figura 5. Regra se então.....	33
Figura 6. Intervalo dos Fatores de Certeza no MYCIN	37
Figura 7. Intervalo de crença ignorado	37
Figura 8. Arquitetura do sistema especialista	41
Figura 9. <i>Shell Expert</i> SINTA.....	47
Figura 10. Escala de obstrução associada aos fatores de certeza.....	50
Figura 11. <i>Shell</i> RENEX.....	51
Figura 12. Base de regras	56
Figura 13. Regra que atende a evidência informada.....	57
Figura 14. Regra ativada pela consequência da regra 1	57
Figura 15. Aumento da crença na hipótese infarto	58
Figura 16. Regras ativadas pela segunda evidência apresentada	59
Figura 17. Aumento da crença na hipótese gripe.....	60
Figura 18. Redução na crença da hipótese infarto	61
Figura 19. Diagrama de casos de uso.....	63
Figura 20. Classes <i>Predicate</i>	64
Figura 21. Classe <i>ProbAPriori</i>	64
Figura 22. Classe <i>Question</i>	65
Figura 23. Classe <i>Rule</i>	66

Figura 24. Interface do sistema	67
Figura 25. Pseudocódigo de definição da base de conhecimento	68
Figura 26. Barra de ferramentas.....	68
Figura 27. Interface de cadastro de variáveis.....	69
Figura 28. Cadastro de objetivos.....	69
Figura 29. Cadastro dos objetivos.....	70
Figura 30. Menu interface	70
Figura 31. Cadastro de variáveis com perguntas	71
Figura 32. Menu cadastrar regra	71
Figura 33. Interface de cadastro de regras	72
Figura 34. Interface inserir antecedente	72
Figura 35. Interface cadastro de premissa.....	73
Figura 36. Interface inserir consequência	73
Figura 37. Interface de cadastro da consequência da regra.....	74
Figura 38. Regra completa para ser inserida.....	74
Figura 39. Regra inserida na base de conhecimento	75
Figura 40. Pseudocódigo de encadeamento para frente	75
Figura 41. Pseudocódigo de consulta ao sistema	80
Figura 42. Executando o sistema	80
Figura 43. Interface de entrada de dados pelo usuário.....	81
Figura 44. Resultados do sistema.....	82
Figura 45. Resultado do teste na <i>shell Expert SINTA</i>	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo das técnicas de modelagem da incerteza	31
Tabela 2. Intervalos de Referência.....	36
Tabela 3. Comparativo das <i>Shells</i>	52
Tabela 4. Comparativo de aplicações.....	53
Tabela 5. Probabilidade a priori das doenças.....	56
Tabela 6. Resultados obtidos	62
Tabela 7. Variáveis da base de conhecimento	78
Tabela 8. Variáveis objetivos da base de conhecimento.....	78
Tabela 9. Variáveis de interface da base de conhecimento.....	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Três Dimensões
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
E	Evidência
FC	Fatores de Certeza
H	Hipótese
IA	Inteligência Artificial
MC	Medida de Crença
MD	Medida de Descrença
SE	Sistema Especialista
SINTA	Sistemas INTeligentes Aplicados
TDS	Teoria de Dempster-Shafer
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3	JUSTIFICATIVA.....	18
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2	MODELAGEM DA INCERTEZA.....	22
2.1	LÓGICA <i>FUZZY</i>	23
2.2	REDES BAYESIANAS	25
2.3	TEORIA DE DEMPSTER SHAFER	29
2.4	FATORES DE CERTEZA	30
2.5	COMPARATIVO DAS TEORIAS.....	31
3	FATORES DE CERTEZA.....	32
4	INFERÊNCIA EM SISTEMAS ESPECIALISTAS PELOS FATORES DE CERTEZA.....	39
4.1	ARQUITETURA DO SISTEMA ESPECIALISTA	40
5	TRABALHOS CORRELATOS.....	44
5.1	<i>SHELLS</i> QUE UTILIZAM FATORES DE CERTEZA	44
5.1.1	EXPERT SINTA	45
5.1.2	<i>THE MYCIN EXPERIMENTS OF THE STANFORD HEURISTIC PROGRAMMING PROJECT</i>	47
5.2	SISTEMAS ESPECIALISTAS QUE UTILIZAM FATORES DE CERTEZA.....	48
5.2.1	<i>SHYSTERMYCIN: A HYBRID LEGAL EXPERT SYSTEM</i>	48

5.2.2	RENEX: AN EXPERT SYSTEM FOR THE INTERPRETATION OF 99MTC-MAG3 SCANS TO DETECT RENAL OBSTRUCTION	49
5.2.3	PERFEX: AN EXPERT SYSTEM FOR INTERPRETING 3D MYOCARDIAL PERFUSION	51
5.3	COMPARATIVO	52
6	O FORMALISMO DOS FATORES DE CERTEZA NA SHELL PEGASUS UNCERTAINTY MODELING	54
6.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	54
6.2	MODELAGEM MATEMÁTICA DOS FATORES DE CERTEZA NA SHELL PEGASUS	55
6.3	MODELAGEM DO APLICATIVO	62
6.3.1	CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO	68
6.3.1.1	CADASTRO DAS VARIÁVEIS.....	68
6.3.1.2	CADASTRO DOS OBJETIVOS.....	69
6.3.1.3	CADASTRO DAS VARIÁVEIS DE INTERFACE	70
6.3.1.4	CADASTRO DAS REGRAS	71
6.4	IMPLEMENTAÇÃO DO MÓDULO DE FATORES DE CERTEZA NA SHELL PEGASUS	76
6.5	APLICAÇÃO DO MÓDULO DE FATOR CERTEZA A UMA PROBLEMÁTICA DA ÁREA DE GASTRONOMIA	77
6.6	RESULTADOS OBTIDOS.....	79
6.6.1	CONSULTA AO SISTEMA	80
6.6.1.1	EXECUÇÃO DO SISTEMA	80
6.6.1.2	ENTRADA DE DADOS	81
6.6.1.3	INFERÊNCIA	81

6.6.1.4 DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS	82
CONCLUSÃO	84
REFERÊNCIAS	86
APÊNDICE A – MODIFICAÇÕES NA BASE DE REGRAS	90
APÊNDICE B – BASE DE REGRAS	92
APÊNDICE C – ARTIGO.....	96
ANEXO A – APROVAÇÃO DO PROJETO DA SHELL PEGASUS	106

1 INTRODUÇÃO

O conhecimento humano há muitos anos desperta o interesse dos cientistas que buscam compreender e interpretar este pensamento, procurando entender de que maneira o ser humano recebe, interpreta e manipula as informações em um ambiente mais expressivo do que a própria informação (RUSSELL; NORVIG, 2004).

A concepção e a representação deste conhecimento sempre geraram grande inquietude por parte dos pesquisadores que buscam diferentes formas de reproduzir de maneira artificial o pensamento humano.

Entretanto, como o pensamento humano nem sempre é de fácil compreensão e assimilação, as informações muitas vezes apresentadas em diversos ambientes podem ser incompletas ou inconsistentes gerando dúvidas para o desenvolvedor. A esta falta de clareza dá-se o nome de incerteza que pode ser encontrada em diversas áreas do conhecimento.

A fim de garantir resultados mais precisos e confiáveis, o ser humano vem aplicando técnicas da inteligência artificial nos mais diversos campos de pesquisa, buscando facilitar o caminho até a solução dos problemas propostos. São empregadas teorias como raciocínio probabilístico, a lógica *fuzzy* a fim de auxiliar estas análises (WHITBY, 2004).

Buscando auxiliar os especialistas na busca pela solução dos problemas, são desenvolvidas ferramentas com o objetivo facilitar o caminho até os resultados. Estas tecnologias visam interpretar o conhecimento fornecido e viabilizar o auxílio na resolução de questões onde múltiplas saídas são geradas a partir de uma mesma entrada, exigindo do analisador conhecimento aprofundado para solucionar o problema.

Visando apoiar a resolução de problemas pelo especialista em um domínio de aplicação, é reconhecido que os sistemas especialistas têm grande aplicabilidade na modelagem de problemas complexos, no qual se exige um alto grau de conhecimento. O que os torna objetos de estudo para elaboração de ferramentas que auxiliem sua construção.

As ferramentas que permitem a modelagem do motor de inferência em sistemas especialistas costumam ser denominadas *shells*, e como exemplos destas têm-se a *shell* Expert SINTA que possibilita a construção de sistemas especialistas de arquitetura clássica; e a *shell* Unfuzzy para a construção de sistemas difusos (DUARTE 1997; NOGUEIRA et al, 1996). Ambas auxiliam a criação de sistemas especialistas modelando a incerteza apresentada.

Na representação da incerteza por confiança, busca-se interpretar as informações com o objetivo de reduzir a multiplicidade de soluções, visando gerar um maior grau de confiança ao que se está analisando. Para modelar este conhecimento pode-se aplicar a técnica dos fatores de certeza, onde a incerteza é quantificada a partir de um fator de certeza, podendo ser aplicado, por exemplo, em sistemas baseados em regras para a solução de problemas médicos onde se apresentam níveis consideráveis de incerteza nas informações recebidas (NICOLETTI; SANTOS, 1996; RUSSELL; NORVIG, 2004).

Por meio dessa teoria, se quantifica o quanto se confia, ou não, em determinada afirmação. Este fator subdividi-se em duas partes, a medida de crença e a de descrença, sendo que a primeira representa o grau de confiança depositado na ocorrência de certa evidência, e o segundo indica o grau de descrença nesta, dado a ocorrência dessa evidência (COSTA; SIMÕES, 2004).

Os valores da medida de crença e de descrença variam entre 0 e 1, inclusive, e a diferença entre estes valores é o que confirma ou não a hipótese que se analisa, sendo um valor positivo a confirmação e um valor negativo a negação desta hipótese (COSTA; SIMÕES, 2004).

A inteligência artificial dispõe de diversas técnicas para a modelagem da incerteza e, segundo Bittencourt (2001), algumas *shells* empregam mais de um método para modelagem deste conhecimento. Baseado nisto, o Grupo de Pesquisa em Inteligência Computacional Aplicada da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) está desenvolvendo uma *shell* denominada Pegasus *Uncertainty Modeling* para modelagem do conhecimento incerto. Esse grupo surgiu junto ao Departamento de Ciência da Computação da UNESC em 2000 e objetiva o desenvolvimento de pesquisas relacionando diferentes campos da inteligência computacional a áreas de conhecimento específico, promovendo a interdisciplinaridade.

A *shell* Pegasus contemplara, inicialmente, os seguintes módulos para a modelagem do motor de inferência: lógica *fuzzy*, teoria da evidência de *Dempster-Shaper*, redes bayesianas e fatores de certeza. Estas teorias estão sendo desenvolvidas simultaneamente a este projeto, que busca a modelagem do motor de inferência pelos fatores de certeza nesta *shell*.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um módulo de inferência pela teoria dos Fatores de Certeza na *shell* Pegasus *Uncertainty Modeling*.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) compreender o processo de construção de sistemas especialistas;
- b) entender o motor de inferência dos sistemas especialistas;
- c) aplicar o tratamento de incertezas em sistemas especialistas;
- d) entender sobre a teoria dos fatores de certeza;
- e) compreender o processo de inferência em Sistemas Especialistas por meio da teoria dos Fatores de Certeza;
- f) demonstrar a modelagem matemática na inferência da teoria dos fatores de certeza;
- g) aplicar a modelagem dos fatores de certeza a uma problemática a ser definida;
- h) disponibilizar um módulo de inferência pela teoria dos fatores de certeza na *shell Pegasus Uncertainty Modeling*.

1.3 JUSTIFICATIVA

Os sistemas especialistas visam modelar a informação recebida para apresentar soluções confiantes em situações onde o usuário necessita de grande conhecimento do domínio de aplicação do sistema para tomar suas decisões. A interpretação dos dados torna-se possível a partir da modelagem do conhecimento do especialista juntamente com o paradigma empregado, a fim de auxiliar na tomada de decisões (RUSSELL; NORVIG, 2004).

As ferramentas para desenvolvimento de sistemas especialistas, são importantes, pois facilitam a modelagem do motor de inferência, o que possibilita diversas funcionalidades ao mesmo, dentre essas o tratamento da incerteza (BITTENCOURT, 2001).

Buscando a criação de sistemas especialistas (SE) de forma facilitada são utilizadas ferramentas (*shells*) que visam interpretar as informações de acordo com o conhecimento de um especialista em um domínio de aplicação. Garantindo a solução dos problemas propostos com base na modelagem do conhecimento apresentado no problema.

A modelagem do conhecimento incerto em sistemas especialistas vem sendo bastante pesquisada, pois trata as informações que muitas vezes se apresentam de forma incompleta ou inexata o que dificulta o processo de tomada de decisão, e exige maior conhecimento do domínio de aplicação (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Os fatores de certeza buscam reduzir a incerteza nas informações em um domínio de aplicação, visto que esta nem sempre se apresenta de forma clara e, na maioria das vezes o dado analisado da margem a várias soluções para o problema. Logo, essa técnica de modelagem da incerteza visa aumentar a crença do especialista em uma das hipóteses apresentadas, buscando reduzir a dúvida entre as hipóteses. Quanto maior o grau de confiança mais relevante esta afirmação é, assim reduz-se a possibilidade de múltiplos resultados COSTA; SIMÕES, 2004).

Como a tomada de decisões em meio a informações parciais ou inexatas exige dos sistemas especialistas a modelagem do conhecimento incerto, adotando-se a técnica dos fatores de certeza para realização deste tratamento. Entende-se com isto que pode-se melhorar os resultados das análises e, assim, com a aplicação desta, buscar um maior grau de confiança nos resultados apresentados.

Apesar de existirem diversas ferramentas voltadas para modelagem do motor de inferência, observa-se uma deficiência de ferramentas que apresentam conjuntamente os módulos de fatores de certeza, raciocínio probabilístico, teoria de Dempster-Shaper e a lógica *fuzzy*. Assim, o Grupo de Pesquisa em Inteligência Computacional Aplicada está desenvolvendo a *shell* Pegasus que contemplará inicialmente estes módulos.

As bibliografias clássicas da IA apresentam de forma pouco aprofundada e didática as teorias a serem empregadas na *shell* Pegasus. Assim, a partir da carência encontrada desenvolveu-se de forma clara e explicativa a modelagem matemática do formalismo dos Fatores de Certeza buscando auxiliar o entendimento do mesmo.

Visto que os fatores de certeza auxiliam na representação e utilização de regras, e devido ao fato da *shell* Pegasus não apresentar um módulo com este tipo de inferência desenvolveu-se então o módulo de fatores de certeza.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho subdivide-se em sete capítulos, sendo, respectivamente introdução, modelagem da incerteza, fatores de certeza, inferência em sistemas especialistas pelos fatores de certeza, trabalhos correlatos, o formalismo dos fatores de certeza na *shell Pegasus Uncertainty Modeling* e a conclusão.

No primeiro capítulo são descritas a introdução, a descrição do problema, os objetivos geral e específicos e a justificativa do desenvolvimento desta pesquisa.

No segundo capítulo são abordadas as técnicas de modelagem da incerteza mais citadas na literatura como a lógica *fuzzy*, as redes bayesianas, a teoria de Dempster-

Shafer e os fatores de certeza, e assim, a partir destas ao final do capítulo é fornecido um comparativo das teorias.

No terceiro capítulo são abordados os fatores de certeza, como esta técnica surgiu, representação matemática que inclui as fórmulas empregadas para que esta teoria possa ser aplicada.

O quarto capítulo trata da inferência em sistemas especialistas pelos fatores de certeza, que apresenta de que forma se faz o raciocínio em um sistema especialista baseado em regras, sua estrutura básica e inferência.

No quinto capítulo são descritos alguns trabalhos correlatos a partir de aplicações e ferramentas que utilizam a técnica dos fatores de certeza.

No sexto capítulo é apresentado o formalismo dos fatores de certeza na *shell Pegasus Uncertainty Modeling* com a metodologia de desenvolvimento desta pesquisa e os resultados obtidos com a realização da mesma.

E finalizando, oferece-se a conclusão, onde são descritas as considerações finais a respeito do projeto, bem como a sugestão de trabalho futuros que possam ser desenvolvidos a partir desta pesquisa.

2 MODELAGEM DA INCERTEZA

O mundo real é muito mais complexo do que ambientes idealizados no desenvolvimento de sistemas inteligentes, considerando-se que estes são definidos de forma a conduzir o sistema de maneira eficaz e específica nas análises realizadas minimizando as dúvidas quanto às soluções apresentadas (COSTA; SIMÕES, 2004).

Entretanto, este ambiente apresenta diversas incertezas, que exigem um esforço adicional por parte do sistema tendo que considerar fatores adicionais como crença ou probabilidade para confirmar as decisões tomadas (RUSSEL; NORVIG, 2004).

A grande quantidade de situações complexas que o mundo real apresenta sempre gerou muitos desafios ao homem na busca pela solução de problemas que exigem de especialistas um amplo conhecimento sobre o domínio de aplicação. Entretanto, esta situação se agrava quando as informações apresentadas são incompletas ou pouco confiáveis, o que dificulta o processo, porém não o inviabiliza (LUGER, 2004).

Buscando auxiliar no processo de modelagem da incerteza, garantir a apresentação de dados confiáveis, e facilitar a resolução dos problemas, a literatura apresenta técnicas para sua modelagem que visam minimizar a incerteza presente em domínios de conhecimento. Entre essas, a lógica *fuzzy*, as redes bayesianas, a teoria de Dempster-Shafer e os fatores de certeza destacam-se das demais por serem as teorias mais citadas na literatura (BADIRU; CHEUNG, 2002; COSTA; SIMÕES, 2004; RUSSEL; NORVIG, 2004).

2.1 LÓGICA FUZZY

A lógica *fuzzy* ou difusa foi criada em 1965 pelo Dr. Lofti A. Zadeh na Universidade da Califórnia para tratar e representar dados que apresentam imprecisão¹. Possui grande aplicabilidade nas áreas de controle e tomada de decisão, pois busca quantificar e analisar expressões lingüísticas tais como, se uma pessoa é gorda ou magra ou se um carro é velho ou novo, tratando a incerteza gerada por estas expressões (BADIRU; CHEUNG, 2002).

Nesta lógica cada situação apresentada ao sistema possui um grau de pertinência que representa o quanto esta influencia o ambiente onde está inserida. Assim, atribui-se graus de pertinência entre a negação (valor 0) e a confirmação da hipótese (valor 1). Estes graus são atribuídos por meio da função de pertinência, responsável por quantificar as hipóteses apresentando o quanto cada uma influencia o meio onde está inserida (BADIRU; CHEUNG, 2002).

O sistema *fuzzy* é baseado na teoria matemática de conjuntos, o que lhe atribui algumas características básicas como as operações matemáticas elementares: união², intersecção³, diferença⁴, complemento⁵, dentre outras. Os dados são agrupados em conjuntos e para cada grupo são atribuídos valores de referência, ou seja, as funções de pertinência são responsáveis por quantificar as hipóteses para que o sistema possa analisá-las (KLIR; YUAN, 1995).

¹ Imprecisão é a falta de clareza em determinada afirmação, ou seja, é quando não se tem total certeza daquilo que se está analisando (FERREIRA, 1999).

² A união de dois ou mais conjuntos é composta por todos os elementos pertencentes aos mesmos (KUHLKAMP, 2006).

³ A intersecção de dois ou mais conjuntos é o grupo formado pelos elementos comuns a estes conjuntos (KUHLKAMP, 2006).

⁴ A diferença entre conjuntos é representada por todos os elementos que pertencem a um conjunto e não aos outros (KUHLKAMP, 2006).

⁵ O complemento ou complementar entre dois ou mais conjuntos é formado pelos elementos que completam um conjunto em relação a outro (KUHLKAMP, 2006).

A composição destes sistemas caracteriza-se pela presença de alguns componentes e processos tais como: fuzzificação, máquina de inferência, defuzzificação, base de regras, banco de dados e sistema físico. Assim, conforme ilustra a Figura 1, sua estrutura organiza-se a partir da integração destes elementos (ALMEIDA; EVSUKOFF, 2005).

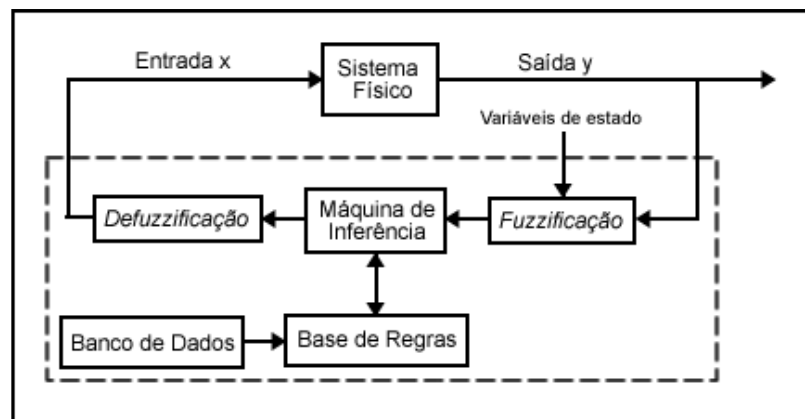


Figura 1. Representação do sistema fuzzy

Fonte: Adaptado de ALMEIDA, P. E.; EVSUKOFF, A. G. (2005)

As operações executadas pelo sistema seguem um caminho composto principalmente por três passos fundamentais sendo estes: a fuzzyficação onde atribui-se valores crips às variáveis *fuzzy* por meio da função de pertinência; a análise é realizada na máquina de inferência, onde os dados *fuzzy* recebidos do sistema físico são confrontados a um conjunto de regras afim de extrair-se as mais pertinentes ao problema; e a defuzzyficação onde após as análises os valores *fuzzy* são convertidos em valores crips gerando a saída do sistema ao usuário (COX, 2005).

A análise dos dados apresentados é realizada baseada em um conjunto pré-definido de regras que conduzem à solução do problema. Estas regras são estruturadas segundo o modelo de causa e consequência (*IF* causa *THEN* consequência), onde a primeira parte desta demonstra os requisitos para que esta seja executada, enquanto a segunda a consequência desta regra (ALMEIDA; EVSUKOFF, 2005).

Como a lógica *fuzzy* trabalha com base na teoria dos conjuntos, existem também outras técnicas que auxiliam no tratamento das incertezas baseadas em outras teorias matemáticas, e dentre estas tem-se as redes Bayesianas que são baseadas na teoria da probabilidade.

2.2 REDES BAYESIANAS

Desenvolvida por Judea Pearl em 1988 as redes bayesianas foram baseadas fundamentalmente no teorema de Bayes e na probabilidade bayesiana (NEAPOLITAN, 2004). As quais tratavam da incerteza aplicando uma forma restritiva de inferência específica a um pequeno domínio de aplicação (KORB; NICHOLSON, 2004). Sendo esta caracterizada por tratar as incertezas por aleatoriedade⁶.

A probabilidade bayesiana é uma extensão da teoria da probabilidade condicional, e permite combinar uma nova evidência sobre uma hipótese já influenciada por uma outra evidência, para assim definir a probabilidade da confirmação da hipótese, ou seja, estima-se o quanto esta evidência influencia o sistema tanto direta ou indiretamente. Os métodos bayesianos de análise são descritos como confiança parcial sobre condições de incerteza, onde as proposições são quantificadas com parâmetros numéricos significando o grau de confiança de acordo com o conhecimento do especialista (PEARL, 1988; RUSSELL, NORVIG, 2004).

⁶ Aleatoriedade é a característica que uma variável apresenta, onde para cada entrada do sistema ela apresenta um valor único determinado aleatoriamente (TRIOLA, 1999).

As probabilidades bayesianas são baseadas no modelo matemático do teorema de Bayes que busca representar de forma confiável as probabilidades *a priori*⁷ e *a posteriori*⁸ do problema em questão (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Caracterizadas por trabalhar com incerteza por aleatoriedade, as redes bayesianas demonstram facilidade no tratamento deste tipo de informações. Esta característica possibilita a aplicação da técnica em diversas áreas de conhecimento, uma vez que as probabilidades são redistribuídas a cada alteração do sistema (WILLIAMSON, 2005).

Para a modelagem do conhecimento sobre o teorema de bayes, a rede é representada conforme ilustra a Figura 2 por um grafo acíclico orientado⁹, onde os nós correspondem as variáveis do sistema e os arcos direcionais correspondem as dependências destes nós (WILLIAMSON, 2005). Na construção da representação gráfica, as redes utilizam-se de parâmetros representados por meio de uma tabela de probabilidades condicionais que indicam as interdependências do grafo em questão.

⁷ A probabilidade incondicional ou *a priori* é o grau de crença atribuído a uma proposição sem a influência de nenhuma outra informação, ou seja, é a probabilidade atribuída a uma sentença sem a ocorrência de nenhum evento (RUSSELL; NORVIG, 2004).

⁸ A probabilidade *a posteriori* ou condicional é aquela atribuída a uma sentença dado a ocorrência de algum evento, sendo aplicada quando uma evidência altera a crença depositada a uma hipótese (RUSSELL; NORVIG, 2004).

⁹ Grafos acíclicos ou sem circuitos são representações gráficas direcionais formadas por vértices e arestas. Onde os vértices representam os nós e as arestas os arcos, estes possuem um nó inicial (*i*) e um nó final (*f*). São ditos acíclicos, pois a partir do nó *i* pode-se seguir mais de um caminho levando-o ao nó *f* dependendo de sua entrada do sistema. Ele é orientado de acordo com a entrada do sistema e das ligações entre os nós (BOAVENTURA NETTO, 2003).

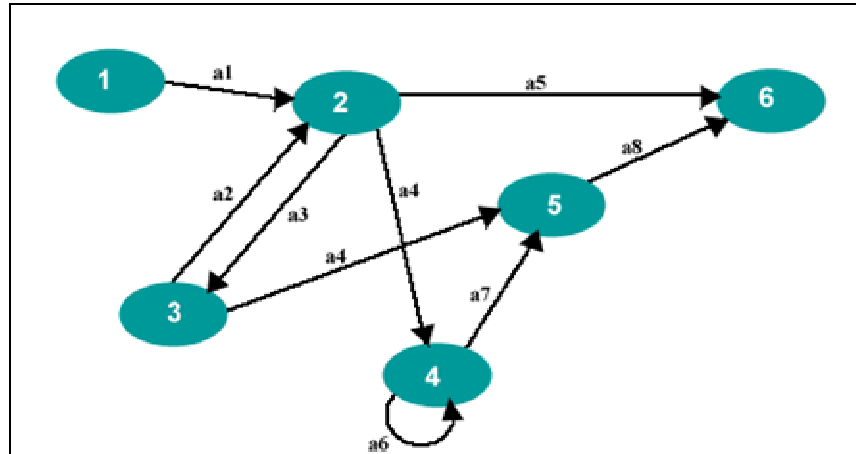


Figura 2. Grafo Acíclico Orientado

Fonte: Adaptado de KORB, K. B.; NICHOLSON, A. E. (2004)

Os grafos são construídos a partir da influência que cada nó pai¹⁰ exerce sobre seus filhos¹¹ e assim sucessivamente onde um nó depende direta ou indiretamente do outro. Por meio desta representação, as redes bayesianas demonstram todos os nós que são influenciados pelos componentes da rede sendo que caso um destes seja adicionado ou removido, as probabilidades são redistribuídas e propagadas dentre os nós participantes da rede (KORB; NICHOLSON, 2004).

Como exemplo destas redes pode-se citar a definição do grupo sanguíneo de uma pessoa, no qual o fator RH dos pais combinados geram o tipo sanguíneo dos filhos. Assim, os dados dos pais influenciam diretamente na descendência dos filhos conforme ilustra as Figuras 3 e 4.

¹⁰ Nó pai é um elemento de uma árvore a partir do qual são gerados outros nós não importando o nível em que este está inserido, não podendo apenas estar no mesmo nível de seus filhos (BOAVENTURA NETTO, 2003).

¹¹ Nó filho é definido como todo elemento de uma árvore que não seja sua raiz, ou seja, é todo aquele nó que possui um antecessor um nível acima dele (BOAVENTURA NETTO, 2003).

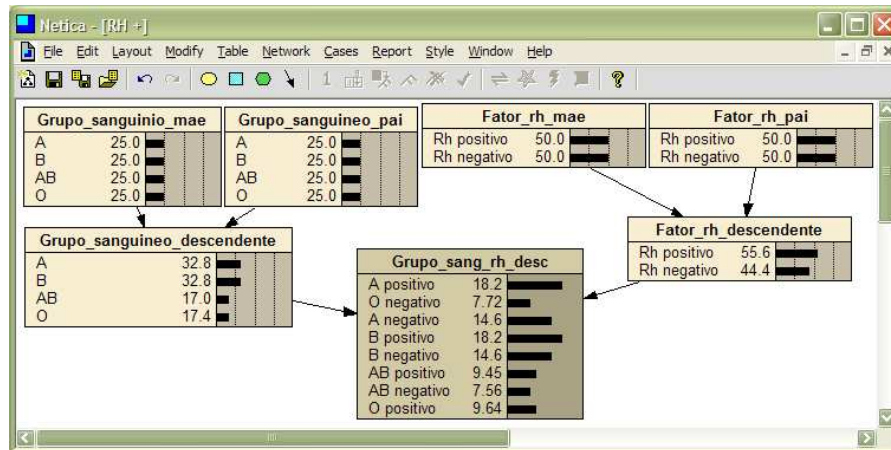


Figura 3. Rede Grupo Sanguíneo sem a Influência das Hipóteses
Fonte: Adaptado de FARIAS, A. (2001)

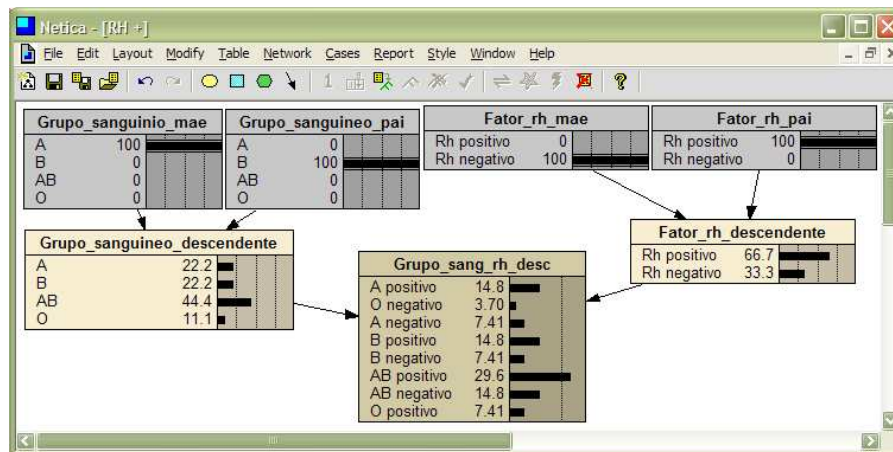


Figura 4. Rede Grupo Sanguíneo com a Influência das Hipóteses
Fonte: Adaptado de FARIAS, (2001)

Tendo em vista que as incertezas dificilmente apresentam-se da mesma forma, as redes bayesianas podem não demonstrar resultados satisfatórios no caso da representação da incertezas por ignorância¹², a qual é modelada pela teoria de Dempster Shafer.

¹² O problema da ignorância é aquele no qual o raciocínio é feito na ausência de uma informação que conteste a afirmação analisada, ou seja, o sistema analisa a proposição que para ele é verdadeira, porém podem haver informações que contrariem a afirmação em questão (BARRETO, 2001).

2.3 TEORIA DE DEMPSTER SHAFER

Iniciada por Aryhur P. Dempster no ano de 1968 e posteriormente aperfeiçoada por Glenn Shafer em 1976, a Teoria de Dempster-Shafer (TDS) foi criada visando o tratamento da incerteza por ignorância (RUSSEL; NORVIG, 2004).

A TDS é um dos modelos mais discutidos na literatura para modelagem da incerteza, e abrange o tratamento das informações por meio de um formalismo matemático baseado em proposições¹³ e lida de forma concreta com o problema da ignorância (RUSSEL; NORVIG, 2004).

Também conhecida como a teoria da evidência, visa calcular a probabilidade da evidência admitindo a ocorrência da hipótese em um determinado universo. Ao contrário da abordagem bayesiana, o grau de crença em uma proposição é dado pelo intervalo de dois valores, sendo que um mede o grau de crença e o outro o grau de plausibilidade¹⁴. Esta abordagem rejeita o princípio de que a ausência a favor de uma proposição significa a atribuição de evidência a sua negação (COSTA; SIMÕES, 2004).

Assim como a TDS visa determinar a solução de problemas que apresentam ignorância nas informações apresentadas, existem outras técnicas que buscam representar o problema da confiança como é o caso da dos fatores de certeza.

¹³ Proposições são afirmações que demonstram a ocorrência de uma determinada situação (RUSSELL; NORVIG, 2004).

¹⁴ Plausibilidade é o máximo grau de confiança que pode-se atribuir a uma hipótese (COSTA; SIMÕES, 2004).

2.4 FATORES DE CERTEZA

Desenvolvida especialmente para o sistema especialista MYCIN¹⁵, a teoria dos Fatores de Certeza (FC) foi criada por Edward Hance Shortliffe e Bruce. G. Buchanan em 1970, sendo esta caracterizada por quantificar a incerteza segundo um valor numérico que indica o quão confiante é determinada hipótese dado a ocorrência de uma evidência (DAVIS; KING, 1984; NICOLETTI; SANTOS, 1996).

Os FC visam quantificar confiança depositada em uma afirmação, sendo composto por dois sub-componentes, o fator de crença e o fator de descrença da afirmação. O primeiro representa o grau de confiança depositado nesta devido a sua ocorrência, e o segundo demonstra o grau de descrença na mesma considerando a ocorrência dessa evidência (COSTA; SIMÕES, 2004).

Conforme já descrito, essa teoria foi desenvolvida visando a sua utilização no sistema especialista MYCIN, um sistema pericial de diagnóstico médico baseado em regras que manipula incertezas, e visa diagnosticar e recomendar terapias para infecções no sangue. A cada regra deste sistema é associado um fator de certeza, um número no intervalo entre -1, que indica a negação da regra, e 1 sua confirmação.

Visando o tratamento da incerteza por confiança¹⁶ os FC quantificam-na a fim de reforçar a crença do especialista em uma determinada hipótese até que o sistema apresente uma solução.

¹⁵ O MYCIN é um sistema especialista baseado em regras concebido para identificar as bactérias que causam infecções graves, tais como bacteremia e meningite, e para recomendar antibióticos, com a dose ajustada para o peso corporal do doente (DAVIS; KING, 1984).

¹⁶ Incerteza por confiança é representada quando o especialista não tem conhecimento total do domínio de aplicação mas sim de apenas alguns fatos, aos quais este atribui graus de crença (RUSSELL; NORVIG, 2004).

Visto que as diferentes técnicas para modelagem da incerteza possuem particularidades e características individuais, a seguir demonstra-se um comparativo das teorias citadas visando reforçar o seu entendimento.

2.5 COMPARATIVO DAS TEORIAS

A Tabela 1 apresenta as técnicas para modelagem da incerteza supracitadas, comparando: técnica; tipo de incerteza tratada; autores; ano de desenvolvimento; país onde foi desenvolvida; e a forma de representação do conhecimento.

Tabela 1. Comparativo das técnicas de modelagem da incerteza

Técnica	Incerteza tratada	Autores	Ano	País	Representação do conhecimento
Lógica <i>Fuzzy</i>	Imprecisão	Lotfi Asker Zadeh	1965	EUA	Conjuntos <i>Fuzzy</i>
Inferência Bayesianas	Aleatoriedade	Judea Pearl	1988	EUA	Redes Bayesianas
Teoria de Dempster-Shafer	Ignorância	Arthur Pentland Dempster e Glenn Shafer	1979	EUA	Funções de Crença
Fatores de Certeza	Confiança	Edward Hance Shortliffe e Bruce G. Buchanan	1970	EUA	Regras

As técnicas descritas no decorrer deste capítulo buscam identificar, modelar e tratar a incerteza em um determinado domínio de aplicação. Assim, será aprofundado o conhecimento sobre os fatores de certeza que são a base desta pesquisa demonstrando sua teoria.

3 FATORES DE CERTEZA

Desenvolvida visando a sua utilização na ferramenta MYCIN, a teoria dos fatores de certeza apresenta uma abordagem que se mostra mais simples e eficiente, pois faz o tratamento da incerteza baseada nas poucas informações apresentadas nos diagnósticos médicos, visto que a teoria da probabilidade não se mostrava viável para a implementação deste, pois os dados fornecidos se eram inconsistentes para aplicação desta teoria (DIEZ, 1998; NICOLETTI; SANTOS, 1996).

Em ambientes onde o especialista tem disponível poucas informações com relação ao problema em questão, faz com que este tenha que considerar sua crença nas hipóteses apresentadas sendo caracterizado o tratamento de incertezas por confiança. Neste processo níveis de crença são atribuídos as hipóteses a fim de reduzir a incerteza presente neste meio.

Assim, a teoria dos Fatores de Certeza (FC) busca realizar o tratamento de incertezas por confiança, sendo estas definidas como as situações onde tem-se algumas hipóteses onde cada uma delas tem sua crença aumentada ou reduzida de acordo com a evidência apresentada.

Estes buscam quantificar o grau de certeza que o especialista deposita em uma hipótese dado que ocorra certa evidência. Esta crença é representada por meio de um valor numérico (COSTA; SIMÕES, 2004).

Tendo em vista que as informações a respeito do domínio de aplicação nem sempre apresentam-se de forma clara e objetiva, pode-se observar incertezas dando margem a várias soluções para o mesmo problema. Assim, os FC buscam reduzir esta multiplicidade de soluções quantificando a certeza agregada a esta informação.

Essa teoria baseia-se em valores heurísticos¹⁷ geralmente entre -1 e +1 para representar o grau de confiança na evidência, sendo os valores abaixo de 0 (zero) correspondentes a negação desta, e os valores acima de 0 (zero) a confirmação da hipótese (BADIRU; CHEUNG, 2002).

Segundo Buchanan e Shortliffe, 1984 os fatores de certeza são baseados em um conjunto de regras do tipo SE ENTÃO conforme ilustra a Figura 5:

$$SE < \text{evidência} > ENTÃO < \text{hipótese} > [FC = k]$$

Figura 5. Regra se então
Fonte: COSTA, E.; SIMÕES, A. (2004)

A primeira parte da regra (SE) indica a condição para que esta ocorra, enquanto a segunda parte desta (ENTÃO) corresponde ao resultado, e k indica o grau de confiança depositado nesta regra, ou seja, o quão confiável ela é.

Esta teoria é definida com base nos valores de crença e descrença na hipótese, baseando-se inicialmente na Fórmula 1 (BUCHANAN; SHORTLIFFE, 1984).

$$FC[H, E] = MC[H, E] - MD[H, E] \quad (1)$$

onde:

- a) $FC[H, E]$ é o fator de certeza da hipótese H dada a evidência E.
- b) $MC[H, E]$ é a medida de crença, ou seja, o valor de crença na hipótese H dada a evidência E.

¹⁷ Valores heurísticos são representações produzidas pelos especialistas a fim de fornecer as informações necessárias a resolução dos problemas (RUSSELL; NORVIG, 2004).

c) $MD[H,E]$ é a medida de descrença, ou seja, o valor de descrença na hipótese H dada a evidência E .

Baseando-se na Fórmula 1 é possível afirmar que os fatores de certeza basicamente compõe-se da diferença entre a Medida de Crença (MC) e a Medida de Descrença (MD), considerando-se uma Evidencia (E).

Dada esta diferença entre a crença e a descrença tem-se a definição da MC que representa a confiança depositada em uma hipótese (H) dada uma evidência (E), sendo definida na Função 2 (BUCHANAN; SHORTLIFFE, 1984).

$$MC[H, E] = \begin{cases} 1 & \text{se } P(H) = 1 \\ \frac{\max[P(H/E), P(H)] - P(H)}{\max[1,0] - P(H)} & \end{cases} \quad (2)$$

Como visto a MC defini-se como tendo valor 1 se a probabilidade da hipótese ($p(H)$) for 1, ou seja, se a crença na hipótese for confirmada sem que nenhuma evidência tenha ocorrido. Caso contrário tem-se então um aumento na crença da hipótese dada uma evidência ($p(H|E)$) e esta é calculada como sendo a máxima probabilidade entre $p(H)$ e $p(H|E)$ subtraindo-se o valor da $p(H)$ e dividindo-se pela diferença entre a $p(H)$ e a confirmação desta.

Quando tem-se duas evidências que aumenta a crença de uma mesma hipótese o grau de crença destas é combinado, gerando assim, uma nova MC conforme demonstra a Função 3 (BUCHANAN; SHORTLIFFE, 1984).

$$MC[H, E_1 \wedge E_2] \begin{cases} 0 \text{ se } MD[H, E_1 \wedge E_2] = 1 \\ MC[H, E_1] + MC[H, E_2] * (1 - P[H, E_1]) \end{cases} \quad (3)$$

Já a MD apresentada na Função 4 reproduz a descrença que uma Hipótese (H) apresenta dada a Evidencia (E) (BUCHANAN; SHORTLIFFE, 1984).

$$MD[H, E] = \begin{cases} 1 & \text{se } P(H) = 0 \\ \frac{\min[P(H/E), P(H)] - P(H)}{\min[1, 0] - P(H)} \end{cases} \quad (4)$$

Assim, a MD defini-se como tendo valor 1 se a p(H) for 0, ou seja, se a descrença na hipótese for confirmada sem que nenhuma evidência tenha ocorrido. Se a probabilidade não estiver confirmada tem-se então um redução da p(H|E) e esta é calculada como sendo a mínima probabilidade entre p(H) e p(H|E) subtraindo-se desta o valor da p(H) e dividindo-se pela diferença entre a p(H) e a descrença nesta.

Quando tem-se duas evidências que reduzem a crença de uma hipótese o grau de crença destas é combinado, gerando assim, uma nova MD conforme demonstra a Função 5.

$$MD[H, E_1 \wedge E_2] \begin{cases} 0 \text{ se } MC[H, E_1 \wedge E_2] = 1 \\ MD[H, E_1] + MD[H, E_2] * (0 - P[H, E_1]) \end{cases} \quad (5)$$

Como os fatores de certeza variam num intervalo fechado entre -1 e +1, assim, os valores tanto da MC e da MD são representados num intervalo fechado entre 0

e 1. A Tabela 2 apresenta as variações dos FC, da MC e de MD e a confirmação da hipótese ($MC = 1$), além da negação da mesma ($MD = -1$).

Tabela 2. Intervalos de Referência

<i>Características</i>	<i>Valores</i>
Variações	$0 \leq MC \leq 1$ $0 \leq MD \leq 1$ $-1 \leq FC \leq 1$
Certeza das hipóteses verdadeiras $P(H/E) = 1$	$MC = 1$ $MD = 0$ $FC = 1$
Certeza das hipóteses falsas $P(\neg H/E) = 1$	$MC = 0$ $MD = 1$ $FC = -1$
Perda da Evidência $P(H/E) = P(H)$	$MC = 0$ $MD = 0$ $FC = 0$

Fonte: BARRETO, I. (2001)

A partir das informações apresentadas pode-se concluir que quanto mais próximo de 1 é o FC de uma regra, mais confiável esta será perante as demais. Em contrapartida os valores negativos para uma mesma regra indicam que esta não é tão relevante, ou seja, não influencia significativamente o sistema apresentado.

Deste modo, pode-se representar os valores para confirmação e negação das hipóteses por meio de um intervalo fechado entre -1 e 1. Quanto mais próximos dos extremos estes valores estiverem mais precisa será a crença acerca desta hipótese conforme ilustra a Figura 6.

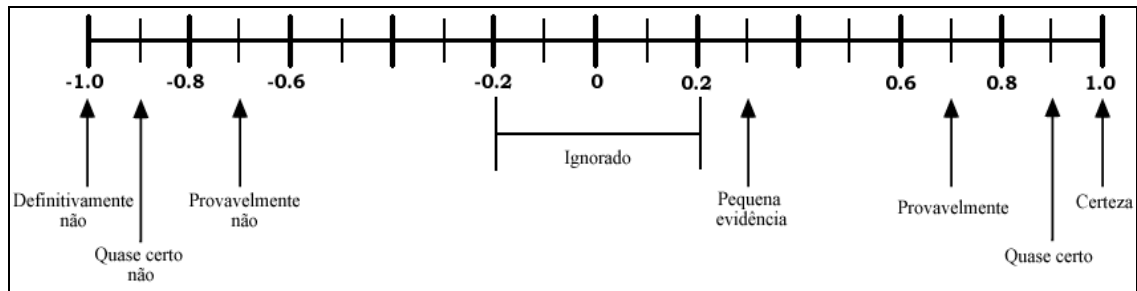


Figura 6. Intervalo dos Fatores de Certeza no MYCIN
 Fonte: NICOLETTI, M.C.; SANTOS, F.O. (1996)

Segundo Barreto (2001), inicialmente quando o MYCIN foi desenvolvido notou-se que uma grande quantidade de regras pouco relevantes eram ativadas prejudicando o desempenho do sistema, pois levava mais tempo para apresentar as soluções. Assim, conforme apresentado na Figura 7 definiu-se que para a ativação de uma regra fazia-se necessário que o antecedente possuísse um FC maior que 0,2, para que a regra analisada seja ativa, aumentando então a eficiência do sistema conforme ilustra a Figura 7.

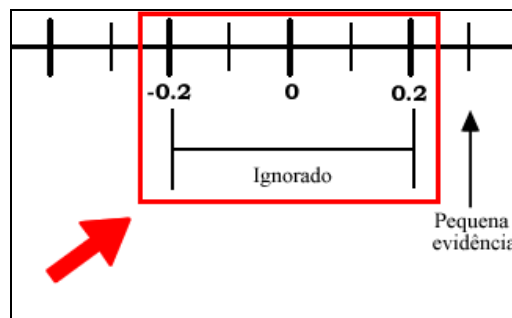


Figura 7. Intervalo de crença ignorado
 Fonte: NICOLETTI, M.C.; SANTOS, F.O. (1996)

Como a fórmula inicial dos FC (Fórmula 1) permitia que uma evidência fortemente positiva ou negativa desequilibrasse o sistema, E. H. Shortliffe e B. G. Buchanan modificaram a fórmula inicial surgindo uma nova proposta (BUCHANAN; SHORTLIFFE, 1984).

$$FC = \frac{MC - MD}{1 - \min[MC, MD]} \quad (6)$$

Nesta nova proposta conforme demonstra a Fórmula 6 os FC ficam definidos como sendo a diferença entre a MC e MD porém, proporcionais aos intervalos que compreendem a confirmação ou a negação da hipótese.

A fim de demonstrar a inferência realizada pelos FC será especificado a seguir sua atuação em sistemas especialistas.

4 INFERÊNCIA EM SISTEMAS ESPECIALISTAS PELOS FATORES DE CERTEZA

Os Sistemas Especialistas (SE) são aplicações caracterizadas por reproduzir o conhecimento de um especialista em um determinado domínio de aplicação. Em geral são construídos com o auxílio de um especialista humano, que transmite seu conhecimento adquirido ao engenheiro do conhecimento¹⁸, a fim de desenvolver um sistema capaz de simular o raciocínio humano de acordo com os dados a ele informados, auxiliando no processo de decisão do domínio de aplicação (BADIRU; CHEUNG, 2002).

Como estas aplicações são caracterizadas por auxiliar na solução de problemas geralmente resolvidos apenas por especialistas humanos. Para sua criação exige-se do engenheiro do conhecimento, certa habilidade para transformar o conhecimento do especialista em uma base de conhecimento¹⁹ utilizada na inferência²⁰. A esta interação entre especialista e desenvolvedor para modelagem da base de conhecimento dá-se o nome de engenharia do conhecimento (FERNANDES, 2003).

Afim de garantir a solução dos problemas propostos e visando reforçar a confiança do especialista nestes, são utilizadas técnicas para ativação das regras mais confiantes. Nesta pesquisa se emprega-se a teoria dos FC que busca analisar e reforçar a crença nas informações apresentadas auxiliando-o na resolução dos problemas (BADIRU; CHEUNG, 2002).

¹⁸ Engenheiro do conhecimento é a pessoa responsável pela criação da base de conhecimento do sistema, é ele o responsável por absorver o conhecimento do especialista e inseri-lo no SE (FERNANDES, 2003).

¹⁹ A base de conhecimento é o local responsável por armazenar as informações necessárias para a resolução dos problemas a que o sistema se propõe sendo estas desde uma base de regras até as considerações feitas pelo especialista (REZENDE et al, 2005).

²⁰ Inferência é uma operação na qual se extrai uma nova conclusão a partir da base de regras e dos dados apresentados (REZENDE et al, 2005).

Um SE de maneira geral é composto de alguns componentes sendo estes: o especialista²¹, o conhecimento²², e os dados²³, que mostram como o especialista raciocina para chegar a solução dos problemas (BARRETO, 2001).

Buscando a tomada de decisão em um ambiente, o especialista faz uso de fatos previamente vivenciados ou estudados por ele. A partir disso, formula hipóteses com base neste conhecimento adquirido para buscar a solução dos problemas. Baseando-se nesta lógica ele cria uma base de regras que juntamente com sua base de conhecimento é utilizada pelo SE para realizar as análises e auxiliar na solução dos problemas (FERNANDES, 2003).

4.1 ARQUITETURA DO SISTEMA ESPECIALISTA

A arquitetura básica do SE é representada pelos seguintes componentes: a base de conhecimento, a memória de trabalho, o motor de inferência, a aquisição de conhecimento e o mecanismo de explanação, conforme ilustra a Figura 8 (FLORES, 2003).

Estes sistemas são compostos basicamente por um conjunto de regras do tipo SE ENTÃO, a partir das quais este realiza as consultas e auxilia na resolução dos problemas.

²¹ O especialista é a pessoa responsável por gerar o conhecimento do sistema, ou seja, este é quem fornece as informações necessárias para que o sistema possa analisar e resolver os problemas (BARRETO, 2001).

²² O conhecimento é a base do sistema especialista, este contém fatos sobre o problema a ser resolvidos e regras que mostram como o especialista raciocina para chegar a uma conclusão (BARRETO, 2001).

²³ Os dados são elementos ou valores que se analisados isoladamente não tem por si só qualquer valor (RUSSELL; NORVIG, 2004).

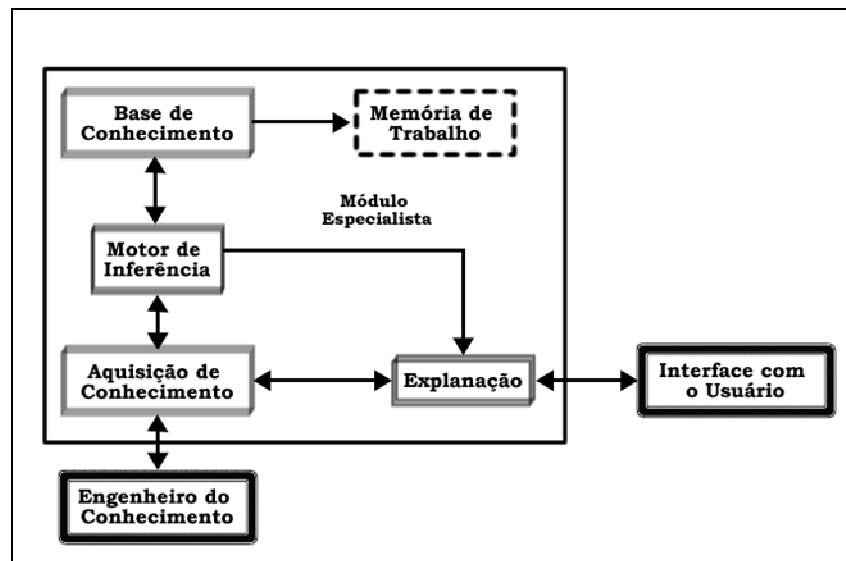


Figura 8. Arquitetura do sistema especialista
 Fonte: Adaptado de FLORES, C. D. (2003)

A base de conhecimento reúne os fatos e regras que o especialista julga necessárias, a fim de modelar o domínio em questão. A cada uma destas regras define-se um FC inicial sendo este, a partir da evidência apresentada, responsável pela ativação das regras. Estas armazenam os FC iniciais de cada hipóteses para solução do problema onde a cada nova regra ativada os fatores são recalculados afim de reforçar a crença nestas (BADIRU; CHEUNG, 2002; FERNANDES, 2003).

Aliada a base de conhecimento tem-se a memória de trabalho que é responsável por armazenar os dados pertinentes a consulta que esta sendo realizada, sendo ali armazenados os dados que estão sendo utilizados em tempo de execução (BADIRU; CHEUNG, 2002).

O motor de inferência é responsável por realizar a busca pelas respostas na base de regras, e ativar as regras mais confiantes a partir das evidências adicionadas. Assim, ele coordena esta busca e ativação conduzindo a consulta do usuário e transmitindo fatos e regras necessários para a memória de trabalho (FERNANDES, 2003).

A fim de raciocinar na busca por uma solução, o sistema utiliza em seu motor de inferência algoritmos que visam coordenar o processo de raciocínio podendo ser estes o encadeamento para frente (*Forward-Chaining*) e o encadeamento para trás (*Backward-Chaining*).

No encadeamento para frente o sistema parte de uma hipótese até encontrar em sua base uma regra que aponte para uma solução do problema. Já no encadeamento para trás o sistema parte de uma das soluções do sistema e busca confirmá-la com a ativação das regras que correspondam ao referido objetivo (RUSSELL; NORVIG, 2004).

A aquisição de conhecimento é a parte onde são feitas a criação e atualização da base de conhecimento, sendo esta atividade vinculada ao engenheiro do conhecimento que tem acesso direto a base de regras, monitorando seu funcionamento, bem como realizando as alterações necessárias para o melhor funcionamento do SE (FERNANDES, 2003).

O mecanismo de explanação é o componente do SE responsável por demonstrar o raciocínio utilizado para chegar à conclusão, ou seja, é ele quem apresenta quais regras foram ativadas e o porquê desta de acordo com o FC de cada uma, transmitindo ao usuário como este chegou as conclusões apresentadas (FERNANDES, 2003).

A interface com o usuário faz a interação entre este e o sistema, estabelecendo a comunicação entre essas partes. Pode apresentar-se em forma de menus, perguntas e representações gráficas (FERNANDES, 2003).

Os SE que baseiam-se na teoria dos FC são aplicados a diversas áreas do conhecimento. A partir desta técnica são desenvolvidas aplicações e ferramentas

capazes de auxiliar na solução de problemas das mais diversas áreas do conhecimento tratando de forma adequada as incertezas apresentadas.

5 TRABALHOS CORRELATOS

Os trabalhos descritos a seguir utilizam o conceito dos FC para realizar tarefas em diferentes domínios do conhecimento, desde o diagnóstico de doenças do coração e problemas renais até a construção de ferramentas para criação automatizada de SE.

A aplicação dos FC nestes sistemas busca auxiliar o especialista na solução do problema proposto por meio de um raciocínio matemático onde este atribui crenças as hipóteses de acordo com as evidências apresentadas.

Estes trabalhos foram subdivididos em dois grupos, o primeiro compreende as *shells* que utilizam FC em seu desenvolvimento e o segundo é composto pelos SE que aplicam os FC para auxiliar na resolução dos problemas.

5.1 SHELLS QUE UTILIZAM FATORES DE CERTEZA

O desenvolvimento de um SE visa auxiliar a solução de problemas complexos baseados no conhecimento de um especialista, buscando assim reforçar a crença no conhecimento do especialista, foram desenvolvidas algumas ferramentas que empregam os FC buscando auxiliar o sistema no seu raciocínio até apresentar uma solução ao usuário.

A partir deste contexto originaram-se SE aplicados a diversas áreas como a área médica, legal, e exatas. Aplicando os FC a diferentes aplicações desde a criação automatizada de SE até o auxílio de casos de direitos autorais.

5.1.1 EXPERT SINTA

A *shell* Expert SINTA²⁴ é um *software* que tem como objetivo a criação de sistemas especialistas, sendo desenvolvido por meio de um projeto de pesquisa da CAPES²⁵ entre os anos de 1995 a 1998, no Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará (NOGUEIRA et al, 1996). Este *software* foi desenvolvido utilizando o ambiente de programação *Delphi*, visando a plataforma *Windows* sendo disponibilizada gratuitamente.

Considerada uma *shell* completa por realizar a criação de uma base de conhecimento, motor de inferência, mecanismo de aquisição do conhecimento, mecanismo de explanação e interface com o usuário. Assim, possibilita o desenvolvimento facilitado destes componentes, o que permite sua aplicação em diversas áreas do conhecimento (SILVA et al, 1996).

Seu objetivo principal é facilitar o trabalho do especialista na criação de sistemas especialistas por meio de uma base regras e do uso dos FC para análise das regras e solução dos problemas, pois o especialista não precisa preocupar-se com alguns componentes que exigem um conhecimento mais aprofundado em informática tais como: interface gráfica e comunicação com a base de regras, visto que o sistema implementa estes componentes automaticamente, reduzindo-se consideravelmente o tempo de criação deste tipo de sistema.

²⁴ Disponível em: <http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/exsintashell.htm>

²⁵ Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – (CAPES): é um órgão do governo federal responsável por ampliar e consolidar os cursos de pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado) em todos os estados do País (CAPES, 2008). (<http://www.capes.gov.br>)

O SINTA permite o desenvolvimento modular²⁶ de bases de conhecimento por meio de uma interface simples e de fácil manipulação, o que reduz o tempo de implementação desta e oferece um melhor aproveitamento por parte do usuário final visto que é permitida a inserção de textos explicativos sobre as possíveis soluções encontradas pelo sistema (SILVA et al, 1996).

O SINTA faz uso de cálculos aritméticos para especificação de probabilidades, sendo estes empregados nas seguintes situações (SILVA et al, 1996):

- a) quando deseja-se obter o grau de confiança final de uma conjunção²⁷, disjunção²⁸ ou negação²⁹, onde cada premissa pode possuir o seu próprio coeficiente de certeza³⁰;
- b) para determinar a certeza de uma conclusão baseando-se no grau de confiança total das premissas e na confiança específica da conclusão .

A ferramenta também possibilita a atribuição de um valor especial, denominado de desconhecido, este é um valor empregado quando não há entrada de dados, ou seja, o usuário não assinala nenhuma das alternativas em uma pergunta. Assim, a Figura 9 ilustra a interface do sistema.

²⁶ Desenvolvimento modular é definido como a independência dos componentes, ou seja, na base de regras do sistema cada regra pode ser considerada uma peça de conhecimento independente o que permite a adição de novas regras bem como exclusão delas sem que seja necessário alterar o restante do sistema (SILVA et al, 1996).

²⁷ A conjunção é a propriedade dos conjuntos definida quando dois conjuntos A e B onde todos os elementos destes são comuns entre eles (GERSTING, 2001).

²⁸ A disjunção é a propriedade dos conjuntos definida quando tem-se a intersecção de dois conjuntos A e B onde esta representa um conjunto vazio (GERSTING, 2001).

²⁹ A negação define-se como sendo um conjunto B que contém todos os elementos que não pertencem a um conjunto A (GERSTING, 2001).

³⁰ O coeficiente de certeza é a propriedade de uma regra que define o quanto esta influência o sistema, ou seja, a probabilidade que esta tem de ocorrer dado as condições de ativação desta (BADIRU; CHEUNG, 2002).

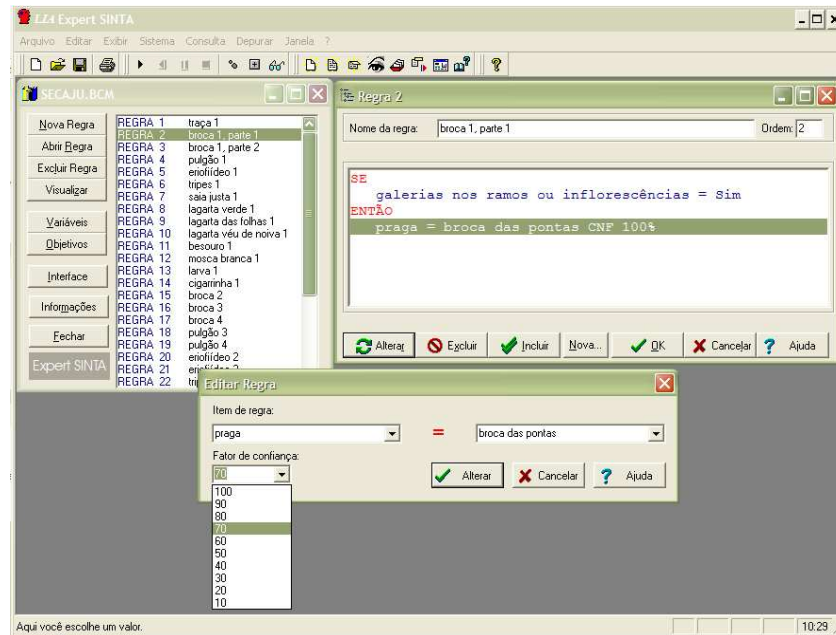


Figura 9. *Shell Expert SINTA*
 Fonte: NOGUEIRA, J. H. M. (1996)

Conforme descrito pelos autores, os resultados obtidos com este trabalho foram satisfatórios visto que a ferramenta atinge seu objetivo de gerador automático de sistemas especialistas.

5.1.2 THE MYCIN EXPERIMENTS OF THE STANFORD HEURISTIC PROGRAMMING PROJECT

O MYCIN é um sistema especialista desenvolvido em 1970, na Universidade de *Stanford*, São Francisco. Foi projetado visando auxiliar a detecção de doenças do sangue e recomendação de tratamentos, sendo disponibilizado gratuitamente (DAVIS; KING, 1984).

Este busca o desenvolvimento de um sistema especialista a fim de prover soluções para problemas complexos, por meio de um ambiente compreensível e flexível a fim de adequar-se facilmente ao novo conhecimento, buscando assim oferecer uma solução no auxílio à detecção de doenças do sangue.

Desenvolvido em LISP³¹ o MYCIN trabalha no auxílio de diagnósticos médicos, utilizando-se dos FC para quantificar o nível de crença em cada tipo de doença sangüínea. A partir das análises o sistema informa a possível doença por ele diagnosticada e indica um tratamento para esta.

Segundo os autores, esta pesquisa atingiu os objetivos estimados, visto que o sistema mostrou-se bastante confiável e flexível adaptando-se facilmente não só ao diagnóstico de doenças do sangue, mas como ferramenta, pois pode ser aplicada a outros problemas apresentando resultados satisfatórios nos diagnósticos fornecidos.

5.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS QUE UTILIZAM FATORES DE CERTEZA

A partir da criação de ferramentas utilizadas na modelagem de SE que utilizam-se os FC, foram desenvolvidas aplicações que utilizam esta técnica visando auxiliar a solução de problemas em domínios específicos das áreas de direito e médica entre outras.

5.2.1 *SHYSTERMYCIN: A HYBRID LEGAL EXPERT SYSTEM*

O SHYSTERMYCIN é um que combina o sistema especialista legal baseado em casos SHYSTER³² com o sistema especialista médico baseado em regras

³¹ Lisp é uma linguagem de programação concebida por John McCarthy em 1958, e que durante alguns anos tornou a principal linguagem da comunidade de inteligência artificial sendo refinada e estendida na área de IA (LUGER, 2004).

³² Syster é um SE baseado em regras da área jurídica, baseado na leis humanas e capaz de realizar análises a partir das referidas leis (POPPLER, 1996).

MYCIN, a fim de produzir um módulo auxiliar na análise de casos onde aplicam-se leis de direitos autorais³³.

Desenvolvido no ano de 2003 no Departamento de Ciência da Computação da Universidade Nacional da Austrália, o SHYSTERMYCIN tem como objetivo analisar casos de direitos autorais e produzir conclusões a partir dos mesmos (O'CALLAGHAN et al, 2003).

Segundo o autor o sistema atingiu os objetivos aos quais se propôs, e o modelo híbrido proposto na integração do SYSTER com o MYCIN no SYSTERMYCIN mostrou-se adequado, podendo estender seu uso a outras áreas da lei cobertas por legislação e casos de lei.

5.2.2 RENEX: AN EXPERT SYSTEM FOR THE INTERPRETATION OF 99MTC-MAG3 SCANS TO DETECT RENAL OBSTRUCTION

Esta pesquisa do Departamento de Radiologia da Universidade de Medicina Emory³⁴ de Atlanta, foi desenvolvido no ano de 2006 no estado da Geórgia, nos Estados Unidos (GARCIA et al, 2006).

Este SE busca auxiliar o diagnóstico de obstruções renais do tipo pre-
postfurosemide e postfurosemide 99mTc-mercaptoacetyltriglycine (99mTc- MAG3)³⁵
um exame bastante realizado nos Estados Unidos todos os anos, e devido ao grande
volume exames o tempo de diagnóstico é consideravelmente alto visto que são gerados
cerca de três resultados por semana.

³³ Direito autoral ou direitos de autor são as denominações usualmente utilizadas em referência ao rol de direitos outorgados aos autores de obras intelectuais (ASCENSÃO, 1997).

³⁴ Emory University School of Medicine disponível em <http://www.med.emory.edu/>

³⁵ 99mTc- MAG3 é um exame para detecção de obstruções renais onde estes são scaneados os rins e extraídos dados que medem o nível de obstrução dos mesmos (GARCIA et al, 2006).

O sistema faz uso dos fatores de certeza para confirmar o quão consistentes ou incompatíveis são os dados de acordo com as imagens e os níveis de obstrução apresentados. Classificando as obstruções em cinco níveis (Z1 – não obstruído, Z2 – provavelmente não obstruído, Z3 – equívoco para obstrução, Z4 – provavelmente obstruído, Z5– obstruído) e de acordo com o nível de obstrução atribui-se a crença conforme ilustra a Figura 11.

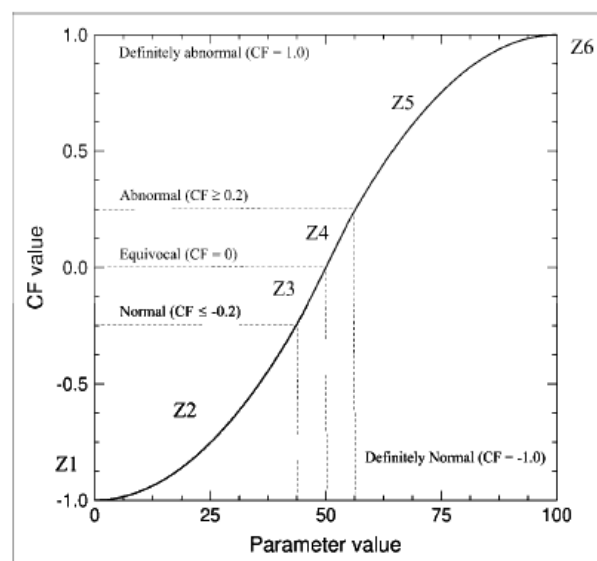


Figura 10. Escala de obstrução associada aos fatores de certeza
 Fonte: GARCIA, E. et al (2006)

Alem dos níveis ilustrados na Figura 10 o sistema apresenta as demais informações pertinentes ao exame realizado pelo paciente como peso, altura, sexo, e demais dados referentes ao exame visando a detecção das obstruções renais conforme ilustra a Figura 11.

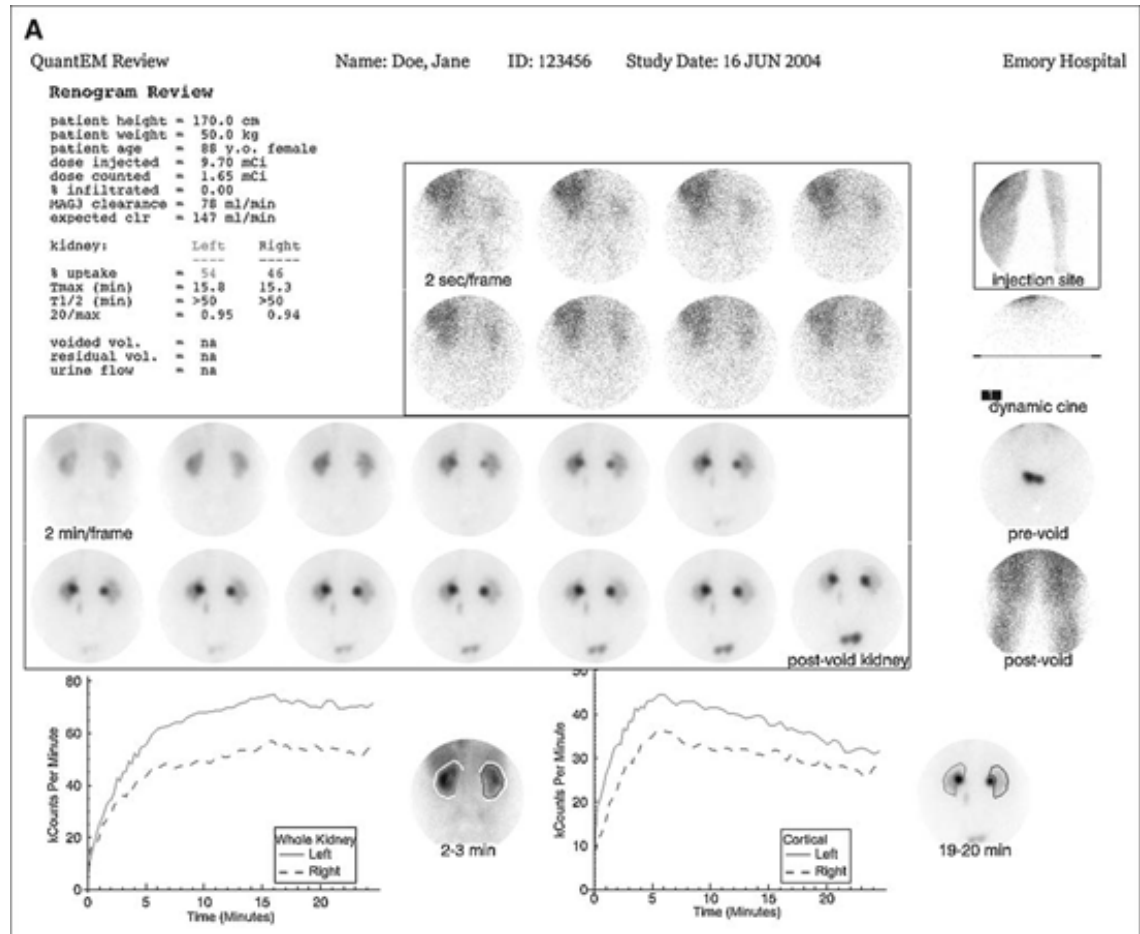


Figura 11. *Shell* RENEX
 Fonte: GARCIA, E. et al (2006)

Segundo o autor os resultados obtidos com esta pesquisa foram adequados para a amostra analisada, visto que o sistema desempenhou de forma satisfatória tanto a análise das imagens quanto a apresentação dos diagnósticos.

5.2.3 PERFEX: AN EXPERT SYSTEM FOR INTERPRETING 3D MYOCARDIAL PERFUSION

O PERFEX *expert system* é uma aplicação voltada para o auxílio no diagnóstico de doenças do coração, desenvolvida na escola de Medicina Emory no ano de 2001 na cidade de Atlanta estado da Geórgia nos Estados Unidos (EZQUERRA et al, 2001).

Este visa o desenvolvimento de um sistema especialista capaz de auxiliar na análise e detecção de doenças nas artérias coronárias³⁶, por meio da interpretação de imagens 3D. O sistema busca não somente a detecção de problemas cardíacos, como a gravidade dos mesmos, fazendo-o com base nas imagens geradas pelo exame *Tomographic perfusion imaging using thallium-201*³⁷.

Os FC são utilizados pelo sistema quando este analisa as imagens e atribui os graus de confiança às regiões de anomalias encontradas. Assim, de acordo com sua base de conhecimento ele busca identificar os problemas apresentados quantificando as regiões que apresentem alto FC para problemas no coração.

Conforme descrito pelos autores, os resultados apresentados foram satisfatórios, considerando-se que o sistema mostrou-se confiável com relação aos diagnósticos fornecidos.

5.3 COMPARATIVO

A Tabela 3 apresenta as *shells* que utilizam FC supracitadas, comparando: título, autor, aplicação, país, ano, linguagem e distribuição.

Tabela 3. Comparativo das *Shells*

Título	Autor	País	Ano	Linguagem	Distribuição	Link
<i>Expert SINTA</i>	J.H.M. Nogueira	Brasil	1996	Delphi	Gratuito	http://www.lia.ufc.br/Sinta/sinta.zip
MYCIN	E. H. Shortliffe e B. G. Buchanan	EUA	1970	Lisp	Gratuito	http://www.cs.columbia.edu/~laza/Software/Mycin/mycin.zip

³⁶ As artérias coronárias constituem-se nos primeiros ramos emergentes da aorta são as artérias iniciais do coração sendo uma esquerda e uma direita (CECIL; GOLDMAN; AUSIELLO, 2005).

³⁷ *Tomographic perfusion imaging using thallium-201* é um exame de tomografia computadorizada no qual é injetado no paciente antes da realização do mesmo uma dose de *thallium-201* um contraste que auxilia na visualização das imagens capturadas no exame (EZQUERRA et al., 2001).

Juntamente com as *shells* tem-se também um comparativo das ferramentas que utilizam os FC no tratamento da incerteza em ambientes específicos conforme Tabela 4 comparando: título, autor, aplicação, país e ano.

Tabela 4. Comparativo de aplicações

Título	Autor	Aplicação	País	Ano
RENEX	E. Garcia	Auxílio ao diagnóstico de doenças renais	EUA	2006
PERFEX	N. F. Ezquerria	Auxílio ao diagnóstico de doenças do coração	EUA	1992
SHYSTERMYCIN	T. O'Callaghan	Auxílio a casos de direitos autorais	Austrália	2003

As *shells* e aplicações descritas no decorrer deste capítulo demonstram a aplicação dos FC em diferentes domínios de aplicação visando auxiliar os especialistas na busca pela solução dos problemas. Assim, serão descritos a seguir os passos realizados para desenvolvimento do módulo de FC na *shell* Pegasus.

6 O FORMALISMO DOS FATORES DE CERTEZA NA SHELL PEGASUS UNCERTAINTY MODELING

Esta pesquisa é voltada ao desenvolvimento de uma *shell* para modelagem da incerteza que compreende inicialmente os módulos de fatores de certeza (objeto de estudo deste trabalho), lógica *fuzzy*, teoria de Dempster-Shafer e redes bayesianas, podendo-se então modelar diferentes problemas de acordo com as particularidades de cada teoria.

Considerando-se os FC, esta pesquisa abordou o problema da inferência por meio de um algoritmo de encadeamento para frente (*forward-chaining*), cuja estrutura apresenta uma base de regras.

Assim, este capítulo descreve as etapas metodológicas: levantamento bibliográfico; modelagem matemática dos FC; modelagem do módulo de FC na *shell Pegasus*; implementação; aplicação do módulo dos FC a uma problemática da área da gastronomia e resultados obtidos.

6.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico foi realizado abrangendo alguns assuntos relacionados aos FC e a sua inferência. Dentre estes, foram abordados os sistemas especialistas, técnicas de modelagem do motor inferência, métodos de encadeamento além da inferência realizada pelos FC.

Buscando o entendimento destes assuntos, além de aprofundar o conhecimento pré-existente com relação aos mesmos, foram utilizadas diferentes

bibliografias nacionais e internacionais, que abrangem também artigos científicos e *sites* especializados.

Após o levantamento bibliográfico iniciou-se o levantamento das ferramentas utilizadas para construção de SE buscando compreender o funcionamento dos componentes destes sistemas, para então desenvolver o módulo de FC na shell Pegasus. A partir do estudo realizado, foi desenvolvido um exemplo numérico do mecanismo de inferência escolhido.

6.2 MODELAGEM MATEMÁTICA DOS FATORES DE CERTEZA NA *SHELL* PEGASUS

A fim de demonstrar a aplicação prática da teoria dos FC definiu-se como exemplo fictício a seguinte problemática: Um senhor empresário do ramo de imóveis e trabalha de segunda a sexta-feira, das 8h às 18h. Este tem 53 anos e nas últimas semanas ele vem sentindo tonturas e dificuldades respiratórias.

Assim, ele resolve procurar um especialista para que possa descobrir que doença possui, ao chegar no consultório o médico lhe faz algumas perguntas buscando identificar sua possível doença. Este especialista é auxiliado por um SE capaz de diagnosticar as seguintes morbidades: princípio de infarto, gripe e asma.

Para que o sistema possa auxiliar no diagnóstico, este necessita que o especialista informe os sintomas apresentados pelo paciente podendo ser dores no peito, dificuldades respiratórias, chiado na respiração, tonturas e febre alta.

Visando identificar as prováveis doenças apresentadas pelo paciente, o especialista define previamente os possíveis objetivos do sistema (princípio de infarto, gripe e asma) que inicialmente estão desacreditados (recebem valor zero representando

o padrão para início dos cálculos), ou seja, sua crença inicial ($P(H)$) é igual a zero pois não possuem probabilidades iniciais conforme demonstra a Tabela 5.

Tabela 5. Probabilidade a priori das doenças

<i>Doença</i>	<i>P(H)</i>
Principio de Infarto	0,0
Gripe	0,0
Asma	0,0

A partir das morbidades que representam os objetivos do sistema, em seguida é formulado um conjunto de regras buscando de acordo com os sintomas (tonturas, dores no peito, dificuldades respiratórias, chiado na respiração e febre alta), confirmar ou negar a crença em uma determinada doença. Assim, são definidas as regras utilizadas pelo sistema para posterior consulta pelo especialista, que possuem o FC previamente associado conforme ilustra a Figura 12.

1	-	SE	<i>Tonturas</i>	<i>ENTÃO</i>	Dores no peito	(<i>FC = 1</i>)
2	-	SE	Dores no peito	<i>ENTÃO</i>	<i>Infarto</i>	(<i>FC = 0,75</i>)
3	-	SE	Dificuldades respiratórias	<i>ENTÃO</i>	<i>Gripe</i>	(<i>FC = 0,15</i>)
4	-	SE	Dificuldades respiratórias	<i>ENTÃO</i>	<i>Infarto</i>	(<i>FC = 0,45</i>)
5	-	SE	Chiado na respiração	<i>ENTÃO</i>	<i>Asma</i>	(<i>FC = 0,75</i>)
6	-	SE	Febre alta	<i>ENTÃO</i>	<i>Gripe</i>	(<i>FC = 0,45</i>)

Figura 12. Base de regras

Este conjunto de regras representa o domínio de conhecimento do especialista e a partir de cada sintoma que seja confirmado, o conseqüente (*ENTÃO*) é

ativado, observando-se que pode ser tanto um objetivo do sistema, quanto uma nova evidência que implica na ativação de outra regra. Assim, a partir das entradas, o sistema processa a inferência até chegar a uma conclusão.

Após uma conversa com o paciente este informa ao especialista os sintomas que apresenta que por sua vez são informado ao SE a fim de auxiliar o diagnóstico. Então o médico informa ao sistema os sintomas que seu paciente apresenta (tonturas e dificuldades respiratórias) então o sistema realiza a inferência a fim de apresentar suas conclusões.

Assim, o sistema busca as regras que satisfazem a primeira evidência (tonturas) conforme ilustra a Figura 13.

1 - SE *Tonturas* ENTÃO *Dores no peito* (FC = 1)

Figura 13. Regra que atende a evidência informada

A partir deste raciocínio, tem-se conforme demonstrado que a única opção que satisfaz a evidência tonturas é a regra 1 sendo esta ativada. Dada sua ativação, é analisada a consequência desta regra e detectado que sua consequência não é um objetivo do sistema, e sim uma outra evidência (dores no peito). Seguindo o processo de inferência é realizada uma nova pesquisa para encontrar quais regras satisfazem esta nova condição (dores no peito) conforme ilustra a Figura 14.

2 - SE *Dores no peito* ENTÃO *Infarto* (FC = 0,75)

Figura 14. Regra ativada pela consequência da regra 1

Após a busca pelas regras que tenham como antecedente o sintoma dores no peito, verifica-se que a única regra que atende a nova evidência é a regra 2, então esta é ativada e considerando que sua consequência é um dos objetivos do sistema (infarto). Assim, a probabilidade da hipótese de ter infarto representada por $p(H)$ é comparada com a probabilidade da hipótese infarto dada a evidência dores no peito representada por $p(H|E)$. Nota-se que houve um aumento na crença de zero (valor inicial) para 0,75 (FC da regra que atingiu o objetivo) conforme ilustra a Figura 15.

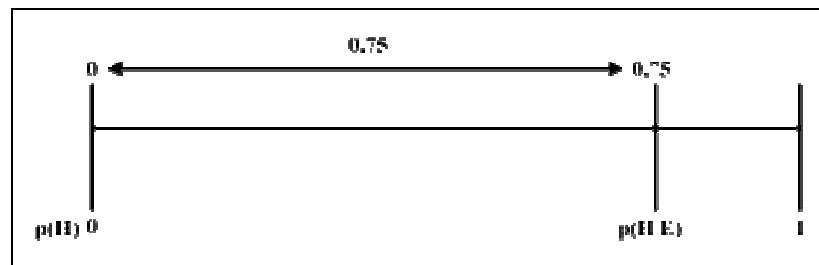


Figura 15. Aumento da crença na hipótese infarto

Dado o aumento da crença na hipótese infarto representado pela confirmação da evidência dores no peito apresentado na Figura 16 calcula-se de acordo com a fórmula 2 a nova MC. Tendo-se como $p(H)$ a probabilidade de ter infarto definida inicialmente com 0 e a $p(H|E)$ probabilidade de infarto dado que o paciente tem dores no peito conforme a regra 2 que define o seu FC em 0,75.

$$MC = \frac{p(\text{infarto} | \text{dores no peito}) - p(\text{infarto})}{1 - p(\text{infarto})} = \frac{0,75 - 0}{1 - 0} = \frac{0,75}{1} = 0,75$$

A partir do aumento na crença na hipótese de infarto para 0,75, calcula-se o seu novo FC de acordo com a Fórmula 4.

$$FC = \frac{MC_{\text{infarto}} - MD_{\text{infarto}}}{1 - \min[MC_{\text{infarto}}, MD_{\text{infarto}}]} = \frac{0,75 - 0}{1 - 0} = 0,75$$

Assim, o cálculo acima apresenta o novo FC que considera a MC na hipótese de infarto confirmada pela evidência dores no peito, e a MD da mesma hipótese inicial.

Considerando que foi observado além de tontura, a presença de dificuldades respiratórias, o processo de inferência evolui, realizando-se uma nova busca na base de conhecimento, a fim de encontrar as regras que satisfaçam ao sintoma informado (dificuldades respiratórias). Assim, são ativadas as regras 3 e 4 que tem como antecedente dificuldades respiratórias, conforme ilustra a Figura 16.

3 – SE Dificuldades respiratórias ENTÃO Gripe ($FC = 0,15$)

4 – SE Dificuldades respiratórias ENTÃO Infarto ($FC = 0,45$)

Figura 16. Regras ativadas pela segunda evidência apresentada

Analisando a regra 3 o sistema observa que sua consequência é um dos objetivos do sistema (gripe), que foi definido na Tabela 3, verificando-se conforme ilustra a Figura 17 que a probabilidade de ter gripe dado que tem dificuldades respiratórias ($p(H|E) = 0,15$) é maior que a probabilidade de se ter gripe sem nenhuma evidência associada ($p(H) = 0$), havendo assim um aumento na crença.



Figura 17. Aumento da crença na hipótese gripe

Com o aumento na crença da hipótese do paciente ter gripe confirmado pela evidência de ter dificuldades respiratórias (0,15), calcula-se então a MC desta hipótese (gripe) a partir da Fórmula 2.

$$MC = \frac{p(\text{gripe} | \text{dificuldades respiratórias}) - p(\text{gripe})}{1 - p(\text{gripe})} = \frac{0,15 - 0}{1 - 0} = \frac{0,15}{1} = 0,15$$

A partir da MC obtida (0,15), calcula-se o novo FC para a hipótese de ter gripe a partir da fórmula 4.

$$FC = \frac{MC_{\text{gripe}} - MD_{\text{gripe}}}{1 - \min[MC_{\text{gripe}}, MD_{\text{gripe}}]} = \frac{0,15 - 0}{1 - 0} = 0,15$$

Assim, o cálculo acima apresenta o novo FC que considera a MC na hipótese de gripe confirmada pela evidência dificuldades respiratórias, e a MD da mesma hipótese inicial.

Como a inferência disparou duas regras, após a análise da regra 3, a regra 4 é ativada. A partir da verificação desta regra o sistema constata que a consequência desta é um dos objetivos do sistema (infarto) pois esta definida na Tabela 3, porém neste caso a probabilidade do paciente ter infarto ($p(H) = 0,75$) é maior do que a probabilidade deste ter infarto dado que tem dificuldades respiratórias ($p(H|E) = 0,45$)

tendo-se assim conforme ilustra a Figura 18 uma redução na crença da hipótese de infarto.

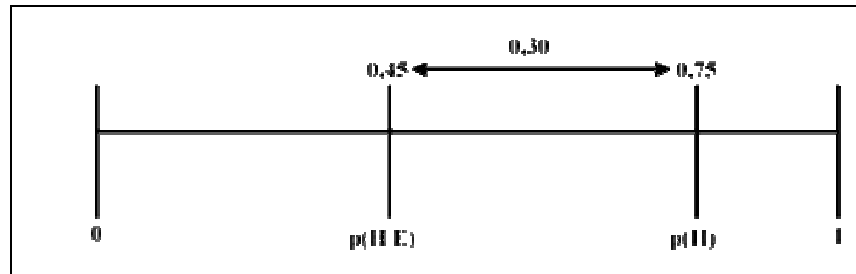


Figura 18. Redução na crença da hipótese infarto

Com a redução da crença na hipótese do paciente ter infarto confirmado pela evidência de ter dificuldades respiratórias (0,45), calcula-se então a MD desta hipótese (infarto) a partir da Fórmula 3.

$$MD = \frac{p(\text{infarto}) - p(\text{infarto} | \text{dificuldades respiratórias})}{p(\text{infarto})} = \frac{0,75 - 0,45}{0,75} = \frac{0,30}{0,75} = 0,4$$

A partir da MD obtida (0,4), calcula-se o novo FC para a hipótese de ter infarto a partir da fórmula 4.

$$FC = \frac{MC_{\text{inf arto}} - MD_{\text{inf arto}}}{1 - \min[MC_{\text{inf arto}}, MD_{\text{inf arto}}]} = \frac{0,75 - 0,4}{1 - 0,4} = \frac{0,35}{0,6} = 0,5833$$

Assim, o cálculo acima apresenta o novo FC que considera a MC na hipótese de infarto confirmada pela evidência dores no peito, e a MD da mesma hipótese confirmada pela evidência dificuldades respiratórias.

Ao final do processo de inferência são informados os níveis de crença que cada hipótese conforme valores previamente calculados que buscam auxiliar o especialista em seu diagnóstico conforme ilustra a Tabela 6.

Tabela 6. Resultados obtidos

<i>Doença</i>	<i>FC</i>
Principio de Infarto	58,33 %
Gripe	15 %
Asma	0 %

A partir dos resultados apresentados na Tabela 6 pode-se concluir que o paciente tem grande chance de ter principio de infarto sendo esta doença com maior FC (58,33) ao final da inferência, seguido pela hipótese do paciente ter gripe com FC mais baixo (15). Pode-se observar que existem hipóteses desacreditadas, ou seja, com grau de crença zero fato que ocorre em virtude de nenhum dos sintomas informados terem implicação nesta hipótese.

Concluído o raciocínio matemático inerente a utilização da teoria dos FC no processo de inferência em SE baseados em regras, segue-se com o desenvolvimento da pesquisa que tem como próximas etapas a modelagem e implementação do aplicativo.

6.3 MODELAGEM DO APLICATIVO

A modelagem e desenvolvimento do módulo de FC na *shell* Pegasus abrange a criação de um sistema baseado em regras aliado a referida teoria. Para sua criação, foi elaborado um diagrama em UML³⁸, a partir do ambiente NetBeans 6.0.1, do

³⁸ *Unified Modeling Language* (UML) é uma linguagem para especificação, documentação, visualização e desenvolvimento de sistemas orientados a objetos, onde por meio de seus diagramas é possível representar sistemas de softwares sob diversas perspectivas de visualização (PENDER, 2004).

referido módulo onde foram definidas as classes do sistema: *Predicate*; *Rule*; *Question*; e, *ProAPriori*.

Além das classes também foi definido um diagrama de caso de uso a fim de apresentar as funções desempenhadas pelos envolvidos.

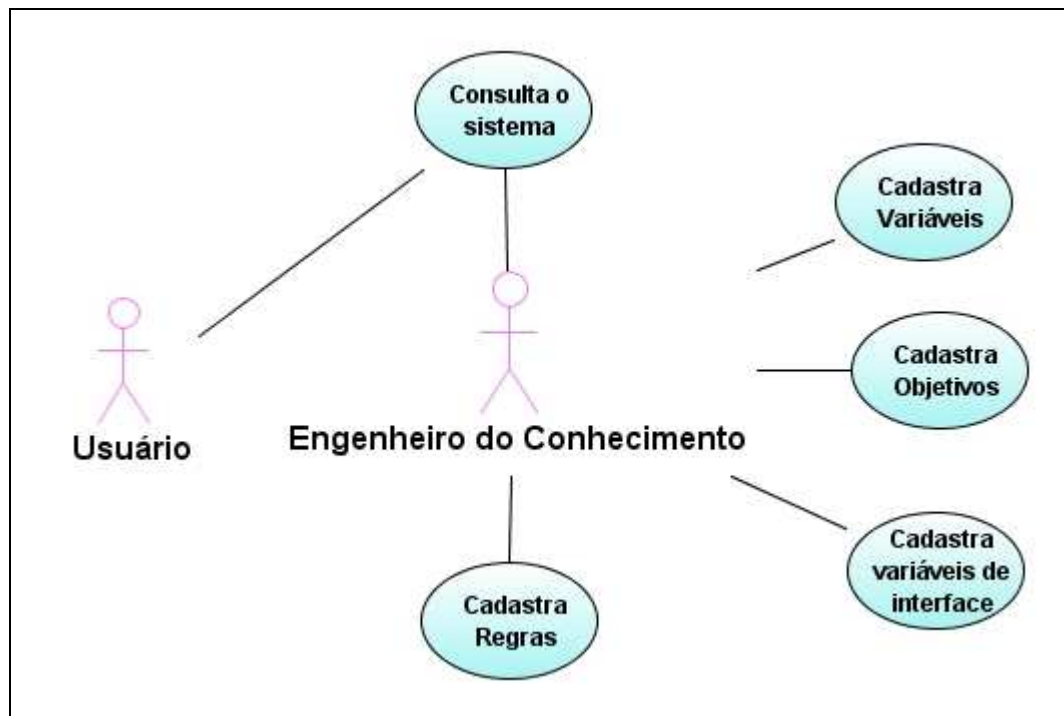


Figura 19. Diagrama de casos de uso

A Figura 20 representa a classe *Predicate* que é composta por uma lista que contém as informações que representam o SE, ou seja, o nome da variável, seu código, o tipo desta variável (se é um objetivo ou uma variável com pergunta associada), se é ou não utilizada no sistema, e código da questão associada. Os métodos presentes são os de acesso padrão e construtor.

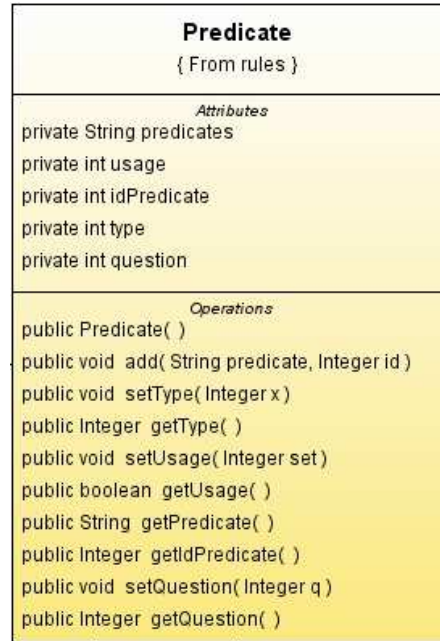


Figura 20. Classes *Predicate*

A classe *ProbAPriori* representada na Figura 21 é responsável por representar as informações relacionadas aos objetivos do sistema sendo estas: código da variável que corresponde ao objetivo; e, seu FC. Os métodos presentes são os de acesso padrão e construtor.

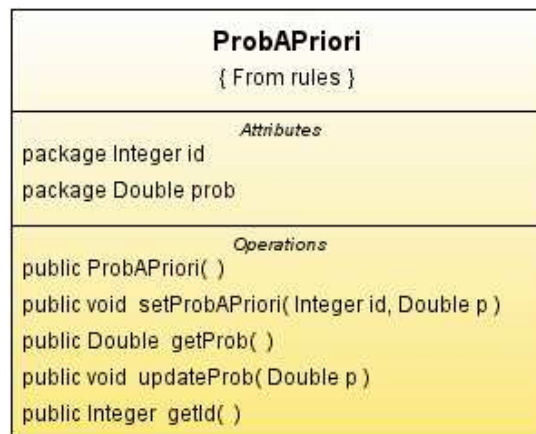


Figura 21. Classe *ProbAPriori*

Visando a comunicação entre o usuário e o sistema, foi definida a classe *Question* conforme ilustra a Figura 22, responsável por armazenar: o código do atributo

que possui pergunta associada; a descrição da pergunta; e, a resposta do usuário. Os métodos presentes são os de acesso padrão e construtor.

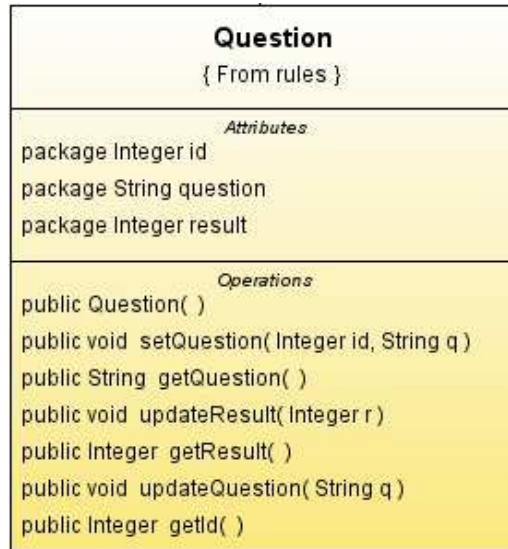


Figura 22. Classe *Question*

A fim de finalizar a representação da base de conhecimento, a partir de regras, a Figura 23 ilustra a classe *Rule* que abrange as informações das regras: código; nome; lista de antecedentes; lista conectivos de cada antecedente; lista de termos utilizados após o conectivo; lista de conseqüências da regra; e, o FC associado a esta. Os métodos presentes são os de acesso padrão, construtor, addRule, addPredicate, addConsequence, clear, addFC, printRule.

Rule { From rules }
<i>Attributes</i>
<pre>private Integer id private String name private Integer predicates[0..*] = new ArrayList<Integer>() private Integer valuePred[0..*] = new ArrayList<Integer>() private Integer conector[0..*] = new ArrayList<Integer>() private Integer consec[0..*] = new ArrayList<Integer>() private Integer valueConsec[0..*] = new ArrayList<Integer>() private Integer conectorConsec[0..*] = new ArrayList<Integer>() private Double fatCert</pre>
<i>Operations</i>
<pre>public Rule() public String getRule() public void addRule(Integer id, String name) public void addPredicate(Integer pred, Integer valuePred, Integer conectorPred) public void addConsequence(Integer consec, Integer valueConsec, Integer conectorConsec, Double fc) public void clear() public void addFC(Double fc) public void printRule() public Integer getIdRule() public Integer getIdPred(Integer index) public Integer getValuePred(Integer index) public Integer getConector(Integer index) public Integer getConsec(Integer index) public Integer getValueConsec(Integer index) public Integer getConectorConsec(Integer index) public Double getFC()</pre>

Figura 23. Classe *Rule*

O método `addRule` insere nesta classe o nome e código da referida regra.

O método `addPredicate` adiciona um antecedente para a regra, ou seja, recebe o código da variável utilizada como antecedente, o conectivo definido para ela (igual ou diferente) e seu valor (sim ou não).

O método `addConsequence` adiciona uma consequência para a regra, ou seja, recebe o código da variável utilizada como consequência, o conectivo para ela (definido somente como igual) e o valor da consequência (sim ou não).

O método `clear` limpa todos os campos do classe, ou seja, remove todos os atributos inseridos nela.

O método addFC insere um novo valor para o FC da regra caso este precise ser alterado.

O método printRule retorna ao usuário uma expressão que representa a regra.

A partir da modelagem UML, da criação das classes desenvolveu-se o módulo de FC na *shell* Pegasus conforme ilustra a Figura 24.

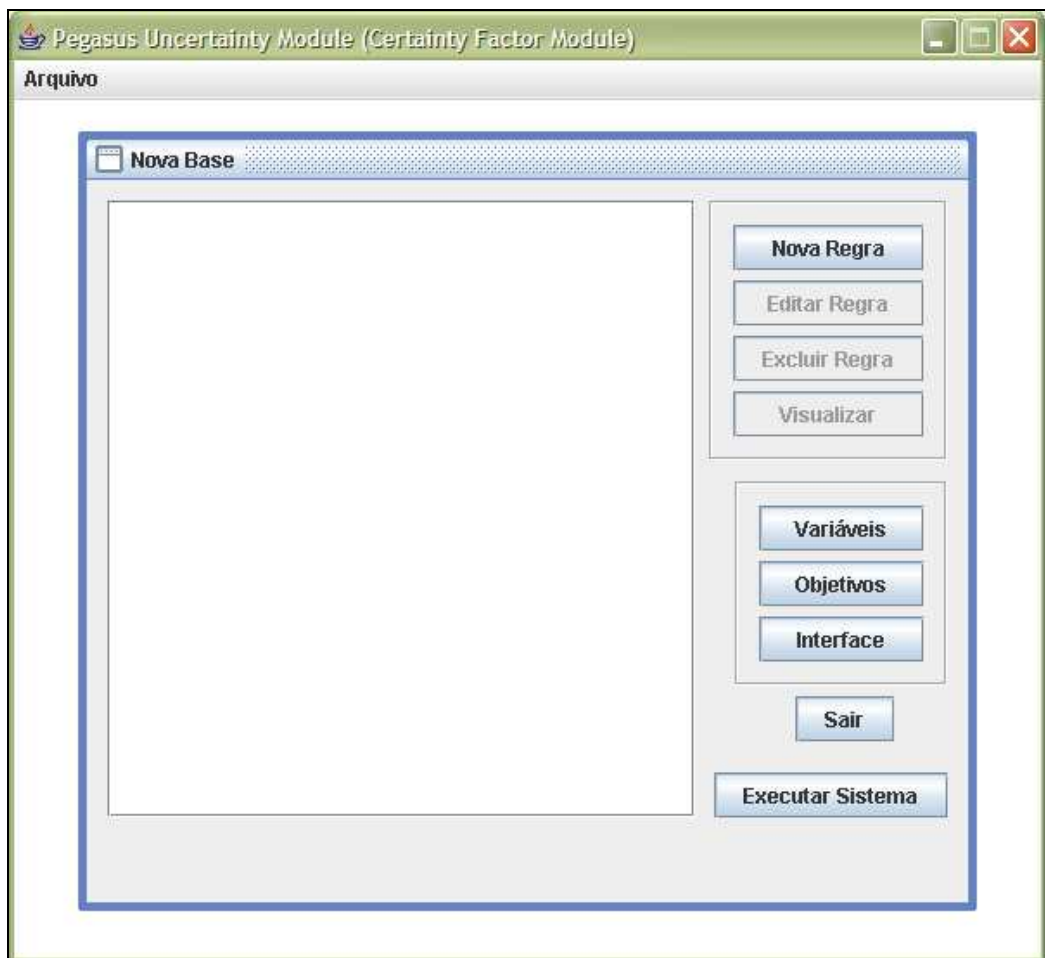


Figura 24. Interface do sistema

A interface consiste em duas áreas principais, na parte esquerda ficam listadas as regras cadastradas no sistema, e à direita encontram-se as opções apresentadas ao usuário para criar uma base ou para executá-la.

Por meio da interface apresentada na Figura 24 pode-se modelar a base de conhecimento utilizada para realizar inferência.

6.3.1 CONSTRUÇÃO DA BASE DE CONHECIMENTO

A partir da modelagem e implementação, desenvolveu-se um pseudocódigo que abrange a seqüência lógica de utilização das principais funcionalidades do módulo de FC na *shell* Pegasus para definição da base de conhecimento, conforme ilustra a Figura 25.

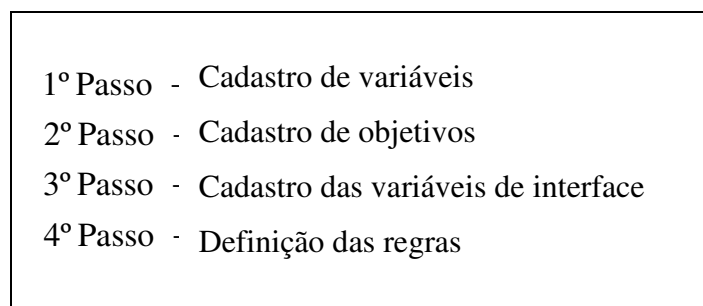


Figura 25. Pseudocódigo de definição da base de conhecimento

6.3.1.1 CADASTRO DAS VARIÁVEIS

Visando a construção da base de conhecimento o usuário precisa inicialmente cadastrar as variáveis a serem utilizadas. Para isso clica-se no botão “Variáveis” conforme ilustra a Figura 26.



Figura 26. Barra de ferramentas

Ao clicar no botão ilustrado na Figura 26 é apresentada ao usuário a tela de cadastro de variáveis que são cadastradas conforme ilustra a Tabela 7 e Figura 27.

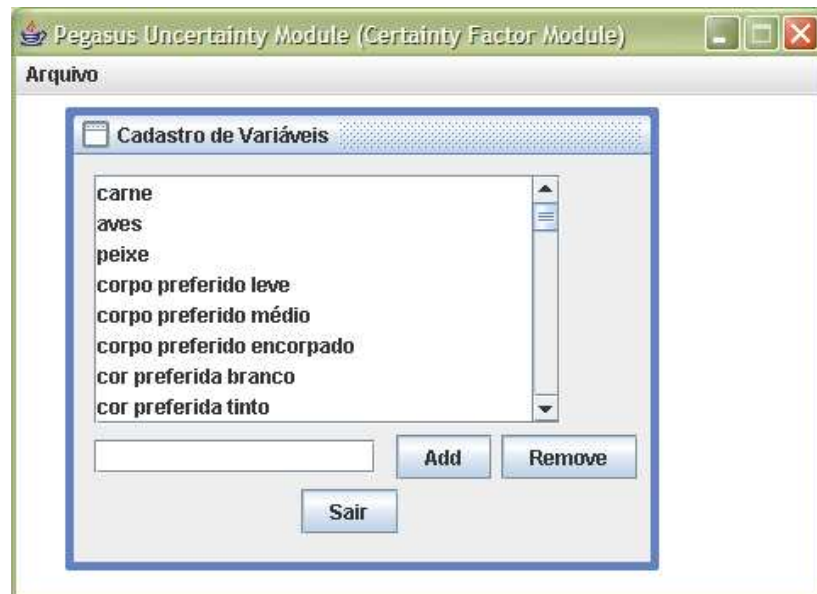


Figura 27. Interface de cadastro de variáveis

6.3.1.2 CADASTRO DOS OBJETIVOS

Após a declaração das variáveis do sistema, o usuário precisa definir quais destas variáveis são objetivos do sistema, para isso pode-se selecionar a opção “Objetivos” conforme ilustra a Figura 28.



Figura 28. Cadastro de objetivos

Ao clicar no botão ilustrado na Figura 28 a interface de inserção dos objetivos é apresentada ao usuário, conforme ilustra a Tabela 8 e Figura 29.

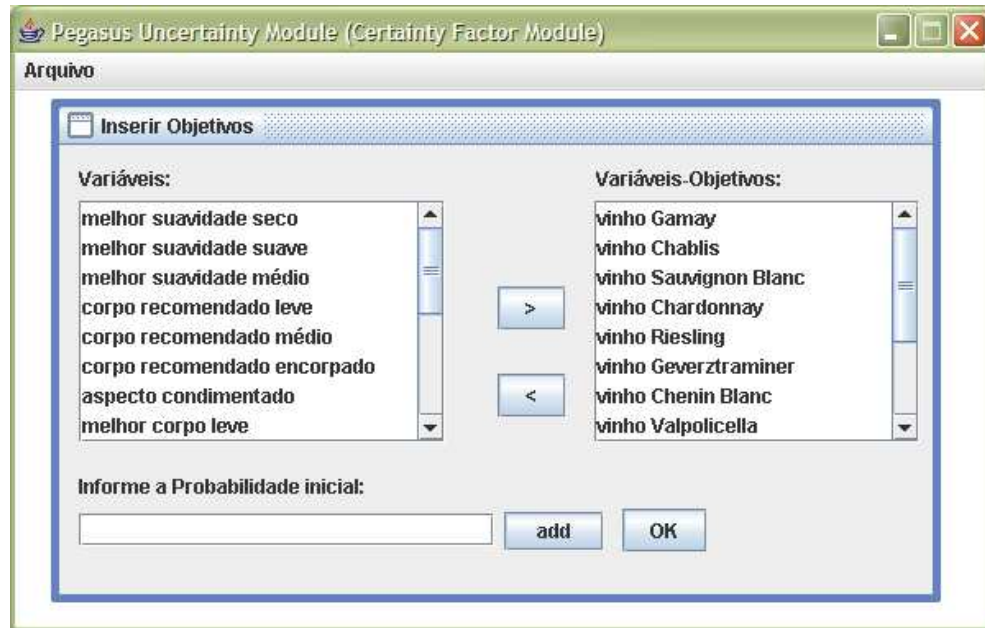


Figura 29. Cadastro dos objetivos

6.3.1.3 CADASTRO DAS VARIÁVEIS DE INTERFACE

Após a escolha dos objetivos, o usuário define também quais variáveis terão perguntas associadas para posterior consulta ao sistema, buscando facilitar assim a interface com o usuário, para isto pode-se selecionar a opção “Interface” conforme ilustra a Figura 30.



Figura 30. Menu interface

Ao clicar no botão ilustrado na Figura 30 a interface de inserção dos perguntas é apresentada ao usuário, conforme ilustra a Tabela 9 e Figura 31.

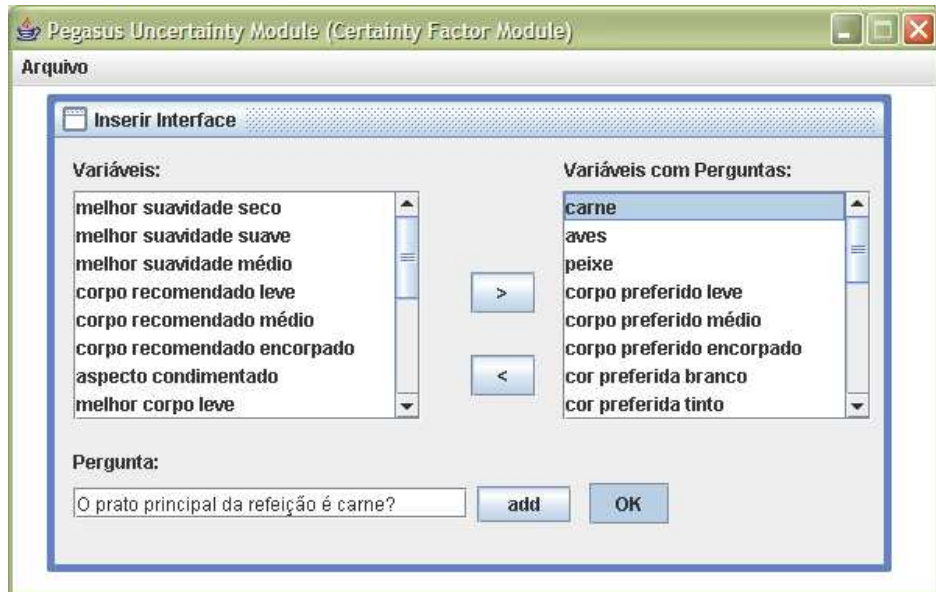


Figura 31. Cadastro de variáveis com perguntas

6.3.1.4 CADASTRO DAS REGRAS

A partir do cadastro de variáveis do sistema, objetivos e interface, é possível proceder com a definição das regras, formando assim, a base de conhecimento. Para isto pode-se seleccionar a opção “Nova Regra” conforme ilustra a Figura 32.



Figura 32. Menu cadastrar regra

Ao clicar no botão ilustrado na Figura 32 a interface de inserção de uma nova regra é apresentada ao usuário, conforme ilustra o Apêndice B e Figura 33.

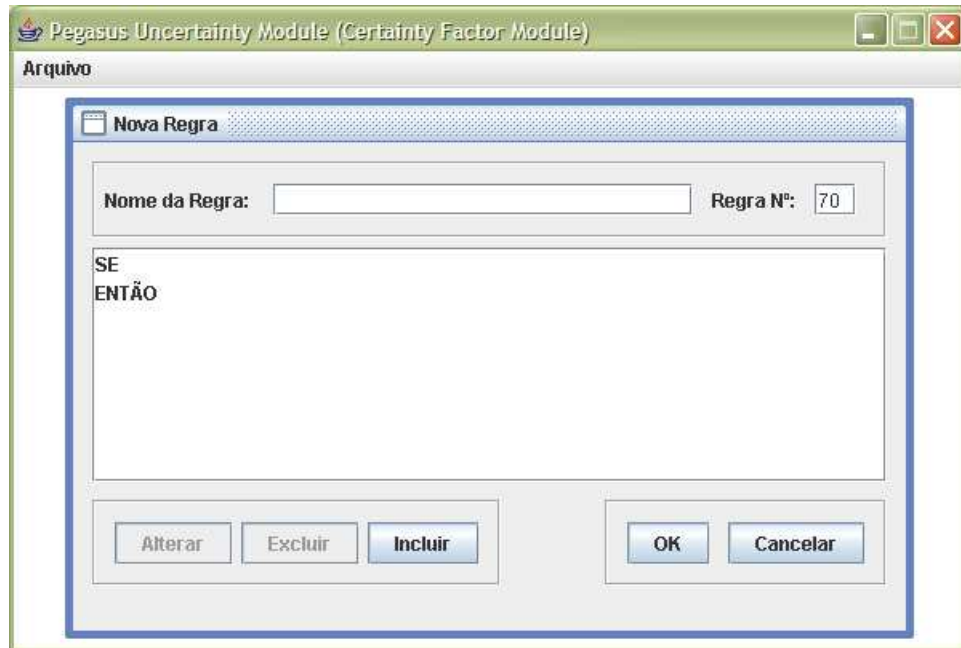


Figura 33. Interface de cadastro de regras

Buscando cadastrar uma regra o usuário precisa informar alguns itens como o nome da regra, seus predicados e a consequência desta. Assim, para que sejam cadastrados os predicados e as consequências de uma regra, basta que o usuário selecione o que este deseja (antecedente (SE) ou consequente (ENTÃO)) e selecione o botão “Incluir” conforme ilustra Figura 34.

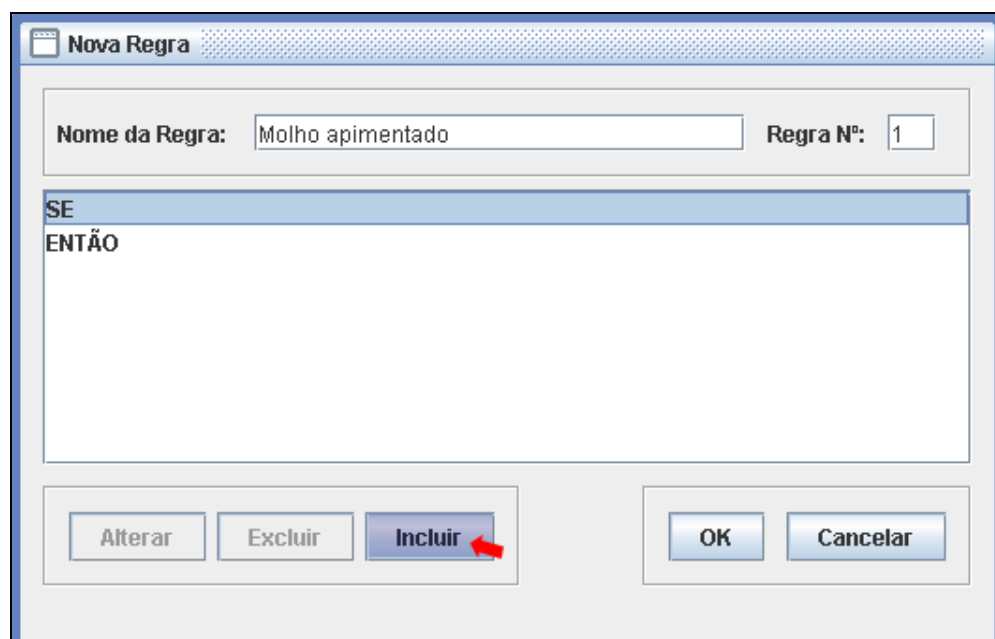


Figura 34. Interface inserir antecedente

Ao selecionar o botão inserir um antecedente da regra a interface de cadastro de antecedente é apresentada ao usuário conforme ilustra a Figura 35, onde cadastrou-se como antecedente da regra 1, a presença de molho apimentado.

A interface 'Nova Premissa' apresenta o seguinte layout: no topo, o título 'Nova Premissa' em um cabeçalho azul. Abaixo, a seção 'Item Regra:' contém um menu suspenso com o texto 'molho apimentado', seguido por um símbolo de igualdade (=) e um menu suspenso com o texto 'Sim'. Abaixo disso, a seção 'Conectivos' possui dois botões de opção: 'E' e 'OU', ambos desativados. À direita, há dois botões: 'Inserir' (destacado com uma seta vermelha) e 'Cancelar'.

Figura 35. Interface cadastro de premissa

Após o cadastro do antecedente da regra 1, para completá-la, o usuário seleciona a opção de cadastro de consequente (ENTÃO) conforme ilustra a Figura 36.

A interface 'Nova Regra' apresenta o seguinte layout: no topo, o título 'Nova Regra' em um cabeçalho azul. Abaixo, há dois campos de texto: 'Nome da Regra:' com o valor 'Molho apimentado' e 'Regra Nº:' com o valor '1'. Abaixo disso, há uma seção com o texto 'SE' e 'molho apimentado = Sim'. Abaixo disso, há uma seção com o texto 'ENTÃO' e um campo de texto vazio. Na base da interface, há dois grupos de botões: o primeiro grupo contém os botões 'Alterar', 'Excluir' e 'Incluir' (destacado com uma seta vermelha); o segundo grupo contém os botões 'OK' e 'Cancelar'.

Figura 36. Interface inserir consequência

Ao selecionar esta opção, a interface de cadastro de consequência é apresentada ao usuário conforme ilustra a Figura 37, onde cadastrou-se como consequente da regra 1, a presença de melhor corpo encorpado que possui FC = 100%.

A interface 'Nova Consequência' apresenta o seguinte layout: no topo, o título 'Nova Consequência' em um cabeçalho azul. Abaixo, a seção 'Item Regra:' contém um menu suspenso com o texto 'melhor corpo encorpado', um símbolo de igualdade (=) e um menu suspenso com o texto 'Sim'. Abaixo disso, há um campo de entrada rotulado 'Fator de Confiança' com o valor '100' digitado. Na base da interface, há dois botões: 'Inserir' e 'Cancelar'. Uma seta vermelha aponta para o botão 'Inserir'.

Figura 37. Interface de cadastro da consequência da regra

Após a composição da regra, basta que o usuário selecione a opção “OK” conforme ilustra a Figura 38, para que a regra seja inserida na base de conhecimento (Figura 39).

A interface 'Nova Regra' apresenta o seguinte layout: no topo, o título 'Nova Regra' em um cabeçalho azul. Abaixo, há dois campos de entrada: 'Nome da Regra:' com o texto 'Molho apimentado' e 'Regra Nº:' com o valor '1'. Abaixo disso, há um texto que define a regra: 'SE molho apimentado = Sim ENTÃO melhor corpo encorpado = Sim FC: 100 %'. Na base da interface, há dois grupos de botões. O primeiro grupo contém os botões 'Alterar', 'Excluir' e 'Incluir'. O segundo grupo contém os botões 'OK' e 'Cancelar'. Uma seta vermelha aponta para o botão 'OK'.

Figura 38. Regra completa para ser inserida

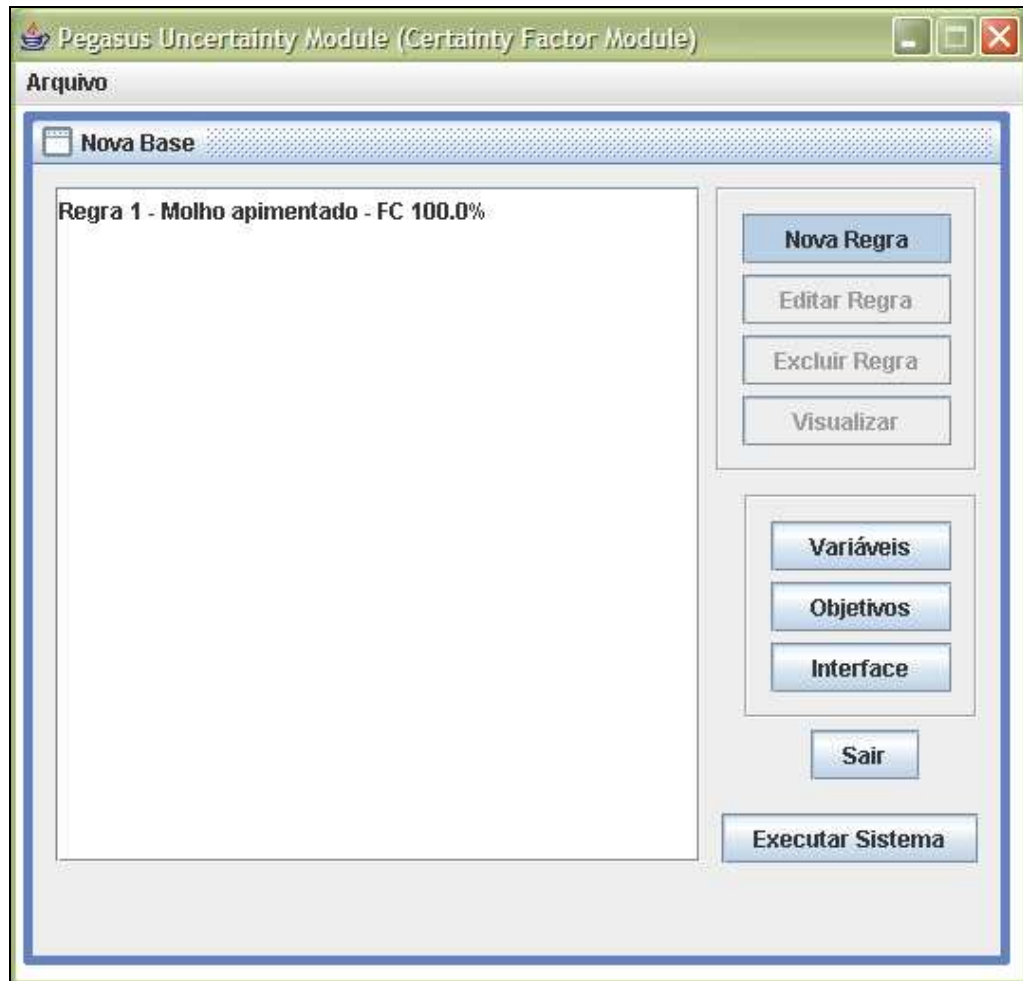


Figura 39. Regra inserida na base de conhecimento

A partir do algoritmo apresentado, são inseridas as demais regras (Apêndice B) na base de conhecimento, que já pode ser consultada. As consultas são realizadas pelo sistema por meio do mecanismo de inferência do encadeamento para frente conforme ilustra a Figura 40.

```

Enquanto (Entrada de dados) faça{
  Busca regras que satisfazem evidência
  Se resultado de busca ≠ ∅ faça{
    Se consequência da regra = objetivo faça{
      Calcula FC
    } Senão busca de regras que satisfazem nova evidência
  }
}

```

Figura 40. Pseudocódigo de encadeamento para frente

Baseado na modelagem do módulo de FC e na construção da base de conhecimento pode-se realizar a implementação do mesmo.

6.4 IMPLEMENTAÇÃO DO MÓDULO DE FATORES DE CERTEZA NA *SHELL* PEGASUS

A implementação do módulo de FC na *shell* Pegasus foi realizado em Java em virtude de suas características que abrangem questões como portabilidade, facilitar a utilização do paradigma de desenvolvimento orientado a objetos entre outras. Utilizou-se o ambiente NetBeans 6.1 por ser gratuita e utilizada nas atividades docentes do curso de Ciência da Computação da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Na implementação foram utilizados os padrões de codificação da linguagem da Java³⁹, a fim de aumentar a legibilidade do código para sua possível utilização em futuras pesquisas.

Considerando o módulo de FC que posteriormente foi integrado a *shell* Pegasus, sua implementação baseia-se na representação de um conjunto de regras simples ou compostas utilizando-se o conectivo “E”, objetivos e entradas do usuário juntamente com o motor de inferência. Uma vez desenvolvido, o mesmo foi testado e seu funcionamento devidamente averiguado.

³⁹ Os padrões de codificação da linguagem da Java são definições e convenções adotadas pelos desenvolvedores a fim de padronizar o código e garantir o entendimento por outros desenvolvedores (DEITEL; DEITEL, 2005).

6.5 APLICAÇÃO DO MÓDULO DE FATOR CERTEZA A UMA PROBLEMÁTICA DA ÁREA DE GASTRONOMIA

Os testes do módulo de FC na *shell* Pegasus foram realizados utilizando uma base de conhecimento disponível na *shell* Sinta, que indica o melhor vinho a ser escolhido de acordo com a combinação de refeição⁴⁰. Observa-se que esta escolha nem sempre é uma tarefa fácil para uma pessoa é especialista em vinhos.

Essa base foi utilizada com todos os atributos que contém, porém para que pudesse ser utilizada na *shell* Pegasus, foram necessárias algumas alterações (Apêndice B) como a adequação das variáveis do sistema, da variáveis de interface, dos objetivos, a retirada dos conectivos OU e a readequação das regras com mais de uma conclusão.

Assim, existem diversos tipos de vinho hoje no mercado, e cada um deles se aplica melhor a uma determinada refeição. Assim, o sistema oferece a indicação de treze tipos diferentes de vinho de acordo com o prato apresentado.

Os vinhos a serem indicados são os vinhos Gamay, Chablis, Sauvignon Blanc, Chardonnay, Riesling, Geveztraminer, Chenin Blanc, Valpolicella, Cabernet Sauvignon, Zinfandel, Pinot Noir, Burgundy e Soave. Para sua escolha são analisados os seguintes critérios: tipo de molho utilizado, prato principal, corpo preferido, cor preferida e suavidade preferida.

Na *shell* Pegasus, as variáveis do sistema foram definidas conforme os atributos listados na Tabela 7.

⁴⁰ Disponível em <http://www.lia.ufc.br/Sinta/sinta.zip>

Tabela 7. Variáveis da base de conhecimento

<i>Código</i>	<i>Variável</i>	<i>Código</i>	<i>Variável</i>
1	Carne	27	Melhor corpo leve
2	Aves	28	Melhor corpo médio
3	Peixe	29	Melhor corpo encorpado
4	Corpo preferido leve	30	Melhor cor branco
5	Corpo preferido médio	31	Melhor cor tinto
6	Corpo preferido encorpado	32	Cor recomendada branco
7	Cor preferida branco	33	Cor recomendada tinto
8	Cor preferida tinto	34	Suavidade recomendada suave
9	Melhor suavidade seco	35	Suavidade recomendada seco
10	Melhor suavidade suave	36	Suavidade recomendada médio
11	Melhor suavidade médio	37	Vinho Gamay
12	Molho de tomate	38	Vinho Chablis
13	Molho de creme	39	Vinho Sauvignon Blanc
14	Molho apimentado	40	Vinho Chardonnay
15	Molho agridoce	41	Vinho Riesling
16	Molho tártaro	42	Vinho Gevertztraminer
17	Sabor delicado	43	Vinho Chenin Blanc
18	Sabor médio	44	Vinho Valpolicella
19	Sabor forte	45	Vinho Cabernet Sauvignon
20	Corpo recomendado leve	46	Vinho Zinfadel
21	Corpo recomendado médio	47	Vinho Pinot Noir
22	Corpo recomendado encorpado	48	Vinho Burgundy
23	Suavidade preferida suave	49	Vinho Soave
24	Suavidade preferida seco	50	Tem peru
25	Suavidade preferida médio	51	Tem vitela
26	Aspecto condimentado		

Além das variáveis do sistema, também foram definidos os objetivos que referem os tipos de vinho a serem indicados além dos FCs iniciais em 0 quem sugerem conforme apresentado pela teoria que estas hipóteses estão desacreditadas inicialmente, conforme ilustra a Tabela 8.

Tabela 8. Variáveis objetivos da base de conhecimento

<i>Código</i>	<i>Objetivo</i>	<i>FC</i>
37	Vinho Gamay	0
38	Vinho Chablis	0
39	Vinho Sauvignon Blanc	0
40	Vinho Chardonnay	0
41	Vinho Riesling	0
42	Vinho Gevertztraminer	0
43	Vinho Chenin Blanc	0
44	Vinho Valpolicella	0
45	Vinho Cabernet Sauvignon	0
46	Vinho Zinfadel	0
47	Vinho Pinot Noir	0
48	Vinho Burgundy	0
49	Vinho Soave	0

Além das variáveis e objetivos são definidas também as variáveis de interface do sistema e suas respectivas perguntas conforme ilustra a Tabela 9.

Tabela 9. Variáveis de interface da base de conhecimento

<i>Código</i>	<i>Variável</i>	<i>Pergunta</i>
1	Carne	O prato principal da refeição é carne?
2	Aves	O prato principal da refeição é aves?
3	Peixe	O prato principal da refeição é peixe?
4	Corpo preferido leve	Você geralmente prefere vinho leve?
5	Corpo preferido médio	Você geralmente prefere vinho médio?
6	Corpo preferido encorpado	Você geralmente prefere vinho encorpado?
7	Cor preferida branco	Você geralmente prefere vinho branco?
8	Cor preferida tinto	Você geralmente prefere vinho tinto?
12	Molho de tomate	Você usa molho de tomate na refeição?
13	Molho de creme	Você usa molho de creme na refeição?
14	Molho apimentado	Você usa molho apimentado na refeição?
15	Molho agridoce	Você usa molho agridoce na refeição?
16	Molho tártaro	Você usa molho tártaro na refeição?
17	Sabor delicado	O sabor da refeição é delicado?
18	Sabor médio	O sabor da refeição é médio?
19	Sabor forte	O sabor da refeição é forte?
23	Suavidade preferida suave	Você geralmente prefere vinho suave?
24	Suavidade preferida seco	Você geralmente prefere vinho seco?
25	Suavidade preferida médio	Você geralmente prefere vinho médio?
50	Tem peru	A refeição inclui carne de peru?
51	Tem vitela	A refeição inclui carne de vitela?

Finalizando a construção da base de conhecimento, foram definidas as regras contidas no Apêndice B seguindo-se com a realização de testes na ferramenta resultante desta pesquisa.

6.6 RESULTADOS OBTIDOS

Esta pesquisa resultou em uma ferramenta voltada para o desenvolvimento de sistemas especialistas baseados em regras, a partir da utilização dos FC e do algoritmo de encadeamento pra frente. Para utilizar a ferramenta é carregado uma base de conhecimento e então realizadas as consultas ao sistema.

6.6.1 CONSULTA AO SISTEMA

Para que a base de conhecimento de vinhos possa ser consultada via interface com o usuário, é necessário que o sistema criado seja executado. Assim, desenvolveu-se um pseudocódigo que abrange a seqüência lógica de consulta ao módulo de FC na *shell* Pegasus a partir de uma base de conhecimento pré-definida conforme ilustra a Figura 41.

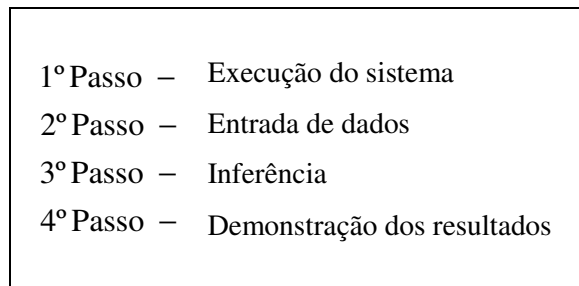


Figura 41. Pseudocódigo de consulta ao sistema

6.6.1.1 EXECUÇÃO DO SISTEMA

Para iniciar a consulta ao sistema o usuário precisa executá-lo, para isso clica-se no botão “Executar Sistema” conforme ilustra a Figura 42.

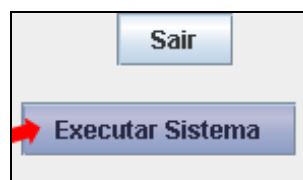


Figura 42. Executando o sistema

6.6.1.2 ENTRADA DE DADOS

Ao clicar no botão ilustrado na Figura 42 a interface de entrada de dados é apresentada ao usuário, conforme ilustra a Figura 43. Nesta etapa, as perguntas definidas nas variáveis de interface são oferecidas ao usuário que ao responde-las faz a entrada de dados do sistema.

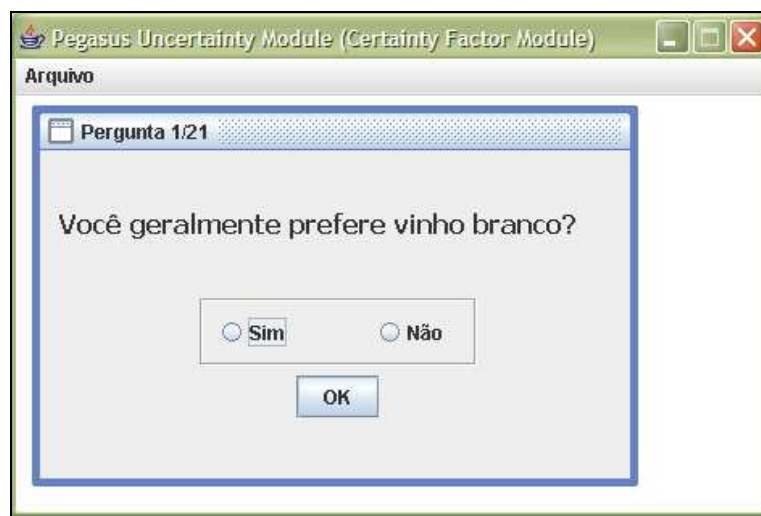


Figura 43. Interface de entrada de dados pelo usuário

Todas as perguntas pré-configuradas são apresentadas ao usuário para que em seguida o processo de inferência seja realizado.

6.6.1.3 INFERÊNCIA

A partir da entrada de dados o sistema realiza a inferência conforme raciocínio apresentado no item 6.4, analisando entre outros, os seguintes aspectos: tipo de prato que será servido; tipo de vinho preferido; e, tipo de molho utilizado, dentre outros fatores.

6.6.1.4 DEMONSTRAÇÃO DOS RESULTADOS

Ao final da inferência tem-se como conclusão do sistema uma lista com os níveis de crença em cada um dos objetivos (tipos de vinho) que este pode recomendar conforme ilustra a Figura 44.

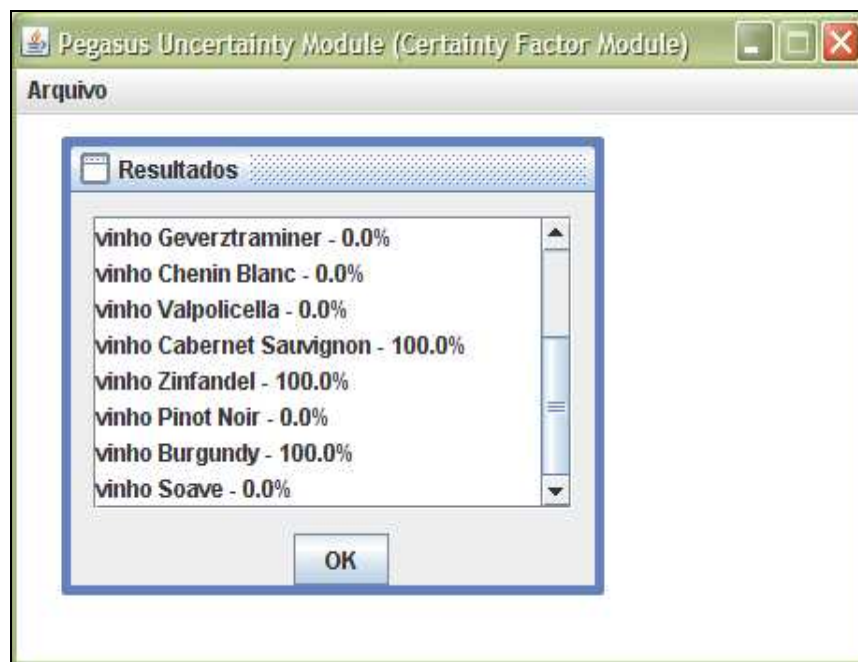


Figura 44. Resultados do sistema

A partir dos dados da Figura 43 pode-se perceber que os vinhos recomendados são o Cabernet Sauvignon, Zinfandel e Burgundy pois apresentam o maior grau de crença (100%).

De acordo com os testes realizados na *shell* Pegasus, pode-se concluir que este se mostrou adequado, gerando resultados esperados de acordo com as entradas informadas.

Os resultados obtidos foram comparados com as da *shell* SINTA com exceção do cálculo dos FCs que esta *shell* realiza a partir de outros modelos matemáticos, apresentando assim resultados similares em todos os demais componentes do sistema conforme ilustra a Figura 45. Ressalta-se ainda que o módulo de FC na *shell*

Pegasus só reconhece variáveis univaloradas, antecedente de regras compostos apenas com conectivos “E” e objetivos simples.



The screenshot shows a window titled "Resultados" with a sub-header "vinho". It contains a table with two columns: "Valor" and "CNF (%)". The table lists three wine types: Cabernet Sauvignon, Zinfandel, and Burgundy, each with a value of 100. The window also features a "Fechar" button, an "Ajuda" button, and a navigation bar at the bottom with tabs for "Resultados", "Histórico", "Todos os valores", and "O sistema".

Valor	CNF (%)
Cabernet Sauvignon	100
Zinfandel	100
Burgundy	100

Figura 45. Resultado do teste na *shell Expert SINTA*

CONCLUSÃO

Esta pesquisa apresentou o desenvolvimento de uma *shell* para representação da incerteza a partir do modelo dos FC, muito utilizado em problemas que envolvem a questão de confiança em informações o que é uma atividade rotineira em algumas áreas de aplicação.

Durante a realização desta pesquisa pode-se compreender com clareza o processo de construção de sistemas especialistas, seus componentes e de que forma interagem entre si.

Neste contexto, entendeu-se a complexidade inerente ao desenvolvimento do motor de inferência que é responsável por comunicar-se com os demais componentes de um SE para modelagem do conhecimento incerto e direcionar o sistema até a solução dos problemas por meio da ativação das regras.

Com o tratamento da incerteza por confiança, foi compreendida a teoria do FC que auxilia de maneira simplificada o especialista na solução de problemas, a partir de sua crença em determinadas hipóteses abrangendo-se desta forma sua utilização na construção de SE.

Para realização do tratamento da incerteza foi necessário compreender o processo de inferência em Sistemas Especialistas por meio da teoria dos FC além das técnicas de encadeamento para ativação de regras.

Aliado as técnicas de encadeamento fez-se necessário a utilização de um exemplo numérico para modelagem matemática que buscou auxiliar na compreensão das etapas envolvidas na utilização dos FC.

Esta pesquisa resultou em um módulo da *shell* Pegasus, voltado a modelagem da incerteza por confiança. Os testes foram realizados a partir de uma base

de conhecimento de vinhos disponibilizada pela *shell Expert SINTA*, e foram considerados satisfatórios considerando que ambas as ferramentas apresentaram os mesmos resultados com relação ao objetivo do sistema.

Neste sentido, diversas são as alternativas para desenvolvimento de trabalhos futuros, envolvendo o módulo de FC na *shell Pegasus*, tanto no mecanismo de inferência, como no aperfeiçoamento da criação das regras, assim podendo-se sugerir:

- a) dentre os algoritmos de inferência que poderiam ser desenvolvidos encontra-se o de encadeamento para trás;
- b) o aperfeiçoamento da criação de regras para que estas possam ter objetivos compostos;
- c) o emprego do conectivo 'OU';
- d) otimizar o modelo matemático utilizado;
- e) desenvolver modelos híbridos abrangendo também a lógica *fuzzy*, redes bayesianas e a teoria de Dempster-Shafer, além de outras técnicas da IA.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, P. E; EVSUKOFF, A G. Sistemas Fuzzy. In: REZENDE, S O.(Org.) **Sistemas Inteligentes: fundamentos e aplicações**. Barrueri: Manole, 2005. p. 169-291.

ASCENSÃO, J. O. **Direito autoral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Renovar, 1997.

ARTIFICIAL, L. I. **Expert SINTA**. Disponível em: <<http://www.lia.ufc.br/>>. Acesso em: 02 set. 2007.

BADIRU, A. B.; CHEUNG, J. Y. **Fuzzy engineering expert systems with neural network applications**. New York: J. Wiley, 2002.

BARRETO, J. M. **Inteligência artificial no limiar do século XXXI**. 3.ed. Florianópolis: Duplic, 2001.

BITTENCOURT, G. **Inteligência artificial: ferramentas e teorias**. 2.ed. Florianópolis: UFSC, 2001.

BOAVENTURA NETTO, P. O. **Grafos: teoria, modelos, algoritmos**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

BUCHANAN, B. G.; SHORTLIFFE, E. H. (Org). **Rule-Based Expert Systems: the MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project**. Califórnia: Addison-Wesley, 1984. p. 3-19.

CALDEIRAS, A. M.; AGUIAR, H.; OLIVEIRA, J. SOARES, M. A. **Inteligência Computacional: Aplicada à Administração, Economia e Engenharia em Matlab**. São Paulo: Thomson, 2007.

CAPES (Ed.). **História e missão**. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/sobre/historia.html>>. Acesso em: 10 maio 2008.

CECIL, R. L.; GOLDMAN, L.; AUSIELLO, D. A. **Cecil: tratado de medicina interna**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

COSTA, E.; SIMÕES, A. **Inteligência Artificial: fundamentos e aplicações**. Lisboa: FCA, 2004.

COX, E. **Fuzzy modeling and genetic algorithms for data mining and exploration**. California: Morgan Kaufmann, 2005.

DAVIS, R.; KING, J. J. The Context of the MYCIN Experiments. In: BUCHANAN, B. G.; SHORTLIFFE, E. H. (Org). **Rule-Based Expert Systems: the MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project**. California: Addison-Wesley, 1984. p. 3-19.

DEITEL, H. M.; DEITEL, P. J. **Java: como programar**. 6. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.

DIEZ, F. J. **Introducción al razonamiento aproximado**. Madrid: Dpto. Inteligência Artificial UNED, 1998.

DUARTE, O.. **UNFUZZY: Software para el Diseño, Análisis, Simulación e Implementación de Sistemas de Lógica Difusa**. 1997. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro) - Universidade Nacional de Colômbia, Colômbia, 1997.

EZQUERRA, N. F. et al. Diagnostic performance of an expert system for the interpretation of myocardial perfusion SPECT studies. **The Journal Of Nuclear Medicine**, Califórnia, p. 1185-1191. 05 ago. 2001.

FARIAS, A. R. **Método para integração de uma base de conhecimentos de um sistema especialista probabilístico utilizando o ambiente de programação C++ Builder**. 2001. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência da Computação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2001.

FERNANDES, A. M. R. **Inteligência artificial: noções gerais**. Florianópolis: Visual Books, 2003.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FLORES, C. D. Fundamentos dos sistemas especialistas. In: BARONE, D. (Org.). **Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas**. Porto Alegre: Bookman, 2003. p. 127-154.

GARCIA, E. et al. RENEX: An Expert System for the Interpretation of ^{99m}Tc -MAG3 Scans to Detect Renal Obstruction. **The Journal Of Nuclear Medicine**, Califórnia, p. 320-329. 06 fev. 2006.

GERSTING, J. L. **Fundamentos matemáticos para a ciência da computação**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2001.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

KORB, K. B.; NICHOLSON, A. E. **Bayesian artificial intelligence**. Florida: Chapman & Hall, 2004.

KUHLKAMP, N. **Cálculo 1**. 3. ed. Florianópolis: Ufsc, 2006.

LUGER, G. F. **Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a resolução de problemas complexos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

NEAPOLITAN, R. E. **Learning bayesian networks**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.

NICOLETTI, M.C.; SANTOS, F.O. **O uso de fatores de certeza em sistemas baseados em conhecimento**. São Carlos: UFSCar/DC. RT-DC 007/96, 1996.

NOGUEIRA, J. H. M. Expert SINTA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE SOFTWARE, 1996, São Carlos. **Seção Ferramentas**. p. 1 - 4.

NOGUEIRA, J. H. M. et al. Expert SINTA: Uma ferramenta visual geradora de sistemas especialistas. In: VI SEMANA DE INFORMÁTICA, 6., 1996, Salvador. **Anais da VI Semana de Informática**. Salvador: Ufc, 1996. p. 1 - 4.

O'CALLAGHAN, T. et al. *SHYSTER-MYCIN: A hybrid legal expert system*. In: *NINTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LAW*, 90. 2003, Edinburgh. **Proceedings**. Edinburgh 2003. p. 103 - 104.

O'NEILL, A. **Dempster-Shafer Engine**. Version 1.0. 1999. Disponível em: <<http://aonaware.com/dse.htm>>. Acesso em: 10 dez. 2007

PENDER, T. **UML: a bíblia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

POPPLÉ, James. **A Pragmatic Legal Expert System**. Aldershot: Ashgate, 1996.

PEARL, J. **Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference**. São Francisco, California: Elsevier, 1988.

REZENDE, S. O.; PUGLIESI, J. B.; VAREJÃO, F. M. Sistemas Baseados em Conhecimento. In: REZENDE, S. O. **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. Barueri: Manole, 2005. p. 13-50.

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

SILVA, R. B. A. et al. Aplicações baseadas no Expert SINTA: uma ferramenta para criação de sistemas especialistas. In: XV ENCONTRO DE INICIAÇÃO À PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ, 1996, Fortaleza. **XV Encontro de Iniciação à Pesquisa UFC**. Fortaleza: Ufc, 1996.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

WHITBY, B. **Inteligência artificial: um guia para iniciantes**. São Paulo: Madras, 2004.

WILLIAMSON, J. **Bayesian nets and causality: philosophical and computational foundations**. New York: Oxford University Press, 2005.

APÊNDICE A – MODIFICAÇÕES NA BASE DE REGRAS

Para que a base de vinhos pudesse ser utilizada no módulo da teoria dos FC na *shell* Pegasus foram necessários algumas modificações na referida base conforme demonstrado a seguir.

As variáveis do sistema foram alterados visto que o módulo FC não suporta inicialmente variáveis multivaloradas como por exemplo a variável corpo preferido possuía como seus valores leve, médio e encorpado. Assim substituí-se pelas seguintes variáveis.

<i>Variável Original</i>	<i>Valores</i>
Corpo preferido	Leve Médio Encorpado

<i>Variáveis Modificadas</i>	<i>Valores</i>
Corpo preferido leve	Sim ou Não
Corpo preferido médio	Sim ou Não
Corpo preferido encorpado	Sim ou Não

Assim, seguindo este modelo foram modificadas todas as variáveis da base de conhecimento conforme ilustra a Tabela 7.

Juntamente com as variáveis foram necessárias alterações nas perguntas associadas as variáveis demonstrados a seguir.

<i>Variável</i>	<i>Pergunta</i>	<i>Respostas</i>
Corpo preferido	Você geralmente prefere vinho leve ou encorpado?	Leve Médio Encorpado

<i>Variável</i>	<i>Pergunta</i>	<i>Respostas</i>
Corpo preferido leve	Você geralmente prefere vinho leve?	Sim Não
Corpo preferido médio	Você geralmente prefere vinho médio?	Sim Não
Corpo preferido encorpado	Você geralmente prefere vinho encorpado?	Sim Não

Assim, seguindo este padrão de modificações originou-se as variáveis de interface conforme Tabela 9.

Para que a base de conhecimento pudesse realizar a inferência foram necessárias algumas alterações em sua base de regras, porém estas alterações não interferiram no comportamento do sistema comparando-o com os da *shell* SINTA, sendo ilustrado uma regra da base original e uma modificada para o sistema.

<i>Código</i>	<i>Regra</i>	<i>FC</i>
3	SE sabor = delicado ENTÃO melhor corpo = leve	80%

<i>Código</i>	<i>Regra</i>	<i>FC</i>
3	SE sabor delicado = Sim ENTÃO melhor corpo leve = Sim	80%

Seguindo este padrão de modificações originou-se a base de regras conforme Apêndice B.

APÊNDICE B – BASE DE REGRAS

<i>Código</i>	<i>Regra</i>	<i>FC</i>
1	SE molho apimentado = Sim ENTÃO melhor corpo encorpado = Sim	100%
2	SE sabor delicado = Sim ENTÃO melhor corpo leve = Sim	80%
3	SE sabor médio = Sim ENTÃO melhor corpo médio = Sim	60%
4	SE sabor forte = Sim ENTÃO melhor corpo encorpado = Sim	80%
5	SE molho creme = Sim ENTÃO melhor corpo encorpado = Sim	60%
6	SE prato principal carne = Sim E tem vitela = Sim ENTÃO melhor cor tinto = Sim	90%
7	SE prato principal aves = Sim E tem peru = Sim ENTÃO melhor cor branco = Sim	90%
8	SE prato principal peixe = Sim ENTÃO melhor cor branco = Sim	100%
9	SE prato principal peixe <> Sim E molho de tomate = Sim ENTÃO melhor cor tinto = Sim	100%
10	SE prato principal aves = Sim E tem peru = Sim ENTÃO melhor cor tinto = Sim	80%
11	SE molho de creme = Sim ENTÃO melhor cor branco = Sim	40%
12	SE molho agridoce = Sim ENTÃO melhor suavidade = Sim	90%
13	SE molho apimentado = Sim ENTÃO aspecto condimentado = Sim	100%
14	SE melhor corpo leve = Sim ENTÃO corpo recomendado leve = Sim	100%
15	SE melhor corpo médio = Sim ENTÃO corpo recomendado médio = Sim	100%
16	SE melhor corpo encorpado = Sim ENTÃO corpo recomendado encorpado = Sim	100%
17	SE corpo preferido leve = Sim E melhor corpo leve = Sim ENTÃO corpo recomendado leve = Sim	20%
18	SE corpo preferido médio = Sim E melhor corpo médio = Sim ENTÃO corpo recomendado médio = Sim	20%
19	SE corpo preferido encorpado = Sim E melhor corpo encorpado = Sim	20%

	ENTÃO corpo recomendado encorpado = Sim	
20	SE corpo preferido leve = Sim E melhor corpo encorpado = Sim ENTÃO corpo recomendado médio = Sim	100%
21	SE corpo preferido encorpado = Sim E melhor corpo leve = Sim ENTÃO corpo recomendado médio = Sim	100%
22	SE melhor cor tinto = Sim ENTÃO cor recomendada tinto = Sim	100%
23	SE melhor cor branco = Sim ENTÃO cor recomendada branco = Sim	100%
24	SE cor preferida tinto = Sim E melhor cor tinto = Sim ENTÃO cor recomendada tinto = Sim	20%
25	SE cor preferida branco = Sim E melhor cor branco = Sim ENTÃO cor recomendada branco = Sim	20%
26	SE melhor suavidade seco = Sim ENTÃO suavidade recomendada seco = Sim	100%
27	SE melhor suavidade médio = Sim ENTÃO suavidade recomendada médio = Sim	100%
28	SE melhor suavidade suave = Sim ENTÃO suavidade recomendada suave = Sim	100%
29	SE melhor suavidade seco = Sim E suavidade preferida seco = Sim ENTÃO suavidade recomendada seco = Sim	20%
30	SE melhor suavidade médio = Sim E suavidade preferida médio = Sim ENTÃO suavidade recomendada médio = Sim	20%
31	SE melhor suavidade suave = Sim E suavidade preferida suave = Sim ENTÃO suavidade recomendada suave = Sim	20%
32	SE suavidade preferida seco = Sim E melhor suavidade suave = Sim ENTÃO suavidade recomendada médio = Sim	100%
33	SE suavidade preferida suave = Sim E melhor suavidade seco = Sim ENTÃO suavidade recomendada médio = Sim	100%
34	SE cor recomendada tinto = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Gamay = Sim	100%
35	SE cor recomendada tinto = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada suave = Sim ENTÃO vinho Gamay = Sim	100%
36	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim ENTÃO vinho Chablis = Sim	100%

37	SE cor recomendada branco = Sim suavidade recomendada suave = Sim ENTÃO vinho Chablis = Sim	100%
38	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado médio = Sim ENTÃO vinho Sauvignon Blanc = Sim	100%
39	SE cor recomendada branco = Sim E suavidade recomendada seco = Sim ENTÃO vinho Sauvignon Blanc = Sim	100%
40	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada seco = Sim ENTÃO vinho Chardonnay = Sim	100%
41	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Chardonnay = Sim	100%
42	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado encorpado = Sim E suavidade recomendada seco = Sim ENTÃO vinho Chardonnay = Sim	100%
43	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado encorpado = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Chardonnay = Sim	100%
44	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim E suavidade recomendada seco = Sim ENTÃO vinho Soave = Sim	100%
45	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Soave = Sim	100%
46	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Riesling = Sim	100%
47	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim E suavidade recomendada suave = Sim ENTÃO vinho Riesling = Sim	100%
48	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Riesling = Sim	100%
49	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada suave = Sim ENTÃO vinho Riesling = Sim	100%
50	SE cor recomendada branco = Sim	100%

	E corpo recomendado encorpado = Sim ENTÃO vinho Gevertztraminer = Sim	
51	SE cor recomendada branco = Sim E aspecto condimentado = Sim ENTÃO vinho Gevertztraminer = Sim	100%
52	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Chenin Blanc = Sim	100%
53	SE cor recomendada branco = Sim E corpo recomendado leve = Sim E suavidade recomendada suave = Sim ENTÃO vinho Chenin Blanc = Sim	100%
54	SE cor recomendada tinto = Sim E corpo recomendado leve = Sim ENTÃO vinho Valpolicella = Sim	100%
55	SE cor recomendada tinto = Sim E suavidade recomendada seco = Sim ENTÃO vinho Cabernet Sauvignon = Sim	100%
56	SE cor recomendada tinto = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Cabernet Sauvignon = Sim	100%
57	SE cor recomendada tinto = Sim E suavidade recomendada seco = Sim ENTÃO vinho Zinfandel = Sim	100%
58	SE cor recomendada tinto = Sim E suavidade recomendada médio = Sim ENTÃO vinho Zinfandel = Sim	100%
59	SE cor recomendada tinto = Sim E corpo recomendado médio = Sim E suavidade recomendada médio Sim ENTÃO vinho Pinot Noir = Sim	100%
60	SE cor recomendada tinto = Sim E corpo recomendado encorpado = Sim ENTÃO vinho Burgundy = Sim	100%

APÊNDICE C – ARTIGO

O Formalismo dos Fatores de Certeza na *Shell Pegasus Uncertainty Modeling*

¹Fernando Silvano Gonçalves

fernandosilgon@gmail.com

1- Acadêmico do Curso de Ciência da Computação – Departamento de Ciência da Computação – Unidade Acadêmica de Ciências, Engenharias e Tecnologias – Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) – Criciúma / SC

Abstract. *This article describes the formalism of the certainty factors, which accomplishes the treatment of uncertainties for trust. Allied the east the inference technique it is used by the linkage for front in order to produce a module of treatment of uncertainties for trust for the shell Pegasus Uncertainty Modeling.*

Resumo. *Este artigo descreve o formalismo dos fatores de certeza, o qual realiza o tratamento de incertezas por confiança. Aliado a este é empregada a técnica de inferência pelo encadeamento pra frente a fim de produzir um módulo de tratamento de incertezas por confiança para a shell Pegasus Uncertainty Modeling.*

1. Introdução

O conhecimento humano há muitos anos desperta o interesse dos cientistas que buscam compreender e interpretar este pensamento, procurando entender de que maneira o ser humano recebe, interpreta e manipula as informações em um ambiente mais expressivo do que a própria informação [Russell e Norvig 2004].

Buscando reproduzir este conhecimento e auxiliar na solução dos problemas, são desenvolvidas ferramentas com o objetivo facilitar o caminho até os resultados. Estas tecnologias visam interpretar o conhecimento fornecido e viabilizar o auxílio em sua resolução. Visando o tratamento da incerteza que se apresenta nestes ambientes podem-se aplicar técnicas que visam modelar os diversos tipos existentes desta.

2. Modelagem da Incerteza

O tratamento da incerteza presente no mundo real sempre gerou grande esforço dos pesquisadores que buscam a solução de problemas onde se exige um amplo conhecimento sobre um domínio específico de aplicação. Entretanto, esta situação se agrava quando as informações apresentadas são incompletas ou pouco confiáveis, dificultando assim este processo [Luger 2004].

Buscando auxiliar no processo de modelagem da incerteza, garantir a apresentação de dados confiáveis, e facilitar a resolução dos problemas, a literatura apresenta técnicas para sua modelagem que visam minimizar a incerteza presente em domínios de conhecimento. Entre essas, a lógica *fuzzy*, as redes bayesianas, a teoria de Dempster-Shafer e os fatores de certeza destacam-se das demais por serem as teorias mais citadas na literatura [Costa e Simões 2004], [Russell e Norvig 2004].

A Tabela 1 apresenta as técnicas de modelagem da incerteza mais citadas na literatura comparando: técnica; tipo de incerteza tratada; autores; ano de desenvolvimento; país onde foi desenvolvida; e a forma de representação do conhecimento.

Tabela 1. Comparativo das técnicas de modelagem da incerteza

Técnica	Incerteza tratada	Autores	Ano	País	Representação do conhecimento
Lógica Fuzzy	Imprecisão	Lotfi Asker Zadeh	1965	EUA	Conjuntos Fuzzy
Inferência Bayesianas	Aleatoriedade	Judea Pearl	1988	EUA	Redes Bayesianas
Teoria de Dempster-Shafer	Ignorância	Arthur Pentland Dempster e Glenn Shafer	1979	EUA	Funções de Crença
Fatores de Certeza	Confiança	Edward Hance Shortliffe e Bruce G. Buchanan	1970	EUA	Regras

As técnicas descritas buscam identificar, modelar e tratar a incerteza em um determinado domínio de aplicação. Assim, será aprofundado o conhecimento sobre os fatores de certeza que são a base desta pesquisa demonstrando sua teoria.

3. Fatores de Certeza

Desenvolvida para ser utilizado na ferramenta MYCIN, a teoria dos Fatores de Certeza (FC) apresenta uma abordagem que faz o tratamento da incerteza baseada em poucas informações atribuindo as hipóteses níveis de crenças [Diez 1998], [Nicoletti e Santos 1996].

A teoria dos FC busca realizar o tratamento de incertezas por confiança, sendo estas definidas como as situações onde tem-se algumas hipóteses onde cada uma delas tem sua crença aumentada ou reduzida de acordo com a evidência apresentada.

Essa teoria baseia-se em valores heurísticos geralmente entre -1 e +1 para representar o grau de confiança na evidência, sendo os valores abaixo de 0 (zero) correspondentes a negação desta, e os valores acima de 0 (zero) a confirmação da hipótese [Badiru e Cheung 2002]. Sendo esta baseada em um conjunto de regras do tipo SE ENTÃO (Figura 1).

$$SE < evidência > ENTÃO < hipótese > [FC = k]$$

Figura 1. Regra se então

A primeira parte da regra (SE) indica a condição para que esta ocorra, enquanto a segunda parte desta (ENTÃO) corresponde ao resultado, e k indica o grau de confiança depositado nesta regra, ou seja, o quão confiável ela é.

Esta teoria é definida com base nos valores de crença e descrença na hipótese proporcionais aos intervalos que compreendem a confirmação ou a negação desta (Fórmula 1) [Buchanan e Shortliffe 1984].

$$FC = \frac{MC - MD}{1 - \min[MC, MD]} \quad (1)$$

Dada esta diferença entre a crença e a descrença tem-se a definição da MC que representa a confiança depositada em uma hipótese (H) dada uma evidência (E) (Função 2) [Buchanan e Shortliffe 1984].

$$MC[H, E] = \begin{cases} 1 & \text{se } P(H) = 1 \\ \frac{\max[P(H/E), P(H)] - P(H)}{\max[1, 0] - P(H)} & \end{cases} \quad (2)$$

Já a MD (Função 3) reproduz a descrença que uma Hipótese (H) apresenta dada a Evidencia (E) [Buchanan e Shortliffe 1984].

$$MD[H, E] = \begin{cases} 1 & \text{se } P(H) = 0 \\ \frac{\min[P(H/E), P(H)] - P(H)}{\min[1, 0] - P(H)} & \end{cases} \quad (3)$$

A fim de demonstrar a inferência realizada pelos FC especificado a seguir sua atuação em sistemas especialistas.

4. Inferência em Sistemas Especialistas pelos Fatores de Certeza

Os Sistemas Especialistas (SE) são aplicações caracterizadas por reproduzir o conhecimento de um especialista em um determinado domínio de aplicação. Em geral são construídos com o auxílio de um especialista humano, que transmite seu conhecimento adquirido ao engenheiro do conhecimento, a fim de desenvolver um sistema capaz de simular este raciocínio de acordo com os dados informados, auxiliando no processo de decisão [Badiru e Cheung 2002].

A fim de garantir a solução dos problemas propostos e visando reforçar a confiança do especialista nestes, são utilizadas técnicas para ativação das regras mais confiantes. Nesta pesquisa foi empregada a teoria dos FC que busca analisar e reforçar a crença nas informações apresentadas auxiliando-o na resolução dos problemas [Badiru e Cheung 2002].

A arquitetura básica do SE é representada pelos seguintes componentes: a base de conhecimento, a memória de trabalho, o motor de inferência, a aquisição de conhecimento e o mecanismo de explanação (Figura 2) [Flores 2003].

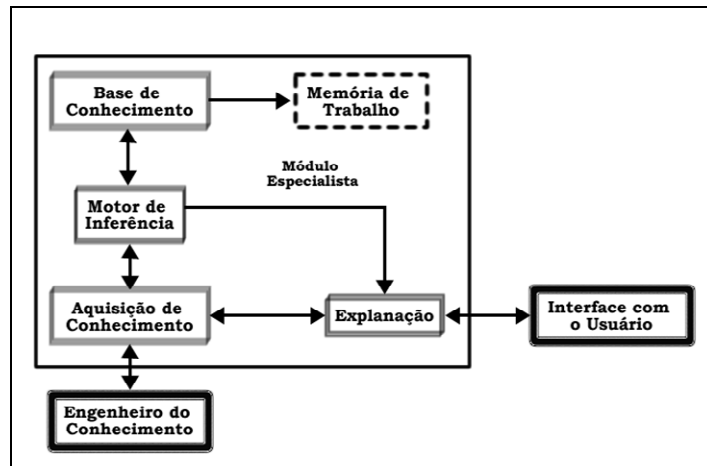


Figura 2. Arquitetura do sistema especialista

Estes componentes atuam em conjunto a fim de garantir a representação do conhecimento bem como o auxílio nas análises realizadas por meio deste. Os SE que baseiam-se na teoria dos FC são aplicados a diversas áreas do conhecimento, a partir desta técnica são desenvolvidas aplicações e ferramentas capazes de auxiliar na solução de problemas das mais diversas áreas do conhecimento tratando de forma adequada as incertezas apresentadas.

5. O Formalismo dos Fatores de Certeza na *Shell Pegasus Uncertainty Modeling*

Esta pesquisa é voltada ao desenvolvimento de uma *shell* para modelagem da incerteza que compreende inicialmente os módulos de fatores de certeza (objeto de estudo deste trabalho), lógica *fuzzy*, teoria de Dempster-Shafer e redes bayesianas, podendo-se então modelar diferentes problemas de acordo com as particularidades de cada teoria.

Considerando-se os FC, esta pesquisa abordou o problema da inferência por meio de um algoritmo de encadeamento para frente (*forward-chaining*), cuja estrutura apresenta uma base de regras.

Buscando o entendimento destes assuntos foi realizado um levantamento bibliográfico abrangendo alguns assuntos relacionados aos FC e a sua inferência. Assim, visando o entendimento destes assuntos, além de aprofundar o conhecimento pré-existente com relação aos mesmos, foram utilizadas diferentes bibliografias nacionais e internacionais, que abrangem também artigos científicos e *sites* especializados.

Após o levantamento bibliográfico iniciou-se o levantamento das ferramentas utilizadas para construção de SE buscando compreender o funcionamento dos componentes destes sistemas, para então desenvolver o módulo de FC na *shell Pegasus*. A partir do estudo realizado, foi desenvolvido um exemplo numérico do mecanismo de inferência escolhido.

5.1 Modelagem Matemática dos Fatores de Certeza na *Shell Pegasus*

A fim de demonstrar a aplicação prática da teoria dos FC definiu-se como exemplo fictício a seguinte problemática: Um senhor empresário do ramo de imóveis e trabalha de segunda a sexta-feira, das 8h às 18h. Este tem 53 anos e nas últimas semanas ele vem sentindo tonturas e dificuldades respiratórias.

Este resolve procurar um especialista para que possa descobrir que doença possui. Ao chegar no consultório o médico lhe faz algumas perguntas buscando identificar sua possível doença. Este especialista é auxiliado por um SE capaz de diagnosticar as seguintes morbidades: princípio de infarto, gripe e asma.

Para que o sistema possa auxiliar no diagnóstico, este necessita que o especialista informe os sintomas apresentados pelo paciente podendo ser dores no peito, dificuldades respiratórias, chiado na respiração, tonturas e febre alta.

Visando identificar as prováveis doenças apresentadas pelo paciente, o especialista define previamente os possíveis objetivos do sistema (princípio de infarto, gripe e asma) que inicialmente estão desacreditados (recebem valor zero representando o padrão para início dos cálculos), ou seja, sua crença inicial ($P(H)$) é igual a zero pois não possuem probabilidades iniciais conforme demonstra a (Tabela 4).

Tabela 4. Probabilidade a priori das doenças

<i>Doença</i>	<i>P(H)</i>
Princípio de Infarto	0,00 %
Gripe	0,00 %
Asma	0,00 %

A partir das morbidades que representam os objetivos do sistema, em seguida é formulado um conjunto de regras buscando de acordo com os sintomas (tonturas, dores no peito, dificuldades respiratórias, chiado na respiração e febre alta), confirmar ou negar a crença em uma determinada doença. Assim, são definidas as regras utilizadas pelo sistema para posterior consulta pelo especialista, que possuem o FC previamente associado (Figura 3).

1	- SE	<i>Tonturas</i>	<i>ENTÃO</i>	Dores no peito	(FC = 1)
2	- SE	Dores no peito	<i>ENTÃO</i>	<i>Infarto</i>	(FC = 0,75)
3	- SE	Dificuldade es respiratórias	<i>ENTÃO</i>	<i>Gripe</i>	(FC = 0,15)
4	- SE	Dificuldade es respiratórias	<i>ENTÃO</i>	<i>Infarto</i>	(FC = 0,45)
5	- SE	Chiado na respiração	<i>ENTÃO</i>	<i>Asma</i>	(FC = 0,75)
6	- SE	Febre alta	<i>ENTÃO</i>	<i>Gripe</i>	(FC = 0,45)

Figura 3. Base de Regras

Este conjunto de regras representa o domínio de conhecimento do especialista e a partir de cada sintoma que seja confirmado, o conseqüente (ENTÃO) é ativado, observando-se que pode ser tanto um objetivo do sistema, quanto uma nova evidência que implica na ativação de outra regra. Assim, a partir das entradas, o sistema processa a inferência até chegar a uma conclusão.

Após uma conversa com o paciente este informa ao especialista os sintomas que apresenta e por sua vez são informados ao SE a fim de auxiliar o diagnóstico. Assim, o sistema busca as regras que satisfazem a primeira evidência tonturas (Figura 4).

1 - SE Tonturas ENTÃO Dores no peito (FC = 1)

Figura 4. Regra que atende a evidência informada

A partir deste raciocínio, tem-se conforme demonstrado que a única opção que satisfaz a evidência tonturas é a regra 1 sendo esta ativada. Dada sua ativação, é analisada a consequência desta regra e detectado que sua consequência não é um objetivo do sistema, e sim uma outra evidência (dores no peito). Seguindo o processo de inferência é realizada uma nova pesquisa para encontrar quais regras satisfazem esta nova condição (dores no peito) conforme ilustra a (Figura 5).

2 - SE Dores no peito ENTÃO Infarto (FC = 0,75)

Figura 5. Regra ativada pela consequência da regra 1

Após a busca pelas regras que tenham como antecedente o sintoma dores no peito, verifica-se que a única regra que atende a nova evidência é a regra 2, então esta é ativada e conforme análise tem-se que sua consequência é um dos objetivos do sistema (infarto). Assim, a probabilidade da hipótese de ter infarto representada por $p(H)$ é comparada com a probabilidade da hipótese infarto dada a evidência dores no peito representada por $p(H|E)$. Nota-se que houve um aumento na crença de zero (valor inicial da hipótese) para 0,75 (FC da regra) (Figura 6).

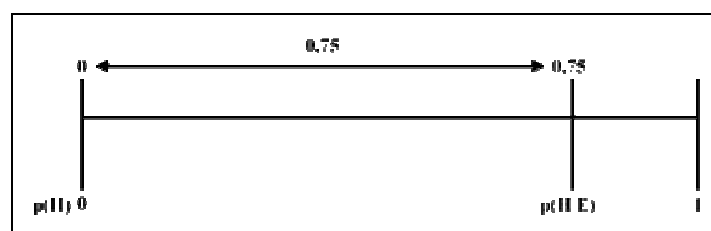


Figura 6. Aumento da crença na hipótese infarto

Dado o aumento da crença na hipótese infarto representado pela confirmação da evidência dores no peito (Figura 6) calcula-se de acordo com a Fórmula 2 a nova MC. Tendo-se como $p(H)$ a probabilidade de ter infarto definida inicialmente com 0 e a $p(H|E)$ probabilidade de infarto dado que o paciente tem dores no peito conforme a regra 2 que define o seu FC em 0,75.

$$MC = \frac{p(\text{infarto} | \text{dores no peito}) - p(\text{infarto})}{1 - p(\text{infarto})} = \frac{0,75 - 0}{1 - 0} = \frac{0,75}{1} = 0,75$$

A partir do aumento na crença na hipótese de infarto para 0,75, calcula-se o seu novo FC de acordo com a Fórmula 4.

$$FC = \frac{MC_{\text{infarto}} - MD_{\text{infarto}}}{1 - \min[MC_{\text{infarto}}, MD_{\text{infarto}}]} = \frac{0,75 - 0}{1 - 0} = 0,75$$

Assim, o cálculo acima apresenta o novo FC que considera a MC na hipótese de infarto confirmada pela evidência dores no peito, e a MD da mesma hipótese inicial.

Considerando que foi observado além de tontura, a presença de dificuldades respiratórias, o processo de inferência evolui, realizando-se uma nova busca na base de conhecimento, a fim de encontrar as regras que satisfaçam ao sintoma informado (dificuldades respiratórias). Assim, são ativadas as regras 3 e 4 que tem como antecedente dificuldades respiratórias, conforme ilustra a (Figura 7).

3 – SE Dificuldades respiratórias ENTÃO Gripe (FC = 0,15)
4 – SE Dificuldades respiratórias ENTÃO Infarto (FC = 0,45)

Figura 7. Regras ativadas pela segunda evidência apresentada

Analisando a regra 3 o sistema observa que sua consequência é um dos objetivos do sistema (gripe), que foi definido na Tabela 3, verificando-se (Figura 8) que a probabilidade de ter gripe dado que tem dificuldades respiratórias ($p(H|E) = 0,15$) é maior que a probabilidade de se ter gripe sem nenhuma evidência associada ($p(H) = 0$), havendo assim um aumento na crença.

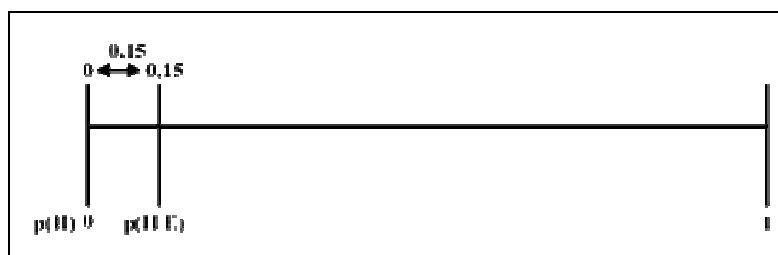


Figura 8. Aumento da crença na hipótese gripe

Com o aumento na crença da hipótese do paciente ter gripe confirmado pela evidência de ter dificuldades respiratórias (0,15), calcula-se então a MC desta hipótese (gripe) a partir da Fórmula 2.

$$MC = \frac{p(\text{gripe} | \text{dificuldades respiratórias}) - p(\text{gripe})}{1 - p(\text{gripe})} = \frac{0,15 - 0}{1 - 0} = \frac{0,15}{1} = 0,15$$

A partir da MC obtida (0,15), calcula-se o novo FC para a hipótese de ter gripe a partir da fórmula 4.

$$FC = \frac{MC_{\text{gripe}} - MD_{\text{gripe}}}{1 - \min[MC_{\text{gripe}}, MD_{\text{gripe}}]} = \frac{0,15 - 0}{1 - 0} = 0,15$$

Assim, o cálculo acima apresenta o novo FC que considera a MC na hipótese de gripe confirmada pela evidência dificuldades respiratórias, e a MD da mesma hipótese inicial.

Como a inferência disparou duas regras, após a análise da regra 3, a regra 4 é ativada. Esta é verificada e constatado que sua consequência é um dos objetivos do sistema (infarto), porém neste caso a probabilidade do paciente ter infarto ($p(H) = 0,75$) é maior do que a probabilidade deste ter infarto dado que tem dificuldades respiratórias ($p(H|E) = 0,45$) tendo-se assim uma redução na crença da hipótese de infarto (Figura 9).

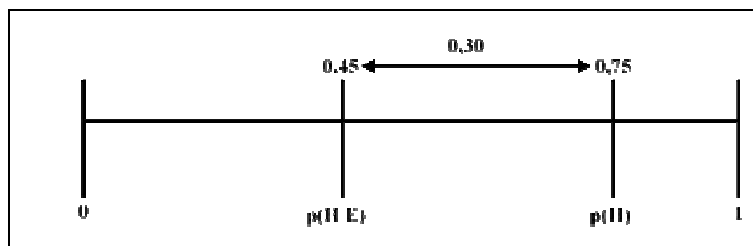


Figura 9. Redução na crença da hipótese infarto

Com a redução da crença na hipótese do paciente ter infarto confirmado pela evidência de ter dificuldades respiratórias (0,45), calcula-se então a MD desta hipótese (infarto) a partir da Fórmula 3.

$$MD = \frac{p(\text{infarto}) - p(\text{infarto} \mid \text{dificuldades respiratórias})}{p(\text{infarto})} = \frac{0,75 - 0,45}{0,75} = \frac{0,30}{0,75} = 0,4$$

A partir da MD obtida (0,4), calcula-se o novo FC para a hipótese de ter infarto a partir da fórmula 4.

$$FC = \frac{MC_{\text{inf arto}} - MD_{\text{inf arto}}}{1 - \min[MC_{\text{inf arto}}, MD_{\text{inf arto}}]} = \frac{0,75 - 0,4}{1 - 0,4} = \frac{0,35}{0,6} = 0,5833$$

Assim, o cálculo acima apresenta o novo FC que considera a MC na hipótese de infarto confirmada pela evidência dores no peito, e a MD da mesma hipótese confirmada pela evidência dificuldades respiratórias.

Ao final do processo de inferência são informados os níveis de crença que cada hipótese conforme valores previamente calculados que buscam auxiliar o especialista em seu diagnóstico conforme ilustra a (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados obtidos

<i>Doença</i>	<i>FC</i>
Principio de Infarto	58,33 %
Gripe	15,00 %
Asma	0,00 %

A partir dos resultados apresentados (Tabela 5) pode-se concluir que o paciente tem grande chance de ter principio de infarto sendo esta doença com maior FC (58,33%) ao final da inferência, seguido pela hipótese do paciente ter gripe com FC mais baixo (15%). Pode-se observar que existem hipóteses desacreditadas, ou seja, com grau de crença zero fato que ocorre em virtude de nenhum dos sintomas informados terem implicação nesta hipótese.

A modelagem e desenvolvimento do módulo de FC na *shell* Pegasus foi desenvolvida utilizando o padrão UML para sua modelagem e a linguagem java a partir do ambiente NetBeans 6.0.1 para seu desenvolvimento (Figura 10).

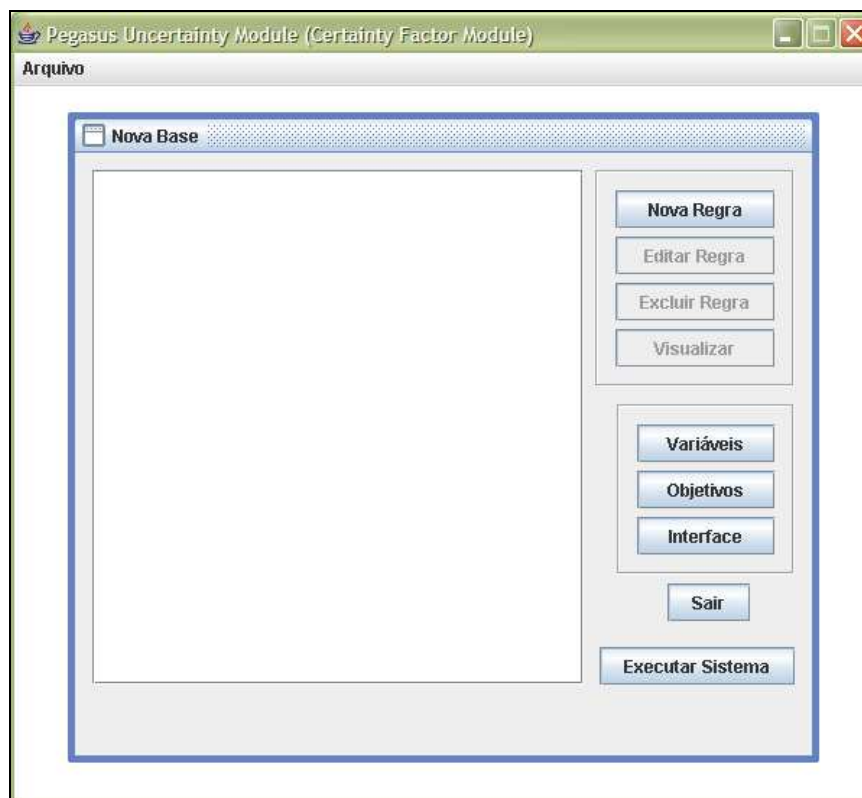


Figura 10. Interface do sistema

A interface consiste em duas áreas principais, na parte esquerda ficam listadas as regras cadastradas no sistema, e à direita encontram-se as opções apresentadas ao usuário para criar uma base ou para executá-la.

6. Conclusão

Esta pesquisa apresentou o desenvolvimento de uma *shell* para representação da incerteza a partir do modelo dos FC, muito utilizado em problemas que envolvem a questão de confiança em informações o que é uma atividade rotineira em algumas áreas de aplicação.

Durante a realização desta pesquisa pode-se compreender com clareza o processo de construção de sistemas especialistas, seus componentes e de que forma interagem entre si.

Neste contexto, entendeu-se a complexidade inerente ao desenvolvimento do motor de inferência que é responsável por comunicar-se com os demais componentes de um SE para modelagem do conhecimento incerto e direcionar o sistema até a solução dos problemas por meio da ativação das regras.

Visando o tratamento da incerteza por crença, foi estudada e compreendida a teoria do FC que auxilia de maneira simplificada o especialista na solução de problemas, a partir de sua crença em determinadas hipóteses abrangendo-se desta forma sua utilização na construção de SE.

Para realização do tratamento da incerteza foi necessário compreender o processo de inferência em Sistemas Especialistas por meio da teoria dos FC além das técnicas de encadeamento para ativação de regras.

Aliado as técnicas de encadeamento fez-se necessário a utilização de um exemplo numérico para modelagem matemática que buscou auxiliar na compreensão das etapas envolvidas na utilização dos FC.

Esta pesquisa resultou em um módulo da *shell* Pegasus, voltado a modelagem da incerteza por confiança. Os testes foram realizados a partir de uma base de conhecimento de vinhos disponibilizada pela *shell Expert* SINTA, e foram considerados satisfatórios considerando que ambas as ferramentas apresentaram os mesmos resultados com relação ao objetivo do sistema.

Referências

- BADIRU, A. B.; CHEUNG, J. Y. **Fuzzy engineering expert systems with neural network applications**. New York: J. Wiley, 2002.
- BUCHANAN, B. G.; SHORTLIFFE, E. H. (Org). **Rule-Based Expert Systems: the MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project**. California: Addison-Wesley, 1984. p. 3-19.
- COSTA, E.; SIMÕES, A. **Inteligência Artificial: fundamentos e aplicações**. Lisboa: FCA, 2004.
- DIEZ, F. J. **Introducción al razonamiento aproximado**. Madrid: Dpto. Inteligência Artificial UNED, 1998.
- FLORES, C. D. Fundamentos dos sistemas especialistas. In: BARONE, D. (Org.). **Sociedades artificiais: a nova fronteira da inteligência nas máquinas**. Porto Alegre: Bookman, 2003. p. 127-154.
- LUGER, G. F. **Inteligência artificial: estruturas e estratégias para a resolução de problemas complexos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- NICOLETTI, M.C.; SANTOS, F.O. **O uso de fatores de certeza em sistemas baseados em conhecimento**. São Carlos: UFSCar/DC. RT-DC 007/96, 1996.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

ANEXO A – APROVAÇÃO DO PROJETO DA SHELL PEGASUS**DECLARAÇÃO**

Declaramos para os devidos fins, que **Priscila Waleska Targino de Azevedo Simões**, participa como orientadora no projeto de pesquisa intitulado: **“Modelagem de incertezas híbridas na área de inteligência computacional aplicada: desenvolvimento de uma Shell para construção automatizada de sistemas inteligentes”** no Programa de Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC da Pró-Reitora de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão desta Universidade, no período de 01 de agosto de 2007 a 31 de julho de 2008, com a carga horária semanal de 02 (duas) horas.

Criciúma, SC, 13 de junho de 2008.


Roseli Jenoveva Neto

Pró-Reitora de Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão.