

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

Julian Teixeira Westphal

**Modelagem Difusa de um Sistema Especialista Médico:
Avaliação dos Fatores de Internação em Crianças
Queimadas**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação

Silvia Modesto Nassar, Dr^a
Orientadora

Florianópolis, Fevereiro de 2003

Modelagem Difusa de um Sistema Especialista Médico: Avaliação dos Fatores de Internação em Crianças Queimadas

Julian Teixeira Westphal

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação Área de Concentração Sistemas de Conhecimento e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Fernando Álvaro Ostuni Gauthier, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora

Silvia Modesto Nassar, Dra.
Orientadora

Maurício José Lopes Pereima, Dr.

Anita Maria da Rocha Fernandes, Dra.

AGRADECIMENTOS

À professora Dra Silvia Modesto Nassar, por ter acreditado na pesquisa,
pela sua brilhante orientação e por toda sua dedicação ao trabalho;
Ao Dr. Maurício Pereima, que, não obstante sua lotada agenda de cirurgião e
professor, soube encontrar tempo para fornecer todo o conhecimento médico necessário;
Ao amigo Dr. Gleiber Fernandes Royes, pelas incontáveis ajudas prestadas;
À minha esposa, Patrícia da Silva, por todo seu incentivo e compreensão nas difíceis
horas que antecederam a conclusão dos trabalhos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	viii
RESUMO	1
ABSTRACT	2
I – INTRODUÇÃO.....	3
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	6
1.1.1 <i>Objetivo Geral</i>	6
1.1.2 <i>Objetivos Específico</i>	6
1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	7
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	10
CAPÍTULO II – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	13
2.1 INTELIGÊNCIA.....	14
2.2 CONCEITUALIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	15
2.3 IA – UM CONCEITO HISTÓRICO	17
2.4 BASES CIENTÍFICAS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	19
2.5 DOMÍNIO DAS APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	20
CAPÍTULO III – LÓGICA	21
3.1 LÓGICA CLÁSSICA	22
3.1.1 <i>Lógica Proporcional</i>	23
3.1.2 <i>Lógica dos Predicados</i>	24
3.2 LÓGICAS NÃO PADRÃO.....	25
CAPÍTULO IV – SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	26
CAPÍTULO V – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INCERTEZA	30
5.1 ABORDAGENS DE IA PARA TRATAMENTO DE INCERTEZAS	31
5.1.1 <i>Redes Neurais Artificiais</i>	32
5.1.2 <i>Raciocínio Baseado em Casos</i>	33
5.1.3 <i>Abordagem Probabilística</i>	33
5.1.4 <i>Teoria dos Conjuntos Difusos</i>	34
CAPÍTULO VI – INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL VOLTADA À MEDICINA.....	35
6.1 EVOLUÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL MÉDICA.....	35
6.2 PRINCIPAIS ATUAÇÕES DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS NA MEDICINA	38
6.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL MÉDICA: POR QUE NÃO É USADA	38
CAPÍTULO VII – CONJUNTOS DIFUSOS	40
7.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS	42
7.1.1 <i>Conjuntos Normais</i>	42
7.1.2 <i>Suporte de um conjunto difuso</i>	43
7.1.3 <i>Core (núcleo)</i>	43
7.1.4 <i>Alpha-cuts</i>	43
7.1.5 <i>Números Difusos</i>	44
7.1.6 <i>Variáveis Lingüísticas</i>	44
7.1.7 <i>Operações básicas – Complemento, União e Intersecção</i>	45
7.2 EXEMPLO – APLICAÇÃO DOS CONCEITOS FUNDAMENTAIS	45
7.3 FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA	46

CAPÍTULO VIII – LÓGICA DIFUSA	48
8.1 CARACTERÍSTICAS DA LÓGICA DIFUSA.....	48
8.2 PROPOSIÇÕES DIFUSAS.....	49
8.3 OPERADORES DE AGREGAÇÃO.....	49
8.4 REGRAS DIFUSAS	52
8.5 MECANISMO DIFUSO DE INFERÊNCIA – RACIOCÍNIO APROXIMADO	55
8.6 APLICAÇÕES DA TEORIA DOS CONJUNTOS DIFUSOS.....	56
CAPÍTULO IX – SISTEMAS ESPECIALISTAS DIFUSOS.....	59
9.1 FUZZIFICAÇÃO.....	60
9.2 AVALIAÇÃO DAS REGRAS.....	60
9.3 DEFUZZIFICAÇÃO.....	61
9.4 PROJETO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA DIFUSO.....	62
9.5 ALGUMAS FERRAMENTAS DE AUXÍLIO À PROTOTIPAÇÃO DE SISTEMAS DIFUSOS.....	63
CAPÍTULO X – DOMÍNIO DA APLICAÇÃO	65
10.1 ANATOMIA E FISIOLOGIA DA PELE	65
10.2 QUEIMADURA	67
10.3 AGENTES CAUSADORES DE QUEIMADURAS	68
10.4 FISIOPATOLOGIA DAS QUEIMADURAS	69
10.5 INCIDÊNCIAS	69
10.6 DIAGNÓSTICO	71
10.7 AVALIAÇÃO DA PROFUNDIDADE DAS QUEIMADURAS	74
10.8 AVALIAÇÃO DA EXTENSÃO DAS QUEIMADURAS	76
10.9 PERÍODO EVOLUTIVO.....	77
10.10 CRITÉRIOS DE INTERNAÇÃO	78
10.11 INCERTEZAS ASSOCIADAS À INTERNAÇÃO DE PACIENTES VÍTIMAS DE QUEIMADURAS.....	79
10.12 ATENDIMENTO AO PACIENTE VÍTIMA DE QUEIMADURAS	81
10.13 CRITÉRIOS DE INTERNAÇÃO ADOTADOS PELO HOSPITAL INFANTIL JOANA DE GUSMÃO	81
CAPÍTULO XI – MODELAGEM DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DOS FATORES DE INTERNAÇÃO DE PACIENTES PEDIÁTRICOS VÍTIMAS DE QUEIMADURAS	83
11.1 AQUISIÇÃO DO CONHECIMENTO	84
11.2 VARIÁVEIS DE ENTRADA DO SISTEMA	84
11.2.1 Extensão da Queimadura	84
11.2.2 Profundidade das Queimaduras.....	86
11.2.3 Faixa Etária	86
11.2.4 Localização das Queimaduras	87
11.2.5 Fatores Absolutos Indicativos de Internação.....	88
11.3 CLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE SAÍDA	89
11.3.1 Classificação da Lesão.....	89
11.3.2 Escore de Internação	90
11.4 REGRAS DO SISTEMA	92
CAPÍTULO XII – ANÁLISE DE SISTEMAS	94
12.1 METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE SISTEMAS.....	94
12.2 PRINCIPAIS CLASSES DE OBJETOS DESENVOLVIDOS PARA O SAFI – CQ.....	96
CAPÍTULO XIII – CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO SAFI – CQ.....	99
13.1 MÓDULO DE ENTRADA DE DADOS / AVALIAÇÃO DAS REGRAS	99
13.2 MÓDULO DE ATUALIZAÇÃO / AJUSTES DOS PARÂMETROS DO SISTEMA	102
CAPÍTULO XIV – VALIDAÇÃO DO SISTEMA.....	106
CAPÍTULO XV – CONCLUSÕES.....	109
15.1 TRABALHOS FUTUROS.....	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Componentes de um Sistema Especialista.	27
Figura 6.1 – Evolução da Inteligência Artificial Médica	36
Figura 7.1 – Representação do conjunto difuso	42
Figura 7.2 – Representação da Variável Lingüística Classificação da Lesão	44
Figura 9.1 – Fluxo de dados em um Sistema Especialista Difuso	59
Figura 10.1 – Divisão da pele em epiderme, derme e hipoderme	67
Figura 10.2 – Distribuição segundo o agente da queimadura e a idade em anos	70
Figura 10.3 – Distribuição, segundo a faixa etária e o sexo	70
Figura 10.4 – Distribuição segundo o grau da queimadura	70
Figura 10.5 – Diferentes proporções das regiões do corpo humano em relação à superfície total, de acordo com a idade	77
Figura 11.1 – Conjunto variável <i>Extensão das Queimaduras</i>	85
Figura 11.2 – Representação da variável lingüística <i>Faixa Etária</i>	87
Figura 11.3 – Representação da variável lingüística <i>Classificação da Lesão</i>	90
Figura 11.4 – Representação da variável lingüística <i>Escore de Internação</i>	91
Figura 13.1 – SAFI-CQ – Interface de coleta de dados.	100
Figura 13.2 –SAFI-CQ – Determinação da classificação da espessura da lesão.	101
Figura 13.3 –SAFI-CQ –Avaliação da regras.	102
Figura 13.4 – Módulo de atualização de parâmetros	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 – Principais funções de Pertinência	46
Tabela 8.1 – Propriedades básicas para operadores T-Normas	50
Tabela 8.2 – Exemplo de utilização dos operadores T-Normas e T-Conormas	52
Tabela 11.1 – Definição da variável <i>extensão das queimaduras</i>	86
Tabela 11.2 - Fuzzificação da variável <i>Faixa Etária</i>	87
Tabela 11.3 – Representação das áreas de risco e sua influência na classificação da lesão e do paciente	88
Tabela 11.4 – Fatores absolutos de internação e sua influência na classificação da lesão e do paciente	88
Tabela 11.5 – Definição da variável Classificação da Lesão	90
Tabela 11.6 – Definição da variável <i>Escore de Internação</i>	91
Tabela 11.7 – Regras Difusas do Sistema	92
Tabela 11.8 – Regras Absolutas do Sistema	93
Tabela 12.1 –Descrição das principais classes, métodos e atributos utilizados no sistema	97
Tabela 13.2 – Variáveis difusas que podem ser alteradas no SAFI – CQ	103
Tabela 13.3 – Operações de Implicação / Composição	104
Tabela 14.1 – Casos utilizados na validação do sistema	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA – Inteligência Artificial

IAC – Inteligência Artificial Conexionista

IAS – Inteligência Artificial Simbólica

GP – Grau de Pertinência

HIJG – Hospital Infantil Joana de Gusmão

RBC – Raciocínio Baseado em Casos

RNA – Redes Neurais Artificiais

SAME – Sistema de Atendimento Médico - Emergencial

SAFI-CQ – Sistema de Avaliação dos Fatores de Internação em Crianças Queimadas

SCQ – Superfície Corporal Queimada

SE – Sistema Especialista

SUS – Sistema Único de Saúde

RESUMO

O presente trabalho tem como principal finalidade explorar o uso da Modelagem Difusa na elaboração de um protótipo de Sistema Especialista para avaliar os critérios de internação de pacientes pediátricos vítimas de queimaduras. O protótipo irá auxiliar na decisão de conduta (tratamento ambulatorial ou internação hospitalar), observando os critérios relevantes *Extensão*, *Profundidade* e *Local* das queimaduras, *Faixa Etária*, *Fatores Sociais* e *Agentes Lesionantes*. Em tais fatores há incertezas por imprecisão, que serão tratadas pela Lógica Difusa. Todo o conhecimento médico necessário (regras de avaliação, premissas e fatores determinantes da conduta) foi extraído de um especialista no domínio. Considerando os fatores de internação dos pacientes, o sistema os classifica sob dois pontos de vista: utilizando-se dos critérios do Ministério da Saúde / SUS, onde é considerada principalmente a extensão da queimadura, o paciente pode ser *Pequeno Queimado*, *Médio Queimado* ou *Grande Queimado*; já pela avaliação difusa proposta, a lesão como um todo é analisada, podendo ser qualificada como *Lesão Leve*, *Lesão Moderada* ou *Lesão Grave*. A pertinência a estes conjuntos indicará o grau de verdade da saída para as possíveis condutas: internação hospitalar ou tratamento ambulatorial. Desta forma, nesta pesquisa, utilizando a Inteligência Artificial Simbólica e a Lógica Difusa, conseguiu-se: trabalhar com a base de regras (*crisp*) utilizada pelo especialista, modelar a incerteza por imprecisão e considerar todas as classificações possíveis, explicitando o grau de verdade de cada uma para o caso em questão. O protótipo foi avaliado qualitativamente por médicos da área, e considerado adequado, sendo implementado no ambiente de desenvolvimento de sistemas Delphi 5.0, com acesso a bancos de dados do PARADOX 7.0. O programa é compatível com a plataforma Windows 9x e Windows XP.

ABSTRACT

The major focus of this research is the using of Fuzzy Modeling on construction of a Specialist System prototype to evaluate the burnt patient internment criteria. The prototype will assist on the doctor's action decision (ambulatory treatment or hospital internment), it has been observed such criteria like *Extension, Depth* and the burning *Place, Age, Social Factors and Injury Agents*. On such factors there are uncertainty by imprecision, treated by Fuzzy Logic. All the necessary doctors knowledge (evaluation rules, premises and determinative action factors) has been given from an area expert. Regardless the patient internment factors, the system classifies in two different ways: using the Ministério da Saúde / SUS criteria, is mainly regarded the burning extension, so the patient could be classified on *Small area Burnt, Medium area Burnt* or *Large area Burnt*; on the other hand using the fuzzy evaluation, the entire injury is analysed and could be classified on *Slight Injury, Moderate Injury* or *Serious Injury*. The relevancy of this sets will indicate results truth degree to the possible doctor actions: hospital internment or ambulatory treatment . Using Symbolic Artificial Intelligence and Fuzzy logic, on this research it has been obtained: working with a rule database (*crisp*) used by the expert, modeling the uncertainty by imprecision and regard all the possible classifications, presenting the truth degree for one classification and each case treated. The prototype has been evaluated qualitatively by doctors of area, and regarded adjusted, it has been implemented on Delphi 5.0 development systems, using PARADOX 7.0 databases. The program is compatible with Windows 9x and Windows XP operation system.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Cada vez mais a informática está presente em todos os setores de atividade humana. Antes meros facilitadores matemáticos e otimizadores de tempo, os computadores estão se tornando poderosas ferramentas de assistência à tomada de decisão. Busca-se atualmente fornecer aos sistemas computacionais mecanismos para simulação de inteligência, visando auxiliar o raciocínio ou mesmo substituir o conhecimento humano, como no caso dos Sistemas Especialistas (SE).

Com o intuito de dotar os computadores de conhecimento e capacidade de raciocínio, além do mecanicismo dos algoritmos tradicionais (meras instruções sem nenhuma capacidade “criativa”), grande esforço científico é dispensado à área da Inteligência Artificial (IA). Alguns pesquisadores pioneiros e autores de obras de ficção científica tinham uma visão exageradamente entusiasta quanto ao progresso desta ciência, pois acreditava-se em mecanismos construídos pelo homem dotados de capacidade intelectual semelhante (ou mesmo superior) à humana. Apesar das frustrações quanto as expectativas iniciais, é notável o avanço que o estudo da IA trouxe em relação à computação tradicional.

Uma consequência deste esforço foi o desenvolvimento de Sistemas Especialistas. Tais sistemas são construídos para se comportar diante de um problema semelhantemente a um especialista humano, e para tal, devem ser dotados de profundos conhecimentos a respeito da área em que irão atuar (RABUSKE, 1995).

A construção de Sistemas Especialistas, baseados em informações fornecidas por especialistas no domínio em questão, requer rigoroso estudo e modelagem do problema, análise de uma amostra significativa de casos (quando a abordagem de “raciocínio” assim o exige) e uma adequada interação entre o especialista na área e o engenheiro do conhecimento. A forma com que os Sistemas Especialistas tratam as

informações da sua base de conhecimento é diversificada, abrangendo raciocínio probabilístico, raciocínio baseado em casos, regras de produção, raciocínio difuso, por exemplo. Cada qual tem uma característica que o torna mais adequada à determinada classe de problema.

Uma área de conhecimento humano bastante explorada no mundo computacional, particularmente na aplicação de Sistemas Especialistas, é a Medicina. As atividades de diagnósticos, prognósticos e planejamento da terapia a ser adotada encontram na computação dos SE's uma poderosa ferramenta de auxílio.

Os Sistemas Especialistas médicos podem atuar em várias etapas nos procedimentos clínicos, como emissão de diagnósticos, avaliação dos critérios de internação e indicação terapêutica. Esta pesquisa está dirigida à avaliação dos critérios de internação de pacientes, na área de atendimento a crianças vítimas de queimaduras.

Na medicina, o processo de determinação de diagnósticos caracteriza-se pela análise de aspectos do paciente (estado clínico, histórico médico, quadro familiar, por exemplo), de modo a conduzir o raciocínio do médico a alguma suposição plausível. Através de conhecimento teórico e prático, o profissional da saúde irá guiar sua coleta de dados, concentrando-se nos aspectos que julgar relevantes. O diagnóstico pode ser um conjunto de suposições, tidas como diagnósticos provisórios, que exijam maiores refinamentos através de exames específicos, até ser encontrado um parecer definitivo.

Os procedimentos de emissão de diagnósticos podem ser modelados computacionalmente, permitindo o desenvolvimento de Sistemas Especialistas neste domínio de atuação.

Em outro aspecto, a decisão quanto a internação de um paciente, de acordo com seu quadro clínico, constitui-se igualmente em uma atividade especializada médica. Uma vez emitido o diagnóstico, deve-se analisar o grau de comprometimento da saúde, e, dependendo da gravidade, optar pelo internamento do paciente, para que os cuidados sejam administrados adequadamente na instituição por uma equipe médica.

A análise dos critérios de internação de um paciente encaminhado aos cuidados médicos constitui-se em outro ambiente favorável ao desenvolvimento de Sistemas Especialistas. Um sistema com este objetivo pode trabalhar com diagnósticos já emitidos, seja por outro SE ou por um profissional da área médica. O que vai ser avaliado será o quanto está afetado o paciente, quais as possibilidades de recuperação fora da instituição de saúde e a necessidade de ser acolhido ou não por esta .

O interesse em dirigir esta pesquisa à análise dos critérios de internação de pacientes pediátricos vítimas de queimaduras foi motivado pelo acesso à única instituição catarinense especializada em tratamento de crianças queimadas, localizada no Hospital Infantil Joana de Gusmão, em Florianópolis. Após contatos feitos com especialistas médicos da instituição, e com base em conhecimento técnico inicial para direcionar a pesquisa, chegou-se à conclusão que um programa com estas características seria passível de implementação, significando uma importante ferramenta de auxílio a estes profissionais.

As principais perguntas de pesquisa que delinearão o rumo deste trabalho foram:

- Qual seria uma forma adequada para modelar e desenvolver um sistema de apoio à avaliação dos critérios de internação de crianças vítimas de queimaduras ?
- Quais os principais fatores envolvidos e como modelá-los computacionalmente ?
- Como seria o desempenho de um sistema com estas características ?

A análise inicial do problema levou a considerar as variáveis *Espessura das Queimaduras*, *Extensão das Queimaduras* , *Idade do Paciente*, *Fatores Econômico-Sociais*, *Localização das Queimaduras* e *Agentes Lesionantes* como as de maior relevância para emissão da conduta de internação. Nesta aplicação, que busca modelar o raciocínio clínico de especialistas médicos, tem-se a incerteza como uma constante. Isto

ocorre por diversos fatores, tais como as diferenças individuais entre os pacientes, ausência de dados clínicos suficientes, interpretações distintas para os mesmos resultados por profissionais diferentes (WIDMAN, 1995). Como tratar computacionalmente estas incertezas, constitui-se em um grande desafio desta pesquisa.

A questão computacional a ser explorada é a abordagem para trabalhar conhecimento médico e incertezas presentes na avaliação dos critérios de internação em pediátricos queimados, utilizando sistemas baseados em conhecimento e paradigmas da Inteligência Artificial. Inúmeros são os aspectos a se considerar e decidir quanto ao uso das diversas abordagens de raciocínio computacional, tais como Redes Neurais, sistemas probabilísticos, raciocínio baseado em casos, conjuntos difusos, por exemplo. Apesar dos benefícios particulares destes diferentes ramos da IA, cada qual possui deficiências e limitações particulares que refletem na sua adequação à modelagem computacional do domínio proposto por esta pesquisa.

1.1 Objetivos da Pesquisa

1.1.1 Objetivo Geral

Modelar as incertezas por imprecisão considerando o domínio de atendimento a pacientes pediátricos vítimas de queimaduras, tratando-as computacionalmente através da Teoria dos Conjuntos Difusos.

1.1.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos da pesquisa, enumera-se :

- Identificar as incertezas por imprecisão no raciocínio médico em pacientes pediátricos queimados;

- Aplicar a teoria dos conjuntos difusos para tratar das incertezas por imprecisão no domínio;
- Desenvolver o protótipo de um Sistema Especialista para avaliação dos fatores de internação em crianças queimadas que indique a conduta adequada.
- Prover mecanismos de atualização da Base de Conhecimento do protótipo desenvolvido.
- Avaliar os resultados obtidos pelo sistema junto a especialistas no domínio da aplicação.

1.2 Justificativa do Trabalho

Nos ambientes médicos, a avaliação dos critérios necessários para se optar pela conduta de internação de vítimas de queimaduras frequentemente depara-se com incertezas por imprecisão. Tais incertezas evidenciam-se ainda mais quando os pacientes são pediátricos. A decisão final pela internação ou não pode basear-se pela análise subjetiva, dependente de conhecimento e prática do médico avaliador. A avaliação clínica é responsável pela maioria das decisões de encaminhamento dos pacientes, a despeito da tecnologia atual ter disponibilizado aos médicos todo um aparato científico de auxílio.

A falta de condições adequadas nas instituições hospitalares para o tratamento de queimados constitui-se em uma grave lacuna nos setores responsáveis pela saúde. Para se ter uma idéia da carência de profissionais e recursos específicos, o estado de Santa Catarina dispõe de apenas uma unidade para tratamento de queimados pediátricos, instalada no Hospital Infantil Joana de Gusmão em Florianópolis. Quando da ocorrência de um acidente grave envolvendo queimaduras, a vítima somente receberá atendimento especializado nesta unidade. O encaminhamento para o referido hospital pode tornar-se custoso e prejudicial, nos casos em que a vítima encontra-se em regiões distantes da capital.

Mesmo desconsiderando-se os aspectos inerentes ao transporte das vítimas, a simples internação de um paciente implica em uma série de custos, riscos e desgastes.

Há todo um envolvimento financeiro, exposição a um ambiente hospitalar e a infecções, uso de recursos onerosos, desconforto da vítima, atenção de profissionais da saúde e separação familiar, motivos pelos quais deve-se ponderar sobre a real necessidade de acolhimento da vítima na instituição hospitalar.

Por outro lado, a omissão de terapêutica apropriada (ou a aplicação tardia desta) quando as condições da vítima exigem assistência direta de profissionais, pode comprometer uma recuperação, dificultar as cicatrizações ou até mesmo custar uma vida (DINO,2001).

Neste domínio de aplicação, a possibilidade de se fornecer às instituições de saúde uma ferramenta de auxílio à decisão justifica todo o dispêndio de uma pesquisa conjunta de profissionais das áreas informática e médica.

A grande colaboração às instituições de saúde será refletida no uso de conhecimento de especialistas na área de queimados, através de um sistema de computador, em locais onde profissionais qualificados não se encontram presentes. Outro aspecto a ser observado é a possibilidade de troca de conhecimento entre vários profissionais médicos, uma vez que irá existir um mecanismo de explicitação das conclusões, mostrando como o sistema fez o raciocínio do problema até chegar a solução, através da ativação das regras contidas na base de conhecimento. Assim, o sistema pode constituir-se num meio de oferecer treinamento a médicos não especializados ou sem grande vivência prática. A possibilidade de alterar os parâmetros do sistema e observar os diferentes resultados obtidos irá cooperar com o treinamento de não especialistas.

A contribuição científica a ser fornecida à área da computação, notadamente no que se refere ao estudo de Inteligência Artificial, será dada pela exploração do tratamento das incertezas presentes no domínio da aplicação, utilizando-se da abordagem dos conjuntos difusos, e a representação do raciocínio clínico levando à construção de Sistemas Especialistas.

Aparentemente um sistema com a atividade específica em questão (emissão de indicativo de internação ou não), constitui-se de uma tarefa nada trivial, quando se busca modelar o conhecimento e capacidade de adaptação a situações distintas de um especialista humano. As atividades de extração de conhecimento constituem-se em desafios aos profissionais da área computacional, uma vez que deve-se oferecer ao especialista uma visão clara do uso de regras computacionais, lógica e incertezas, para que este possa explicitar sua forma de raciocínio adequadamente.

A análise de abordagens de Inteligência Artificial buscando um direcionamento adequado à aplicação requer o estudo das particularidades de diferentes paradigmas, que podem representar uma alternativa viável ao problema, isoladamente ou através da combinação de dois ou mais modelos de tratamento de incertezas.

O uso de ambientes e linguagens de programação (no caso, a ferramenta Delphi 5.0), paradigmas de desenvolvimento de sistemas (notadamente a análise e programação orientada a objetos) e conceitos de bancos de dados (a abordagem relacional mostrou-se adequada ao problema) são aspectos obrigatórios para o desenvolvimento de qualquer sistema computacional, e exigem uma observação criteriosa, antes que se parta para a implementação definitiva.

O propósito computacional que motivou o desenvolvimento da pesquisa, independente do domínio da aplicação ou ferramentas de programação / análise utilizadas, constitui-se na exploração dos mecanismos alternativos às noções perfeitas, aos conceitos exatos e estruturas precisas, fortemente baseados nos mecanicismos da matemática tradicional. Desta forma, modelando incertezas por imprecisão do domínio da aplicação, propondo uma avaliação de regras que leva em consideração os graus de pertinência de cada premissa e fornece respostas com graus de verdade para avaliação do especialista, aplica-se diretamente teorias computacionais extremamente poderosas, válidas e atuais.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado num total de 15 capítulos, conforme descritos a seguir:

No primeiro capítulo é apresentada o problema a ser estudado, a introdução do trabalho, a justificativa da pesquisa, seu objetivo geral, seus objetivos específicos e a estrutura.

O segundo capítulo dá enfoque à Inteligência Artificial, contextualizando-a historicamente, destacando suas principais definições, expectativas iniciais, bases científicas e aplicações.

O terceiro capítulo trata do estudo da Lógica, explanando a respeito das definições de lógicas clássicas e não clássicas, Lógica Proposicional, Lógica dos Predicados, Lógicas não Padrão), graus de verdade.

O quarto capítulo define os Sistemas Especialistas, sua estrutura e suas principais características.

O quinto capítulo aborda o tratamento de incertezas pela Inteligência Artificial, o por quê da consideração destas no desenvolvimento de Sistemas Especialistas, onde elas se fazem mais presentes e resume algumas abordagens mais consideradas da Inteligência Artificial Simbólica e Inteligência Artificial Conexionista para tratamento destas incertezas.

O sexto capítulo explana a Inteligência Artificial na Medicina, comentando seu histórico e evolução, suas aplicações, alguns sistemas desenvolvidos e o por quê da IA ainda não ser usada em sua plenitude nos ambientes médicos.

No sétimo capítulo é feito um estudo mais detalhado sobre a Teoria dos Conjuntos Difusos, abordagem de raciocínio explorada para o desenvolvimento do protótipo da pesquisa.

No oitavo capítulo é mostrado algumas características da Lógica Difusa, utilizada para manipular e representar os conjuntos difusos, suas aplicações, sua forma de simular o raciocínio e tratar as regras difusas

O nono capítulo enfoca os Sistemas Especialistas Difusos, seus componentes, fluxo de dados e etapas de projeto .

O décimo capítulo apresenta o domínio da aplicação do protótipo, a fundamentação teórica sobre a pele humana, queimaduras e suas classificações, tratamento de queimados e incidência de acidentes envolvendo queimaduras em crianças no Hospital Infantil Joana de Gusmão.

No décimo primeiro capítulo, a Modelagem do sistema é apresentada. Destaca-se as fases de aquisição de conhecimento, fatores relevantes de internação, definição dos conjuntos difusos, classificação das variáveis de saída, explicitação das regras.

No Capítulo 12, são discutidas metodologias de Análise de Sistemas, justificando a escolha da abordagem de Orientação a Objetos para o desenvolvimento do trabalho. As principais classes de objetos definidas e implementadas para o protótipo são apresentadas em forma de tabela, sem detalhes de código fonte ou algoritmos.

O Capítulo 13 apresenta o protótipo do SAFI – CQ, em seus módulos de entrada de dados, avaliação das regras e indicação da conduta de internação, além do módulo de atualização de parâmetros do sistema.

O Capítulo 14 trata da etapa de validação do protótipo, onde foram confrontados resultados da avaliação de casos fornecidos pelo especialista no domínio do problema

com a conduta esperada. Esta avaliação foi feita qualitativamente, não envolvendo testes em uma amostra significativa de casos.

O Capítulo 15 é dedicado às conclusões da pesquisa, apresentando sugestões de trabalhos futuros para complementação do sistema.

CAPÍTULO II - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Definir precisamente o que vem a ser Inteligência Artificial não é o tipo de tarefa que se possa realizar sem o risco de exposição a erros conceituais. Este fato vem a refletir a dificuldade em simplesmente definir Inteligência pelos estudiosos do pensamento humano (filósofos, psicólogos, pedagogos, etc).

Apesar do entendimento de muitos “leigos” em computação da IA associada a computadores inteligentes, que raciocinam, que mantêm conversação em mesmo patamar com seres humanos, que traem, robôs leais ou infiéis, enfim, a transposição das capacidades intelectuais e emotivas humanas a elementos artificiais (computadores e robôs), esta visão deve-se principalmente à imaginação fértil e exageradamente futurista de autores de obras de ficção, difundida amplamente pelos meios de comunicação.

O que se tem realmente é a Inteligência Artificial como importante ferramenta que permite às máquinas a execução de tarefas complexas no lugar do ser humano, liberando este de atividades enfadonhas ou que geram insegurança devido a pouca familiaridade com o problema. Além disto, a IA é um importante meio de compartilhamento de conhecimento (MATOS, 2001).

A Inteligência Artificial é uma ciência envolvida em tratar simbolicamente componentes como a complexidade, ambigüidade e incerteza, processos onde geralmente as soluções algorítmicas tradicionais não satisfazem. Os programas de IA lidam com conceitos que nem sempre garantem a solução correta, tolerando respostas erradas (como na solução de problemas feita por humanos). (LUCENA, 1987)

Um conceito sucinto de Inteligência Artificial estaria relacionado com a transposição das características do comportamento tido como “inteligente” para as máquinas (BARRETO, 1997). A grande questão é definir o que se pode classificar como comportamento “inteligente”.

2.1 Inteligência

Para se ter uma idéia da dificuldade de se encontrar uma definição de Inteligência, lista-se uma seqüência de definições de vários autores, compiladas por RABUSKE (1995):

- Binet: “Inteligência é julgar bem, compreender bem, raciocinar bem”. E o que seria “raciocinar” ? Utilizar da inteligência ? Qual seria então a diferença entre raciocínio e inteligência ?
- Vernon : “Capacidade geral de pensamento” ou “eficiência mental”. O que pode ser entendido como eficiência mental ? Uma águia que, após visualizar um pequeno roedor a uma distância de centenas de metros de altura, em uma investida precisa captura a presa numa manobra rápida, não estaria demonstrando “eficiência mental”? Quantos “cálculos mentais”, envolvendo variáveis como velocidade de vôo, inclinação para o ataque, velocidade da caça, direção do vento e outras tantas foram processadas eficientemente por seu cérebro “irracional” ?
- Burt : “Habilidade inata, geral e cognitiva”. Por “habilidade inata e geral” pode-se entender muitas capacidades humanas ou de animais. O instinto de sobrevivência, inerente a animais e insetos (talvez até em maior escala que nos seres humanos), constitui-se em uma habilidade inata.
- Helm: “A atividade inteligente consiste na compreensão do essencial de uma situação e numa resposta reflexa apropriada”. Aqui, pode-se mais uma vez estabelecer um paralelo com seres ditos “irracionais”, pois um roedor, ao perceber a iminência de um ataque aéreo, compreende o essencial da situação – sua vida está em perigo. Escondendo-se, responde apropriadamente à situação.
- Piaget: “Adaptação ao ambiente físico e social”. Formigas adaptam-se ao ambiente físico e social aos quais estão inseridos; vespas, abelhas, cupins e outros simples insetos também o fazem. Até barreiras de corais constituem-se em agrupamentos de elementos física e socialmente adaptados...

Cada um dos conceitos acima expostos tenta definir a inteligência, de uma forma direcionada com a área de interesse de seus definidores. É de se esperar que o conhecimento dos contextos aos quais estes conceitos estavam inseridos possa ajudar na determinação do significado de inteligência. Mas uma definição sucinta para uma faculdade tão complexa sempre poderá ser contestada.

2.2 Conceitualizando Inteligência Artificial

Assim como existem várias tentativas de se definir a faculdade intelectual (em princípio humana) conhecida como *Inteligência*, vários conceitos de renomados pesquisadores buscam definir a Inteligência Artificial.

Por artificial, pode-se entender simplesmente tudo aquilo feito pelo homem, sem recorrer à natureza (RABUSKE, 1995). A junção de um conceito extremamente amplo com outro de fácil explicitação acabou gerando um novo conceito cuja definição mostra-se extremamente complexa.

O estudo da Inteligência Artificial, em princípio identificado como um campo da Ciência da Computação, está relacionado com diversas áreas, tais como psicologia, ciência cognitiva, lógica, fisiologia e evolução (BARRETO, 1997).

Ainda buscando seguir a linha da definição de inteligência, segue-se algumas “tentativas” de definição de Inteligência Artificial (RABUSKE, 1995):

- Barr & Feigenbaum: “Inteligência Artificial é a parte da Ciência da Computação que compreende o projeto de sistemas computacionais que exibam características associadas, quando presentes no comportamento humano, à inteligência”.
- Winston: “Inteligência Artificial é o estudo de conceitos que permitem aos computadores serem inteligentes”.

- Charniak & McDermott: “Inteligência Artificial é o estudo das faculdades mentais com o uso de modelos computacionais”
- Rich e Knight: “Inteligência Artificial é o estudo de como fazer os computadores realizarem coisas que, no momento, as pessoas fazem melhor”.

Segundo KASABOV (1996), “Inteligência Artificial compreende métodos, ferramentas e sistemas para resolver problemas que normalmente requerem a inteligência dos humanos”. Os principais objetivos da IA são desenvolver métodos e sistemas para resolver problemas, geralmente solucionados pela atividade intelectual humana (por exemplo reconhecimento de imagens, processamento de linguagem, planejamento e previsão, incrementando os sistemas de informação computadorizados), e desenvolver modelos os quais simulam organismos vivos e o cérebro humano em particular, aperfeiçoando desta forma o entendimento de como o cérebro humano trabalha”.

Segundo RABUSKE (1995), “Inteligência Artificial resulta da aplicação de técnicas e recursos de natureza não numérica, viabilizando a solução de problemas que exigiriam do humano certo grau de raciocínio e de perícia” . A busca do processamento não numérico representa o esforço para se ampliar o alcance dos sistemas computacionais, que operam, em sua maioria, de forma mecânica, limitados pelas instruções de seus algoritmos.

Em RUSSEL & NORVIG (1995), os sistemas de IA são classificados em quatro categorias: sistemas que *pensam* como humanos, sistemas que *agem* como humanos, sistemas que *pensam racionalmente* e sistemas que *agem racionalmente* .

O fato é que IA, assim como a noção de inteligência, não pode ser simplesmente definida em breves conceitos sem correr o risco da definição ampla e vaga. Há que se considerar as faculdades mentais de raciocínio, aprendizado, memória, adaptação a novas situações, interação com o meio ambiente, compreensão, e inclusive a capacidade de errar, associá-las a elementos artificiais – sistemas computacionais – e extrair daí um conceito suficientemente coerente.

2.3 IA – Um Contexto Histórico

Ainda que recente como ciência, a IA tem bases históricas que datam aproximadamente de 450 AC., remontando à época dos filósofos gregos Sócrates, Platão e Aristóteles. Aristóteles (384-222 A.C.) tentou modelar raciocínio, por meio de um mecanismo de silogismo, o qual permitia que, dado um conjunto de premissas iniciais, fosse possível chegar a conclusões mecanicamente (RUSSEL & NORVIG,1995) . George Boole apresentou cálculos para o raciocínio, utilizando a lógica binária de Aristóteles, tendo aplicação em diversos campos como matemática, filosofia e engenharia eletrônica (BARRETO, 1997). Em 1879, o matemático Gottlob Frege apresentava o cálculo dos predicados.

Alan Turing, em 1950, propôs um teste para comprovar a inteligência de um sistema de computação. Segundo ele, comportamento inteligente seria a habilidade de adquirir desempenho semelhante a um humano em todas as atividades cognitivas, de modo a confundir um interrogador. Resumidamente, o teste consistia em se defrontar um ser humano, uma máquina e outro humano atuando como interrogador. Este deveria interrogar os outros dois participantes através de terminais de computadores, e, ao final do teste, não teria condições de distinguir qual dos participantes era humano e qual era máquina (RUSSELL & NORVIG, 1995). Apesar deste critério ser considerado um teste de inteligência, não se concentram muitos esforços por partes dos estudiosos de IA em construir sistemas com esta capacidade.

Em 1943, McCulloch e Pitts propõem o primeiro modelo de neurônio artificial, sob a forma de um circuito binário (AZEVEDO et al, 2000). A partir deste modelo, lançaram as bases da teoria das Redes Neurais Artificiais, ao comprovar a equivalência das Redes Neurais com a máquina de Turing.

No final dos anos 50, inspirados na teoria da evolução dos seres vivos, pesquisadores propuseram o que é conhecido atualmente como Computação

Evolucionária nos sistemas computacionais. Utilizando algoritmos especiais, os Algoritmos Evolucionários (Algoritmos Genéticos, Programação Evolucionária e Estratégias Evolucionárias), a Computação Evolucionária procura simular a evolução de estruturas individuais, através de etapas de seleção e operadores de busca. Todo o processo leva em conta a aptidão com que cada estrutura se comporta frente ao ambiente, que busca selecionar as estruturas mais aptas (AZEVEDO et al, 2000).

Um grande marco da IA como ciência computacional deu-se após o histórico encontro no Dartmouth College, em 1956. Durante esta reunião surgiu a expressão *Inteligência Artificial*. Após este evento, surgiu o primeiro artigo a respeito de Redes Neurais Artificiais, surgiram os paradigmas da IA Simbólica (IAS) e Conexionista (IAC), dentre outros avanços. As expectativas otimistas geradas previam que em pouco tempo, o computador poderia traduzir duas linguagens (utilizando-se simplesmente de duas gramáticas e um dicionário), surgiriam programas solucionadores de problemas genéricos, ou sistemas que vencessem qualquer humano em uma partida de xadrez (BARRETO, 1997).

Em 1965, Zadeh mostrou à comunidade científica as bases da teoria dos conjuntos difusos (YAGER, 1994).

A visão inicialmente exagerada do alcance da IA, reflexo do desconhecimento de métodos de formalização de raciocínios e da complexidade de alguns problemas (tais como os problemas de dimensão NP Completos¹, entre outros), aliada à fértil imaginação de autores de ficção, talvez tenha sido fundamental para o surgimento de

¹ Problemas NP-Completos caracterizam-se por ter sua complexidade aumentada exponencialmente, a medida que seu domínio cresce aritmeticamente, sendo considerados “intratáveis”(RUSSEL NORVIG,1995). Se a solução destes problemas mostra-se praticamente impossível através da computação tradicional, a IA pode fornecer métodos para achar uma solução satisfatória (BARRETO, 1997)

algumas obras clássicas de ficção científica, como filme “2001 – Uma Odisseia no Espaço”, a série “Perdidos no Espaço”, durante a década de 60, refletindo até nos dias atuais, como é no caso de filmes como “AI – Artificial Intelligence”. Uma característica comum destes é a exibição de computadores e robôs dotados de intensa capacidade de raciocínio (superiores a dos humanos), solucionadores de quaisquer tipos problemas e detentores até de emoções humanas, das mais nobres as mais perversas.

O fato é que a IA desenvolveu-se muito mais lentamente que o esperado, não conseguindo alcançar êxito em algumas aplicações que os mais entusiastas acreditavam ser resolvíveis através de computadores. Ainda que se obtenha sucesso de máquinas sobre humanos em jogos de xadrez, ou alguns bons resultados nas atividades de prova automática de teoremas, problemas como tradução automática de linguagens até hoje não apresentam solução computacional satisfatoriamente semelhante à solução humana (BARRETO, 1997).

2.4 Bases Científicas da Inteligência Artificial

A IA é embasada em uma série de ciências cognitivas (RUSSEL & NORVIG, 1995).

Na Filosofia, busca idéias de Aristóteles com sua lógica, no materialismo de Leibniz, Bacon e seu empiricismo, o positivismo lógico de Bertrand Russel, por exemplo.

Da Matemática, usa os conceitos de algoritmos, teoremas da incompletude, redução de classes de problemas, problemas NP-Completo e teoria da decisão.

A Psicologia contribui principalmente com o estudo do comportamento (behaviorismo) e com a psicologia cognitiva.

A Engenharia da Computação fornece toda a programação de sistemas (software) e equipamento eletrônico (hardware) necessários.

A Linguística auxilia na representação do conhecimento e no processamento de linguagem natural.

2.5 Domínio das Aplicações de Inteligência Artificial

Atualmente, o alcance da Inteligência Artificial em uma série de áreas e atividades está sendo cada vez mais amplo. Ainda que no mundo computacional imperem os tradicionais algoritmos caracterizados por instruções desprovidas de mecanismos inteligentes, a computação fundamentada nas técnicas de IA tem ganhado cada vez mais pesquisadores e usuários.

A visão mais popular que se tem das aplicações computacionais de IA está relacionada com a resolução de problemas de alto nível, tais como os jogos de xadrez, resolução de problemas matemáticos, complexas decisões financeiras, ou seja, voltada à tomada de decisões que requeiram o que o homem caracteriza por “inteligência”. É importante referenciar os processos que buscam a interação com o ambiente de forma análoga aos sentidos (humanos ou animais), como é o caso da visão computacional, do reconhecimento de imagens, reconhecimento de vozes, processamento de linguagem natural (HOWE, 1994). Igual destaque também merecem as aplicações de IA voltadas aos Sistemas Especialistas, à Robótica, Bases de Dados Inteligentes, Provas de Teoremas e Jogos (RABUSKE, 1995).

Complementando, problemas de decisão simples (p. ex, diagnóstico médico) ou múltiplas (prescrição de tratamento médico), auxílio ao aprendizado, entre outros (BARRETO, 1997) também encontram na IA um mecanismo favorável para suas implementações.

CAPÍTULO III - LÓGICA

Segundo RABUSKE (1995), “Lógica é uma ferramenta de análise, concebida pelo humano e a serviço do humano, para permitir implementações de raciocínios e deduções em campos como a matemática, o conhecimento, a linguagem e outros”. Pode-se afirmar que a matemática foi originada do raciocínio humano, sendo após responsável pelo surgimento das lógicas. A lógica também serviria de ferramenta para justificar alguns fundamentos matemáticos.

As lógicas constituem-se em um sistema formal, composto de um vocabulário (léxico), a sintaxe da linguagem (a qual descreve como serão construídas as sentenças) e a semântica (consistindo na interpretação da sintaxe). Podem ser subdivididas em lógicas clássicas (lógica dos predicados e das proposições) e não padrões (lógicas temporais, modais, tri-valoradas, multivaloradas, por exemplo).

O aspecto marcante que irá diferenciar as lógicas clássicas (também chamadas lógicas padrão) das não padrão está nos valores verdade que estas aceitam. A lógica clássica só admite o *verdadeiro* ou o *falso*, o *sim* ou o *não* como conclusão. Já as lógicas não clássicas admitem valores intermediários entre estes extremos. É o caso, por exemplo, da lógica tri-valorada de Kleene, que apresenta uma valor tido como *indefinido*; a lógica de Lukasiewicz, com seu valor *indeterminado*, ou a lógica Difusa, que apresenta infinitos valores verdades entre os limites *Verdadeiro* ou *Falso*.

A lógica auxilia o mundo computacional no desenvolvimento de programas que irão deduzir fatos que não estão explicitamente representados na bases de dados ou de conhecimento, mas que podem ser deduzidos por outros dados inseridos nesta base. Assim, a partir de outras informações inseridas, o sistema pode inferir a informação desejada. Por exemplo, uma hipótese (teorema) pode ser deduzida através de um conjunto de premissas (prova do teorema) (LUCENA, 1987).

Importante ressaltar que o uso de lógica pelos seres racionais não é responsável pela capacidade criativa ou de manipulação de memórias. Ela vem a auxiliar no processo de organizar palavras, frases e sentenças, porém não indica quais sentenças utilizar nos vários contextos aos quais as atividades de raciocínio se deparam (ROSS, 1995).

3.1 Lógica Clássica

A lógica Clássica, proposta por Aristóteles em 300 A.C (por isto também denominada Aristotélica), baseada em premissas e conclusões, caracteriza-se por reconhecer apenas dois valores de verdade: verdadeiro ou falso. Por este motivo, a Lógica Clássica também é conhecida como *Lógica Bi-Valorada*. Tal abordagem não representa uma analogia coerente com o pensamento humano, tampouco com as situações apresentadas no mundo real. Sua limitação em não trabalhar com valores parciais e com incertezas constitui-se em um empecilho à modelagem fiel do raciocínio humano.

Por volta de 1847, George Boole, ao apresentar uma linguagem formal para fazer inferências lógicas, formalizou a lógica aristotélica, definindo assim o que veio a ser conhecida por Álgebra Booleana (RUSSEL & NORVIG, 1995).

Um exemplo clássico de Lógica Bi-Valorada pode ser demonstrado através das premissas e conclusão dadas a seguir:

Premissa 1 : “Todo homem é mortal”

Premissa 2 : “Sócrates é um homem”

Conclusão : “Sócrates é mortal”.

O valor verdade da conclusão somente pode ser falso ou verdadeiro, não admitindo valores parciais. *Sócrates*, neste caso não pode ser considerado “quase

mortal”, “meio não mortal”, por exemplo. E, fundamentalmente, não aceita a existência de algo que venha a ser *mortal* e *não mortal* ao mesmo tempo.

Outro exemplo de lógica bi-valorada pode ser da seguinte forma:

Premissa 1 : “Todo paciente com queimadura de espessura total É caso de Internação”

Premissa 2 : “O paciente de prontuário X possui queimaduras de espessura total”

Conclusão : “O paciente de prontuário X É caso de Internação”

Na análise clássica, o paciente de prontuário X somente é “caso de internação”, não podendo, por exemplo, ser simultaneamente “caso de não internação” com valor verdade diferente de zero, ou então *quase* “caso de Internação”; tampouco poderia ser considerado na segunda premissa que o paciente “possui *muitas* queimaduras de espessura total”, devido a incapacidade de se definir o conceito de *muitas*.

3.1.1 Lógica Proposicional

Por proposições entende-se assertivas que admitem um valor lógico (neste caso, *verdadeiro* ou *falso*), expressadas em alguma linguagem. São divididas em duas partes: sujeito e predicado. Sua forma canônica é expressada da seguinte forma:

x é P.

Regras que irão deduzir a verdade ou falsidade de novas proposições partindo de proposições conhecidas são chamadas de *regras de inferência* (LUCENA, 1987).

Como exemplo prático de proposições, pode-se ter:

Proposição 1: “O Paciente X é um grande queimado”

Proposição 2: “A extensão da queimadura do Paciente X atinge 35% da superfície do corpo”.

Através dos conectores lógicos \wedge (E), \vee (OU), \neg (NÃO), \Rightarrow (IMPLICA EM) pode-se unir as proposições e assim obter proposições mais complexas, aumentando a capacidade de representação dos fatos.

3.1.2 Lógica dos Predicados

A lógica dos predicados constitui-se em uma extensão da lógica proposicional, através da introdução de funções, termos e quantificadores, aumentando a capacidade de expressão dos cálculos proposicionais. Através deste mecanismo, pode-se melhor representar o conhecimento, raciocinar sobre os fatos e produzir novos a partir dos pré-existentes (RABUSKE, 1995). Os quantificadores mais importantes são o *quantificador Universal* \forall e o *quantificador Existencial* \exists .

Para exemplificar o poder de representação da Lógica dos Predicados, considera-se as seguintes declarações:

1. “O Paciente de Prontuário 12345 possui queimaduras de espessura total”.
2. “Todo paciente com queimaduras de espessura total deve ser internado”
3. “Todo paciente com idade inferior a um ano deve ser internado”
4. “O Paciente Prontuário 12345 possui queimaduras”

Utilizando-se do quantificador \forall (*para todo*), pode-se trabalhar da seguinte forma:

1. Possui_Queimaduras_Espessura_Total(Paciente Prontuário12345)
2. Possui_Idade_Inferior_1_ano(Paciente Prontuário 12345)
3. $\forall X$ Possui_Queimaduras_Espessura Total(X) \rightarrow Internação_Necessária (X)

4. Possui_Queimaduras_Espessura_Total(Paciente Prontuário 12345)
5. Internação_Necessária(Paciente Prontuário 12345)

A declaração 5 constitui-se em uma conclusão que pode ser provada baseada nas declarações 3 e 4.

3.2 Lógicas Não Padrão

Para superar a dicotomia da lógica clássica, surgiram as chamadas lógicas multi-valoradas, sendo que as mais simples admitem 3 valores. Uma lógica de três valores possui, intermediário aos clássicos *verdadeiro* e *falso*, um valor alternativo que, dependendo da abordagem utilizada, pode significar um estado parcial de ignorância, uma impossibilidade de se atribuir precisamente um valor verdadeiro ou falso, ou até uma completa falta de sentido. Destacam-se, neste campo de estudo, as lógicas de Kleene, Lukasiewicz e Bochvar (BARRETO, 1997).

Ocorre ainda a possibilidade de se considerar tantos valores quanto forem necessários entre *verdadeiro* e *falso*. Lukasiewicz considera esta possibilidade; Zadeh propõe a lógica difusa admitindo infinitos valores entre os extremos supra-citados.

CAPÍTULO IV - SISTEMAS ESPECIALISTAS

De um modo geral, pode-se definir um Sistema Especialista como uma aplicação da Inteligência Artificial que atua em uma determinada área de conhecimento. São programas construídos com o objetivo de adquirir e disponibilizar o conhecimento operacional de um especialista humano (CHAIBEN, 2002). Isto implica que, diante de um mesmo problema, um especialista e um Sistema Especialista devam indicar soluções afins.

Em relação à sua aplicabilidade, os Sistemas Especialistas podem atuar em quase todas as situações que requerem o uso de raciocínios formais para a sua solução, como por exemplo, os diagnósticos médicos, checagem de defeitos em equipamentos, previsões meteorológicas e uma série de outras situações envolvendo um número grande de variáveis (CUER, 1997).

Segundo WIDMAN (1995), os Sistemas Especialistas podem ser utilizados de dois modos distintos:

- Ferramentas de apoio à decisão, auxiliando o tomador de decisões ao apresentar os diversos tópicos ou opções relevantes para o problema em questão. Tais sistemas possuem grande aceitação no mundo da informática médica.
- Ferramentas de tomada de decisão, escolhendo no lugar da pessoa a solução / diagnóstico do problema. Tais sistemas são mais encontrados em ambientes industriais e financeiros.

Segundo RABUSKE (1995), um Sistema Especialista deve ser constituído basicamente de uma motor de inferência, uma base de conhecimento, um subsistema de aquisição de conhecimento, um subsistema de explicitação das conclusões e uma interface com o usuário.

Uma representação de um sistema especialista pode ser esquematizada como na figura 4.1:

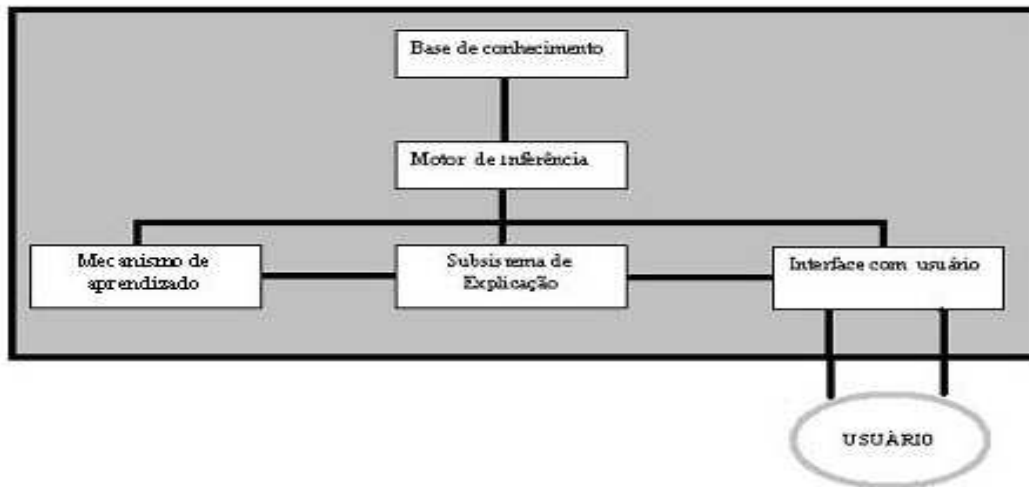


Figura 4.1 – Componentes de um Sistema Especialista. (adaptado de BARRETO, 1997)

A base de conhecimento representa o conhecimento do “domínio” do problema, extraído de um especialista humano, e o motor de inferência constitui-se no modo com o qual se vai processar as informações da base, para chegar à conclusão adequada. A eficácia do SE estará condicionada a uma base constituída de todo o conhecimento necessário.

Há que se ressaltar que a base de conhecimento não é composta unicamente de fatos sobre o domínio da aplicação, mas também pode ser constituída de regras de raciocínio, as quais indicarão como o especialista chegou à uma conclusão (BARRETO, 1997). Sistemas com esta característica usam as abordagens características da Inteligência Artificial Simbólica.

Para construir a base de conhecimento, é necessário todo um trabalho de aquisição de informações, onde é fundamental a integração entre o engenheiro do conhecimento (ente responsável pela construção do sistema) e o especialista no domínio

(fonte do conhecimento do domínio). Quando se está trabalhando com um sistema conexionista (por exemplo, Redes Neurais Artificiais), busca-se construir a base utilizando-se de exemplos selecionados (em casos onde a forma de raciocínio do especialista não pode ser explicitada); caso opte-se por usar a abordagem simbólica (por exemplo, a abordagem dos conjuntos difusos), deve-se extrair as regras do sistema do especialista do domínio. Tais regras são do tipo SE <condição> ENTÃO <ação> e constituem-se na maneira mais usual de se representar o conhecimento (AZEVEDO et al, 2000).

É no motor de inferência que serão processadas as informações da base de conhecimento, buscando as regras adequadas para a avaliação, ordenando-as de maneira lógica e realizando o processo de inferência (JACKSON, 1991).

Independente da forma com a qual o Sistema Especialista trata sua base de conhecimento (valendo-se de raciocínio probabilístico, raciocínio difuso, raciocínio baseado em casos, regras de produção e outras tantas formas de tratamento do conhecimento que não são objeto deste trabalho), as respostas e conclusões (“saídas”) que estes produzem de acordo com o problema apresentado (“entradas”) devem refletir o entendimento que um especialista na área teria do caso em questão.

O subsistema de aquisição do conhecimento é responsável por alimentar a base de conhecimento. Faz-se necessário não somente na etapa de elaboração do sistema, mas também pode atuar após a implantação do SE, permitindo que novas informações sejam acrescentadas. Assim, pode-se rever conceitos, inserir novas informações (MAUS, 1991).

Complementado o Sistema Especialista, ainda resta implementar duas facilidades: uma ferramenta de auxílio à explicitação do raciocínio e uma interface de troca de informações.

A ferramenta de explicitação é importante sempre que usuário não estiver seguro da conclusão oferecida, ou mesmo discorde dela. Estando o sistema apto a elucidar a

sua linha de raciocínio, o usuário leigo teria condições de acompanhar o entendimento do especialista, observando quais regras foram utilizadas, e o por quê. Esta particularidade permite inclusive que o SE auxilie no treinamento de profissionais da área em questão, fornecendo os conceitos para facilitar as respostas a alguma pergunta.

A interface de troca de informações é responsável pela comunicação do usuário com o sistema. Através dela, pode-se inserir as informações a respeito do caso em questão (entrada de dados), e, após o processamento do SE, retorna a conclusão (ou conclusões) esperada (saída do sistema).

CAPÍTULO V - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E INCERTEZA

As Ciências “precisas”, tais como engenharia, química ou física, trabalham com modelos matemáticos exatos dos fenômenos empíricos, usando estes modelos para fazer suas previsões. Este rigorosismo matemático é responsável pela perda de alguns aspectos naturais, uma vez que o mundo real trabalha com incerteza e inexatidão, não com limites rigorosos (KANDEL, 1996). “Noções perfeitas” ou “conceitos exatos” correspondem aos elementos visados pela matemática pura, enquanto estruturas inexatas prevalecem na vida real.

KLIR (1995) aponta dois estágios da transição da forma tradicional de tratar a incerteza para a forma moderna. O primeiro estágio começou no século XIX, com a introdução de métodos estatísticos e a teoria de probabilidades no estudo das moléculas, sendo após estendido para quase todos os ramos da ciência. O segundo estágio iniciou-se na literatura dos anos 60, onde várias outras teorias além da Teoria de Probabilidades foram desenvolvidas (por exemplo, a teoria dos conjuntos difusos).

Segundo BRACARENSE (1999), ao se tentar modelar um sistema, há que se levar em consideração três aspectos fortemente relacionados: a complexidade, a utilidade e a incerteza. Em geral, quanto maiores os níveis de incerteza considerados, maior a credibilidade e menor a complexidade do modelo que descreve o sistema, além de torná-lo mais manipulável e útil.

No mundo real, os problemas e suas soluções são freqüentemente relacionados à presença de incerteza. Ao se tentar modelar as situações do mundo real e transpô-las ao mundo computacional, estas incertezas devem ser levadas em consideração. Já em 1937, BLACK (*apud* BRACARENSE, 1999) afirmava que enquanto a matemática construía teorias limitadas em objetos “perfeitos”, o que se percebia no campo das ciências experimentais era a observação de objetos cujas propriedades são simplesmente aproximadas das verdadeiras.

A incerteza no domínio de uma aplicação pode estar presente nos dados de entrada, na solução do problema ou até em ambos (NASSAR, 2001). Por exemplo, na análise dos critérios de internação de um paciente vítima de queimaduras, pode-se encontrar incertezas na determinação da extensão da queimadura, na classificação da lesão, na proporção da área do corpo atingida em relação à superfície corporal, na expectativa de evolução da queimadura após o acidente. Considerando os dados de saída, o diagnóstico pode ser indicativo de internação com algum grau de certeza (considerando os fatores de certeza das Regras de Produção), ou indicativo de internação com um grau de pertinência X e desfavorável com grau de pertinência Y ao mesmo tempo (segundo a abordagem dos conjuntos difusos).

A incerteza das informações presentes nos sistemas computacionais de Inteligência Artificial pode estar manifestada sob várias formas, como a incompletude, contradição, vagueza, imprecisão, fatores de confiança, por exemplo. Independente do conceito de incerteza presente, ela deve ser tratada através de teorias computacionais (KLIR, 1995).

5.1 Abordagens de IA para Tratamento de Incertezas

Várias são as abordagens de Inteligência Artificial para tratamento de incertezas, cada qual com características particulares que irão definir sua adequação ou não ao domínio de cada problema.

Do ponto de vista do mecanismo de raciocínio, a IA considera duas importantes vertentes: a IA Simbólica e a IA Conexionista.

A IA Simbólica, preocupa-se em simular o comportamento inteligente, sem buscar na natureza uma inspiração para construção do sistema que irá apresentar este comportamento. Ex: Lógica Difusa, Regras de Produção, Lógica Proposicional, Raciocínio Baseado em Casos. Já a IA Conexionista busca construir sistemas que

imitem a estrutura do cérebro humano, para simular inteligência. Um exemplo clássico é o das Redes Neurais (RUSSEL e NORVIG, 1995).

Dentre as mais importantes abordagens de tratamento de incerteza que podem ser utilizadas em Sistemas Especialistas, pode-se citar as Redes Neurais Artificiais, o Raciocínio Baseado em Casos, a Abordagem Probabilística e a Teoria dos Conjuntos Difusos.

5.1.1 Redes Neurais Artificiais

Uma Rede Neural Artificial (RNA) é uma estrutura computacional inspirada na observação das redes biológicas de neurônios encontradas nos cérebros. É constituída basicamente de unidades computacionais denominadas *neurônios*, que são fortemente interconectados entre si formando as redes. A força de cada interconexão é dada por um número que define seu *peso* (KLIR, 1995).

A característica básica das RNA's é o aprendizado através de exemplos. Ao se submeter uma rede a um determinado problema, através de um *algoritmo de aprendizado* os pesos das interconexões são balanceados, definindo o comportamento da RNA (AZEVEDO et al, 2000). Após feito o balanceamento, as redes estarão aptas a convergir para uma solução, classificando cada padrão desconhecido de entrada de acordo com os padrões reconhecidos em sua fase de treinamento.

O uso de Redes Neurais Artificiais é indicado em problemas onde a incerteza encontra-se na definição das regras que irão constituir a base de conhecimento, notadamente no reconhecimento de padrões.

5.1.2 Raciocínio Baseado em Casos

A abordagem de Raciocínio Baseado em Casos (RBC) busca resolver problemas através da analogia entre casos em um mesmo domínio. Um sistema de RBC pesquisa em sua base de conhecimento casos semelhantes já conhecidos, apresentando como resultado uma interpolação entre os casos encontrados mais próximos com o problema proposto (BARRETO, 1997).

Esta forma de raciocínio é mais utilizada quando se tem conhecimento de uma solução de problemas semelhante ao caso proposto, constituindo-se em um mecanismo de elicitación de conhecimento mais simples que o utilizado em sistemas baseados em regras (BARRETO, 1997).

5.1.3 Abordagem Probabilística

A utilização da teoria das probabilidades trata com eventos aleatórios, que assumem valores probabilísticos 0 ou 1. É considerado o condicionamento da ocorrência de um evento B (consequência) dado que ocorreu um evento A (causa) (NASSAR, 2001).

Os Sistemas Especialistas que usam a abordagem Probabilística possuem em sua base de conhecimento fatos e regras representando o conhecimento do especialista no domínio da aplicação. Os fatos e regras estão associados a incertezas presentes no domínio, e a crença em sua ocorrência é explicitada através de valores probabilísticos. O raciocínio é feito pela observação dos dados de entrada e associação de um vetor de probabilidades ao conjunto de hipóteses diagnósticas; a hipótese com maior probabilidade de ocorrência pode ser considerada a conclusão do sistema (NASSAR, 2001).

5.1.4 Teoria dos Conjuntos Difusos

A abordagem dos conjuntos difusos representa conceitos lingüísticos imprecisos, como *baixo*, *alto*, *muito*, *pouco*. Como alternativa à abordagem clássica dos conjuntos, onde um elemento somente pertence ou não a um determinado conjunto, a pertinência de um elemento é dada por infinitos valores de verdade compreendidos entre 0 e 1.

Baseado em dados imprecisos de entradas (indicados pelos graus de pertinência ou adequação aos conceitos que os conjuntos representam), chega-se a conclusões (associadas também a graus de pertinência) sobre o problema apresentado.

Devido a seu grande poder de representação e suas características particulares de tratamento de incertezas, esta abordagem foi utilizada na elaboração do protótipo do Sistema de Avaliação dos Fatores de Internação em Crianças Queimadas.

CAPÍTULO VI - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL VOLTADA À MEDICINA

A inteligência Artificial como ferramenta de decisão ou auxílio à tomada de decisão foi introduzida nos ambientes médicos no início dos anos 70 (BRONZINO, 1995).

Em países como Estados Unidos, Itália, Grécia, Alemanha, Irlanda, Reino Unido, Portugal, dentre outros, a informática na saúde está sendo difundida em universidades, com o objetivo de desenvolver sistemas de apoio ao ensino e prática médica (FERNANDES, 1997).

A Inteligência Artificial Médica foi inicialmente desenvolvida para construção de programas para emissão de diagnósticos e recomendação de terapias. Diferente das aplicações de informática médica tradicionais, tais como as baseadas em métodos estatísticos e probabilísticos, os programas de IA médica são baseados em modelos simbólicos de doenças e seus relacionamentos com as características dos pacientes e suas manifestações clínicas (COIERA 1998).

Atualmente, o uso da inteligência Artificial Médica como ferramenta de diagnose não tem sido o foco das pesquisas computacionais, porém esforços tem sido concentrados no sentido de entender e apoiar o raciocínio clínico. Os Sistemas Especialistas existentes são mais utilizados em laboratórios e ambientes educacionais, para vigilância e alerta clínica (COIERA, 2002).

6.1 Evolução da Inteligência Artificial Médica

A evolução do uso da Inteligência Artificial nos ambientes médicos pode ser dividida em quatro estágios, conforme figura 6.1:

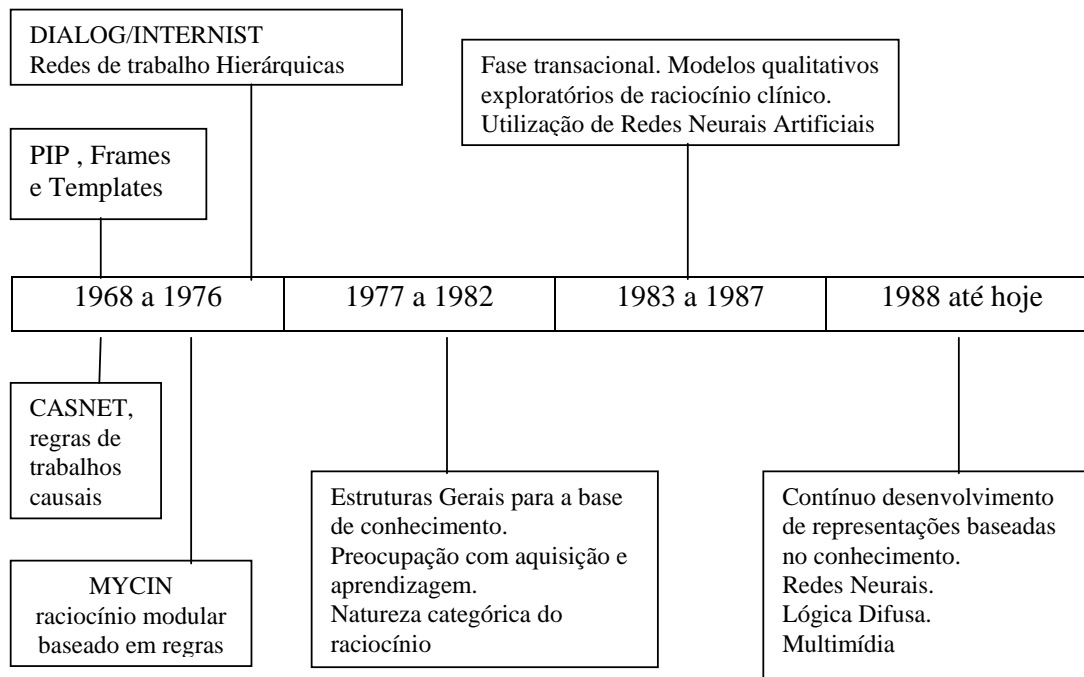


Figura 6.1 – Evolução da Inteligência Artificial Médica (adaptado de FERNANDES, 1997).

A primeira fase (1968-1972) caracterizou-se pelo uso de regras de trabalho causais para descrição de processo de doenças (sistema CASNET, em 1972), raciocínio modular baseado em regras (sistema MYCIN, em 1974), redes de trabalho hierárquicas (sistema DIIALOG/INTERNISIST, em 1975) e frames ou templates para definições de doenças (sistema PIP, em 1976). Estes sistemas, assim como outros programas de computador sem características de Inteligência Artificial predecessores foram projetados para auxiliar médicos não especialistas, enfermeiras ou outros profissionais da saúde a praticar a medicina, disponibilizando os conhecimentos obtidos de especialistas no domínio ao qual pertenciam.

O sucesso destes sistemas influenciou os projetos japoneses de computadores de quinta geração, marcando também a proliferação dos Sistemas Especialistas (BRONZINO, 1995).

A segunda fase (1977 – 1982) foi marcada pelo uso de estruturas gerais para construção das bases de conhecimentos especialistas. É nesta etapa da evolução da

Inteligência Artificial Médica que surgiram os sistemas EMYCIN, Expert e Age, aplicados em controle de instrumentos de UTI, interpretação de testes laboratoriais para aconselhamento diagnóstico e tratamento de doenças. Os problemas de aquisição de conhecimento e aprendizado foram também abordados pela primeira vez de forma sistemática, e a natureza da maioria do raciocínio com sistemas especialistas foi reconhecida. Neste estágio houve o desenvolvimento e disseminação das idéias dos Sistemas Especialistas, de shells para representar o conhecimento e das decisões baseadas em heurísticas (BRONZINO, 1995).

No terceiro período (1983 – 1987), os pesquisadores de IA centraram esforços no desenvolvimento do raciocínio médico e nas suas formas de representação. Durante este estágio foram introduzidos os conceitos de Redes Neurais para aplicação em informática médica. O interesse nas estruturas conexionistas, aplicando as Redes Neurais para o aprendizado e a tomada de decisão foi estimulado pela introdução dos métodos backpropagation. Finda a euforia inicial, motivada pela promessa de programas de diagnósticos inteligentes, a década de 80 foi caracterizada por uma desilusão quanto ao potencial prático destes sistemas, ainda que estes tenham provado sua confiabilidade e acurácia em diversas ocasiões (COIERA, 1998).

A partir de 1988, firmou-se o quarto estágio da evolução da Inteligência Artificial Médica. A grande característica desta etapa atual é o contínuo desenvolvimento de representações baseadas em conhecimento, uso do raciocínio qualitativo, modelagem e controle em processos críticos (como por exemplo, atuação em UTI's), uso de métodos estatísticos e redes Bayseanas nos processos de tomada de decisão, ratificação do uso das redes neurais e conjuntos difusos.

6.2 Principais Atuações dos Sistemas Especialistas na Medicina

Segundo CUER (1997), os Sistemas Especialistas auxiliam principalmente nas seguintes tarefas médicas:

- Gerar alertas e lembretes – em um ambiente de tempo real, os SE's podem monitorar um paciente, alertando aos profissionais de saúde sobre alterações importantes no quadro clínico.
- Assistência em diagnóstico – em casos complexos e raros, ou devido a inexperiência do profissional que estiver fazendo o diagnóstico, um SE pode auxiliar na emissão do diagnóstico mais provável, seguro ou adequado, de acordo com o estado atual do paciente.
- Criticar terapias e propor novas – o programa pode buscar inconsistências, erros e omissões existentes em um plano de tratamento, ou mesmo pode até propor uma terapêutica adequada.
- Agentes para recuperação de informações – softwares conhecidos como “agentes autônomos” podem fazer pesquisas na Internet, buscando informações relevantes para um determinado problema. Tais agentes devem possuir conhecimento sobre as preferências e necessidades do usuário, bem como ter conhecimentos médicos para avaliar a relevância das informações que descobre.
- Reconhecimento de imagens e interpretação – muitas imagens médicas podem ser interpretadas de forma automatizada, desde radiografias simples a imagens altamente complexas, como resultados de tomografias, ressonâncias magnéticas e angiogramas. Em triagens em massa, tais sistemas podem verificar imagens que contenham anormalidades, alertando ao especialista sobre o fato.

6.3 Inteligência Artificial Médica: Por que não é usada ?

Apesar da grande evolução da Inteligência Artificial Médica, os Sistemas Especialistas médicos ainda não estão sendo utilizados de forma rotineira nos ambientes médicos.

O fato de alguns SE's exigirem a existência prévia de um sistema de registro médico computadorizado para entrada de dados e de muitas instituições não disponibilizarem seus dados eletronicamente pode ser um dos fatores de empecilho à

implantação da IA médica. Outro problema apontado é a falta de um projeto com interface amigável entre o usuário e o sistema, ocasionando uma rejeição inicial por parte dos possíveis usuários. Complementando, muitos Sistemas Especialistas não se adaptam facilmente aos processos de assistência médica, exigindo um esforço adicional por parte dos já bastante ocupados profissionais médicos. A dificuldade de adaptação dos SE's à prática clínica muitas vezes encontra justificativa no fato de estes não terem sido construídos para resolver problemas considerados relevantes, ou pela imposição de mudanças na forma como os clínicos trabalham (COIERA, 1998).

A “tecnofobia” e a falta de domínio dos trabalhadores de saúde com o uso de sistemas computadorizados também impede que os usuários consigam vislumbrar o grande auxílio que as ferramentas computacionais podem prestar às instituições de saúde (COIERA, 1998).

Para que qualquer Sistema Especialista médico tenha sua aceitação, deve-se ter um cuidado especial, por parte de seus desenvolvedores, em investir no projeto de uma interface adequada e amigável, bem como na adaptação do sistema às exigências e rotinas do ambiente clínico ao qual o sistema será inserido. Além disso, a questão custo/benefício deve ser sempre considerada, tanto pelos desenvolvedores quanto pelos usuários.

CAPÍTULO VII - CONJUNTOS DIFUSOS

A teoria dos Conjuntos Difusos² (ou Nebulosos) originou-se em 1965 a partir do trabalho de Zadeh. Anteriormente, a única abordagem para o tratamento de incertezas era a probabilística (por exemplo, Teorema de Bayes e Modelos de Markov). Esta abordagem tem a restrição de tratar somente a incerteza em uma de suas manifestações, vinculada com a possibilidade de ocorrência ou não do evento (KLIR, 1995). Diferindo dos modelos probabilísticos, a incerteza tratada pela teoria dos conjuntos difusos não advém da falta de certeza sobre a ocorrência ou não de um evento, mas sim do conhecimento vago ou da falta de limites precisos para delimitar “dois conceitos próximos”, trabalhando com a imprecisão e o raciocínio aproximado.

Inicialmente desprezada, ignorada e até ridicularizada, a teoria de Zadeh somente recebeu crédito de uma pequena parcela da comunidade científica da época. Porém, em meados dos anos 70 começou a despertar maior interesse, sendo que a aceitação deste paradigma com seu superior poder de expressividade deu-se a partir dos anos 80 (KLIR, 1995).

A teoria clássica dos conjuntos (conjuntos “crisp” ou abruptos) considera simplesmente que um elemento ou **pertence** a um conjunto, ou **não pertence** a este. Assim, dado um conjunto *crisp* qualquer, pode-se defini-lo através de sua *função característica*:

$$\mu_A(u) = 1, \text{ se } u \text{ for um elemento do conjunto } A \text{ e}$$

$$\mu_A(u) = 0, \text{ se } u \text{ não for elemento do conjunto } A$$

A representação acima mapeia os elementos u pertencentes ao subconjunto A (1) ou não pertencentes (0).

² Alguns autores, entre eles BARRETO (1997) defendem o uso do termo *nebuloso*, ao invés de *difuso*.

Em se tratando de Conjuntos Difusos, pode-se defini-los matematicamente associando a cada elemento do domínio (universo de discurso) um valor, que irá representar o *grau de pertinência* deste elemento ao conjunto. Este grau de pertinência irá representar o quanto o elemento é similar ou compatível com o conceito simbolizado pelo conjunto (KLIR, 1995), ou seja, indica quanto o elemento pertence ou não ao referido conjunto. Quanto maior for este grau, maior a pertinência do elemento ao conjunto; quanto menor o valor, tanto menor será a adequação do valor ao conjunto a ele associado.

O grau de pertinência de um elemento a um conjunto é obtido através da *função de pertinência*, e é restrito ao intervalo $[0,1]$. Dado um subconjunto difuso A e seu universo de discurso U , pode-se definir a função de pertinência genericamente da seguinte forma:

$$\mu_A(u):U \rightarrow [0,1]$$

A representação acima indica o grau com que um elemento u pertence ao subconjunto A , grau este que está limitado ao intervalo $[0,1]$.

Analogamente à teoria clássica, conjuntos difusos podem ser manipulados através de três operações básicas: *Intersecção*, *União* e *Complemento*. A diferença está na forma com que estas operações são realizadas, sempre levando em consideração os graus de pertinência. Diversas definições são aceitas para cada uma destas operações básicas, sendo que a escolha acertada dependerá das características do problema proposto.

Os conjuntos difusos podem trabalhar tanto o conhecimento objetivo obtido a partir de dados numéricos como também incorporam o conhecimento subjetivo, obtido a partir de informações linguísticas (MATOS, 2001).

Segundo Zadeh, qualquer problema pode vir a ser fuzzificado, ou seja, transportado de uma forma discreta para uma contínua³. Assim, pode-se estender toda a matemática aplicada aos números tradicionais para os números difusos.

7.1 Conceitos Fundamentais

Seja A um conjunto difuso de X, constituído pelos elementos { a,b,c,d,e,f }. A representação de A, de acordo com seus graus de pertinência poderá ser feita da seguinte forma:

$$A = \{ 0/a, 0.3/b, 1/c, 1/d, 0.6/e, 0/f \}$$

Uma representação gráfica deste conjunto pode ser feita como na Figura 7.1:

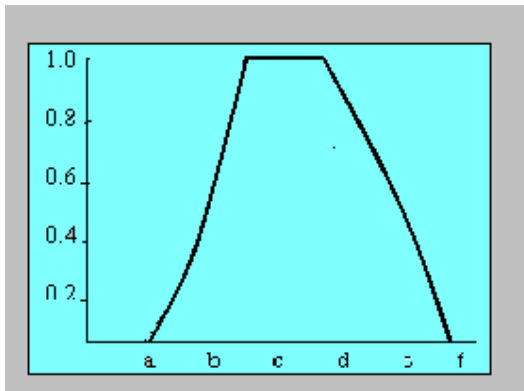


Figura 7.1 – Representação do conjunto difuso

7.1.1 Conjuntos Normais

O conjunto A é chamado de *normal* se existe pelo menos um elemento $x \in X$ tal que $A(x) = 1$, ou seja, existe pelo menos um elemento que se enquadra totalmente na definição que o conjunto representa.

³ Isto vem a ser conhecido como o *Princípio da Extensão* (ROSS, 1995).

Um conjunto que não satisfaz a esta propriedade é chamado de *subnormal*.

7.1.2 Suporte de um conjunto difuso

O *suporte* do subconjunto A constitui-se no conjunto *crisp* de X cujos elementos possuem grau de pertinência diferentes de zero em A .

$$\text{Suporte}(A) = \{x | A(x) > 0 \text{ e } x \in X\}$$

7.1.3 Core (núcleo)

O *Core* (núcleo) de A é o *conjunto* *crisp* de X tal que todos os elementos possuem grau de pertinência igual a 1

$$\text{Core}(A) = \{x | A(x) = 1 \text{ e } x \in X\}$$

7.1.4 Alpha-cuts

O alpha-cut (α -cut) ou conjunto de corte α de um conjunto difuso A é o conjunto *crisp* constituído por todos os elementos cujo grau de pertinência ao conjunto A é maior que α . Pode ser esquematizado como segue :

$$A_{\alpha} = \{x | \mu_A(x) > \alpha\}$$

O corte alpha forte (strong α -cut) de um conjunto difuso A é o conjunto *crisp* constituído por todos os elementos cujo grau de pertinência ao conjunto A é maior OU igual a α . Pode ser esquematizado como segue :

$$A^{\alpha} = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\}$$

7.1.5 Números Difusos

Números Difusos são números representados por um intervalo aproximado de um número real, com pelo menos um elemento com grau de pertinência máximo (1). Por exemplo, o número difuso $\{ 0.2/1.7, 0.8/1.9, 1/2, 0.8/2.2, 0.2/2.5 \}$ constitui-se em uma aproximação do real 2; seus elementos são números próximos a 2, e existe um elemento com grau de pertinência 1 (KLIR 1995).

7.1.6 Variáveis Lingüísticas

Entende-se como variáveis lingüísticas aquelas variáveis que representam um conceito, podendo assumir valores lingüísticos difusos. Os valores difusos são conjuntos difusos que possuem um significado semântico, irão qualificar a variável e são expressos por sua função de pertinência (KASABOV 1996).

Como exemplo no sistema de auxílio ao diagnóstico, cita-se a variável lingüística *Classificação da Lesão*, que pode assumir os seguintes valores difusos: *Lesão Leve*, *Lesão Moderada* e *Lesão Grave* (figura 7.2).

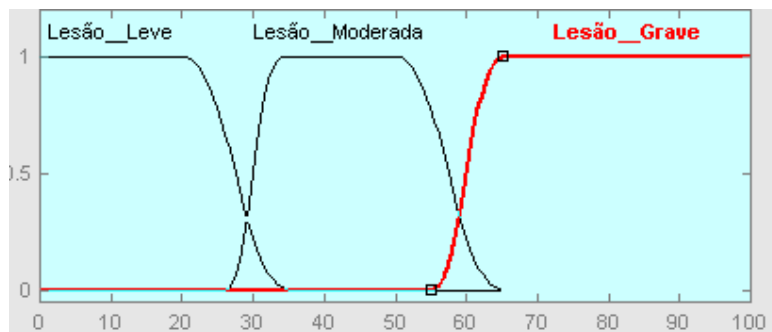


Figura 7.2 – Representação da Variável Lingüística Classificação da Lesão

7.1.7 Operações básicas – Complemento, União e Intersecção

Na Teoria dos Conjuntos Difusos, existem várias maneiras de se expressar a União, Intersecção e Complemento (negação). Na sua forma mais simples (operações padrão), sejam A e B dois subconjuntos difusos de X, pode-se definir as seguintes operações:

$$\text{Intersecção} : A_{(x)} \cap B_{(x)} = \min(A_{(x)} \wedge B_{(x)})$$

$$\text{União} : A_{(x)} \cup B_{(x)} = \max(A_{(x)} \vee B_{(x)})$$

$$\text{Complemento: } \bar{A}_{(x)} = 1 - A_{(x)}$$

7.2 Exemplo – Aplicação dos Conceitos Fundamentais

Seja $X = \{ a, b, c, d, e, f, g, h \}$. Dado que A e B são dois subconjuntos difusos de X onde :

$$A = \{ 0.3/a, 0.7/b, 1/c, 1/d, 0.6/e, 0/f \}$$

$$B = \{ 0/b, 0.3/c, 0.5/d, 1/e, 1/f, 0.4/g, 0/h \}.$$

Supondo $\alpha = 0.5$, as operações de intersecção e união baseadas em mínimos e máximos. Tem-se que:

$$\text{Suporte } A = \{ a, b, c, d, e \} \quad \text{Core } A = \{ c, d \}$$

$$\text{Suporte } B = \{ c, d, e, f, g \} \quad \text{Core } B = \{ e, f \}$$

$$A\alpha = \{ b, c, d, e \} \quad A'\alpha = \{ b, c, d, e \}$$

$$B\alpha = \{ d, e, f \} \quad B'\alpha = \{ e, f \}$$

$$\text{Intersecção} : A_{(x)} \cap B_{(x)} = \min(A_{(x)} \wedge B_{(x)})$$

$$A_{(x)} \cap B_{(x)} = \{ 0/a, 0/b, 0.3/c, 0.5/d, 0.6/e, 0/f, 0/g, 0/h \}$$

$$\text{União} : A_{(x)} \cup B_{(x)} = \max(A_{(x)} \vee B_{(x)})$$

$$A_{(x)} \cup B_{(x)} = \{ 0.3/a, 0.7/b, 1/c, 1/d, 1/e, 1/f, 0.4/g, 0/h \}$$

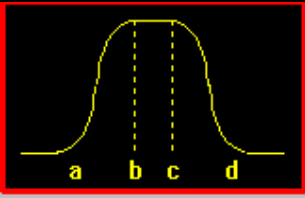
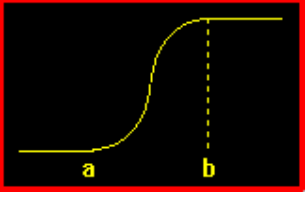
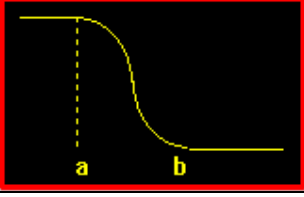
Complemento: $\bar{A}_{(x)} = 1 - A_{(x)}$

$$\bar{A}_{(x)} = \{ 0.7/a, 0.3/b, 0/c, 0/d, 0.4/e, 1/f, 1/g, 1/h \}$$

7.3 Funções de Pertinência

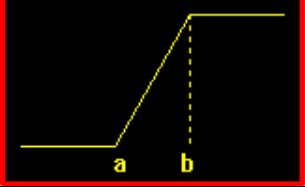
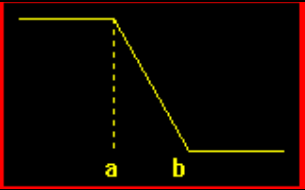
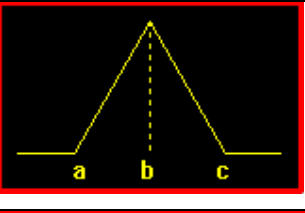
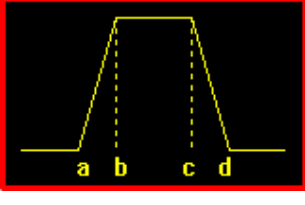
Os Conjuntos Difusos são definidos em sua forma através de sua função de pertinência. Algumas funções mais usuais, sua definição e representação gráfica são apresentadas na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Principais funções de Pertinência (adaptado de DUARTE, 1998)

Nome da Função	Definição	Representação Gráfica
PI – Campana	$0, x < a$ $2((x - a) / (b - a))^2, a < x < (a + b) / 2$ $1 - 2((x - b) / (b - a))^2, (a + b) / 2 < x < b$ $1, b > x > c$ $1 - 2((x - c) / (d - c))^2, c < x < (c + d) / 2$ $2((x - d) / (d - c))^2, (c + d) / 2 < x < d$ $0, x > d$	
S	$1, x < a$ $1 - 2((x - a) / (b - a))^2, a < x < (a + b) / 2$ $2((x - b) / (b - a))^2, (a + b) / 2 < x < b$ $0, x > b$	
Z	$0, x < a$ $2((x - a) / (b - a))^2, a < x < (a + b) / 2$ $1 - 2((x - b) / (b - a))^2, (a + b) / 2 < x < b$ $1, x > b$	

(continua)

(continuação)

GAMA	$0, x < a$ $(x - a) / (b - a), a < x < b$ $1, x > b$	
L	$1, x < a$ $(b - x) / (b - a), a < x < b$ $0, x > b$	
Triangular	$0, x < a$ $(x - a) / (b - a), a < x < b$ $1, x = b$ $(c - x) / (c - b), b < x < c$ $0, x > c$	
Trapezoidal	$0, x < a$ $(x - a) / (b - a), a < x < b$ $1, b < x < c$ $(d - x) / (d - c), c < x < d$ $0, x > d$	

CAPÍTULO VIII - LÓGICA DIFUSA

A Lógica Difusa vem a ser um método de formalizar a capacidade humana de raciocinar de modo impreciso ou aproximado (ROSS, 1995). Como alternativa à lógica Clássica e as lógicas tri-valoradas, caracteriza-se por apresentar infinitos valores parciais de verdade, compreendidos entre 0 e 1, ou “completamente falso” e “completamente verdadeiro”. Quando se trabalha com a Lógica Difusa, tem-se que um certo valor de verdade não está mais restrito ao *sim* ou *não*. A dicotomia do verdadeiro ou falso excludentes entre si é quebrada, através da “suavização” dos valores verdades tradicionais; estes passam a ser caracterizados por seu caráter aproximado ou parcial.

Assim como a teoria dos conjuntos *crisp* utiliza-se da Lógica Clássica para manipular seus elementos, os conjuntos difusos encontram na Lógica Difusa a sua forma de representação e manipulação.

Uma importante lei da lógica Clássica, conhecida como *Lei da Contradição*, afirma que uma proposição não pode coexistir com seu oposto, ou seja, não pode ser ao mesmo tempo Verdadeiro e Falso. Como a lógica difusa trata de valores parciais de verdade, esta restrição não é regra. Outra restrição a qual a abordagem difusa não obedece é a *Lei do Meio Excluído*, que afirma que a União de uma proposição com seu oposto resulta no conjunto universo.

8.1 Características da Lógica Difusa

- A Lógica Difusa realiza operações aritméticas em palavras e conceitos. Assim, pode-se utilizar as operações básicas em valores como *muito quente*, *mais alto*, *cerca de 50*, por exemplo.
- Trabalha com modificadores lingüísticos (ou de predicado, ou hedges) como por exemplo: *muito*, *mais ou menos*, *pouco*, *bastante*, *médio*, etc. Estes constituem-se de números reais positivos que operam sobre um conjunto difuso e alteram seu valor de pertinência.

- Na lógica difusa, é utilizado o raciocínio de uma forma aproximada. A limitação do raciocínio exato é rompida. Tudo pode ser considerado como um problema de gradação
- Qualquer outro sistema de outras abordagens lógicas pode vir a ser transposto para a abordagem difusa.
- Os conectivos **E** e **OU** da lógica Clássica equivalem às operações de união (também chamados T-Normas) e intersecção (ou T-Conormas) da teoria dos conjuntos, respectivamente.
- Tem seus valores limitados por 0 e 1.

8.2 Proposições Difusas

A principal diferença entre as proposições clássicas e as proposições difusas está na faixa de valores verdade que estas podem assumir. O valor de uma proposição difusa pode ser qualquer valor compreendido entre 0 e 1 (KLIR, 1995).

Assim, dada a proposição “O Paciente X é um grande queimado”, seu valor verdade não necessariamente seria um valor absoluto 0 ou 1, mas sim intermediário. (Ex: o paciente X pertence ao conjunto dos grandes queimados com grau de pertinência 0.8).

8.3 Operadores de Agregação

Em conjuntos difusos, as operações de União e Intersecção podem ser vistas de forma mais genérica como *operadores de agregação*. Através destes, combina-se vários conjuntos difusos, resultando em apenas um conjunto difuso. Muitas aplicações baseadas em conjuntos difusos precisam agregar conjuntos para chegar a uma conclusão. É justamente o tipo de operação necessária no processo de execução de regras difusas.

Vários pesquisadores sugerem uma ampla variedade de operadores de agregação, sendo que a escolha da aplicação de um ou outro dependerá do tipo de problema apresentado e nas características de solução desejada.

As operações de Intersecção são generalizadas através dos operadores conhecidos como T-Normas (ou triangular normas), ao passo que a União é generalizada através das T-Conormas (ou triangular conormas). O tipo de operador mais comum utilizado para os T-Normas é o *min* e para os T-Conormas é o *max*, correspondentes ao AND e OR lógicos. Além destes já conhecidos, outros tipos de operadores serão também apresentados nesta seção.

Dado um operador **T-Norma**, representando um mapeamento $T: [0,1] \times [0,1]$ restrito ao intervalo $[0,1]$; sejam A, B, C e D quatro conjuntos difusos e um elemento x pertencente a um Universo de Discurso X ($x \in X$). Tem-se as seguintes propriedades básicas na tabela 8.1:

Tabela 8.1 – Propriedades básicas para operadores T-Normas

Comutatividade	$T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = T(\mu_B(x), \mu_A(x))$
Associatividade	$T(\mu_A(x), T(\mu_B(x), \mu_C(x))) = T(T(\mu_A(x), \mu_B(x)), \mu_C(x))$
Monotonicidade	$T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \leq T(\mu_C(x), \mu_D(x))$ se $\mu_A(x) \leq \mu_C(x)$ e $\mu_B(x) \leq \mu_D(x)$
Limite	$T(0,0) = 0$; $T(\mu_A(x), 1) = T(1, \mu_A(x)) = \mu_A(x)$

A seguir, são apresentados alguns dos operadores de T-Normas mais utilizados :

Mínimo: $T_{\min}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$

Produto Algébrico: $T_{pa}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$

Produto Limitado: $T_{pl}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1)$

Produto Drástico:

$$T_{pd}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \begin{cases} \mu_A(x) & \text{se } \mu_B(x) = 1 \\ \mu_B(x) & \text{se } \mu_A(x) = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O uso do mínimo como operador de intersecção resulta em graus de pertinência maiores, enquanto o produto drástico obtém resultados inferiores. Os outros operadores resultam em graus de pertinência intermediários.

O operador de **T-Conorma** (ou **S-Norma**) é representado através do mapeamento $S: [0,1] \times [0,1]$ restrito em $[0,1]$. As propriedades obrigatórias de um operador de T-Conorma são as mesmas do operador T-Norma (*Comutatividade*, *Associatividade* e *Monotonicidade*). A única diferença diz respeito a propriedade *Limite*:

Limite: $S(1,1) = 1; \quad T(\mu_A(x), 0) = T(0, \mu_A(x)) = \mu_A(x)$

A necessidade destas quatro propriedades para os operadores de T-Conormas segue as mesmas justificativas apresentadas para os operadores de T-Nomas.

Também para as T-Conormas existe uma ampla lista de classes de operadores. Alguns dos mais comuns são apresentados abaixo:

Máximo: $S_{\max}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$

Soma Algébrica: $S_{sa}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$

Soma Limitada: $S_{sl}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \min(1, \mu_A(x) + \mu_B(x))$

Soma Drástica:

$$S_{sd}(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \begin{cases} \mu_A(x) & \text{se } \mu_B(x) = 0 \\ \mu_B(x) & \text{se } \mu_A(x) = 0 \\ 1 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

No caso das T-Conormas, o limite dos operadores encontra-se entre o operador *Máximo* e a *Soma Drástica*.

Como exemplo de utilização dos operadores, temos para A , B e C (três conjuntos difusos definidos sobre o mesmo universo X), o resultado da agregação apresentado na tabela 8.2, sendo $\wedge = T - Norma$ e $\vee = T - Conorma$ genéricas:

Tabela 8.2 – Exemplo de utilização dos operadores T-Normas e T-Conormas

T-Norma	T-Conorma	Resultado de $(A \wedge B) \vee C$ Sendo $\mu_A = 0.5; \mu_B = 0.6; \mu_C = 0.8$
<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	0.8
<i>Produto Algébrico</i>	<i>Soma Algébrica</i>	0.86
<i>Produto Limitado</i>	<i>Soma Limitada</i>	0.9

8.4 Regras Difusas

Em um Sistema Especialista, as regras constituem-se como elementos formadores da base do conhecimento. A maneira com a qual estas regras serão manipuladas dependerá das características do problema e da abordagem de raciocínio utilizada.

Muitos tipos de regras difusas tem sido usadas para lidar com o conhecimento, tais como as do tipo de Zadeh-Mamdani:

SE x é A , **ENTÃO** y é B ,

onde $(x \text{ é } A)$ e $(y \text{ é } B)$ são proposições difusas, x é uma variável de entrada e y , variável de saída, ambas definidas sobre os universos de discurso U e V , respectivamente. A e B são conjuntos difusos definidos pelas suas funções de pertinência. Frequentemente, $(x \text{ é } A)$ é chamada de *antecedente* ou *premissa* da regra, e $(y \text{ é } B)$ é chamada de *conseqüente* ou *conclusão* (KASABOV, 1996).

A lógica booleana Clássica utiliza nas regras os operadores E, OU e NÃO de forma correspondente às operações clássicas de Intersecção, União e Negação. Quando se deseja apenas considerar o *verdadeiro* ou o *falso*, a abordagem tradicional mostra-se suficiente. A abordagem difusa irá sempre levar em consideração os graus de pertinência das variáveis envolvidas. De um modo geral, a operação de intersecção difusa dá-se através do mínimo grau de pertinência das variáveis nas premissas; a operação de união, através do grau máximo.

Exemplo 1: dada a regra:

SE (*Extensão da queimadura É média extensão*) **E** (*classificação da queimadura É espessura parcial*) **ENTÃO** (*paciente É médio queimado*)

E os seguintes graus de pertinência das variáveis.

$$\text{média Extensão(Extensão da queimadura)} = 0.3$$

$$\text{Espessura parcial(classificação da queimadura)} = 0.6$$

$$\text{média Extensão(Extensão da queimadura)}$$

$$\mathbf{E} \text{ Espessura parcial(classificação da queimadura)}$$

$$= \text{mínimo (média Extensão(Extensão), Espessura Parcial (Profundidade))}$$

$$= \text{mínimo (0.3 , 0.6)} = 0.3$$

Exemplo 2: dada a regra:

SE (*Extensão da queimadura É grande extensão*) **OU** (*classificação da queimadura É espessura parcial*) **ENTÃO** (*paciente É médio queimado*)

E os seguintes graus de pertinência das variáveis.

$$\text{Grande Extensão(Extensão da queimadura)} = 0.3$$

Espessura parcial(classificação da queimadura) = 0.6

Grande Extensão(Extensão da queimadura)

OU Espessura parcial(classificação da queimadura)

= máximo (média Extensão(Extensão), Espessura Parcial (Profundidade))

= máximo(0.3 , 0.6) = 0.6

É interessante observar que ao se definir graus de pertinência iguais a 0 e 1 nestas definições, obtêm-se valores verdade como os esperados na lógica booleana convencional. Isto é conhecido como o *Princípio da Extensão*, o qual afirma que os resultados da lógica booleana podem ser obtidos através de operações difusas cujos graus de pertinência sejam restritos ao conjunto $\{0,1\}$. Assim, conjuntos e lógica difusas vem a ser uma generalização da teoria clássica dos conjuntos, ou seja, todos os conjuntos *crisp* são subconjuntos difusos especiais.

Exemplo 3: dada a regra:

SE (*Extensão da queimadura* É média extensão) **E** (*classificação da queimadura* É espessura parcial) **ENTÃO** (*paciente* É médio queimado)

E os seguintes graus de pertinência das variáveis.

média Extensão(Extensão da queimadura) = 1

Espessura parcial(classificação da queimadura) = 0

média Extensão(Extensão da queimadura)

E Espessura parcial(classificação da queimadura)

= mínimo (média Extensão(Extensão), Espessura Parcial (Profundidade))

= mínimo (1 , 0) = 0

8.5 Mecanismo Difuso de Inferência – Raciocínio Aproximado

O raciocínio difuso, também conhecido como raciocínio aproximado, é um procedimento de inferência que tira suas conclusões a partir de um conjunto de regras Difusas.

Na lógica Clássica, o processo de inferência não é nada mais que um processo de comparação. Para se chegar a uma conclusão, é analisada a compatibilidade de um espaço de domínio com o espaço de soluções. A lógica Clássica somente permite o que é denominado de “compatibilidade exata” (KASABOV, 1996). Através de uma regra básica de inferência, denominada *modus ponens*., pode-se chegar ao valor verdade de uma proposição B, dado uma verdade A e uma implicação $A \rightarrow B$ (A implica em B). Por exemplo:

- . regra (se x é A, y é B) : se o tomate está vermelho, o tomate está maduro;
- . fato (x é A) : o tomate está vermelho;
- . conclusão (y é B) : o tomate está maduro;

A deficiência do *modus ponens* é que, dado $A \rightarrow B$ e A, *exatamente* B será inferido. Ao trabalhar-se com a abordagem difusa, pode-se empregar esta regra de um modo mais impreciso, aproximado, permitindo que, de posse de um valor próximo de A, possa-se inferir como resposta um valor próximo de B.

Exemplo:

- .regra (SE x É A, ENTÃO y É B) : se o tomate está vermelho, o tomate está maduro;
- .fato (x É A') : o tomate está QUASE vermelho;
- .conclusão (y É B') : o tomate está QUASE maduro.

A' e B' estão próximos, respectivamente, de A e B. Se A, A', B e B' são conjuntos difusos, o procedimento de inferência é chamado de *raciocínio aproximado* ou *difuso*. Também é chamado de *modus ponens generalizado* (AZEVEDO et al, 2000).

Outro exemplo de aplicação do raciocínio aproximado, adequado ao trabalho proposto por esta pesquisa, pode ser:

.regra(SE *faixa etária* É *lactente* ENTÃO *classificação* É *grande queimado*)

.fato(*faixa etária* É *lactente* com GP = 0.7)

.conclusão(*classificação* É *grande queimado* com GP=0.63)

onde GP significa Grau de Pertinência.

No exemplo acima, pode-se considerar que a variável lingüística *faixa etária* tem grau de pertinência 1 ao conjunto dos lactentes quando o paciente tem até 12 meses de vida; a partir daí, o grau de pertinência ao conjunto vai decrescendo, chegando a zero ao ultrapassar a marca de 2 anos de vida. Um paciente com um ano e 6 meses de vida ainda pode ser considerado pertencente ao conjunto *lactente*, porém com um grau de pertinência inferior ao de um paciente de 3 meses.

8.6 Aplicações da Teoria dos Conjuntos Difusos

Uma vez que incerteza e imprecisão⁴ estão presentes nas mais distintas áreas de conhecimento, como engenharia, medicina, política, economia, diversas aplicações podem se beneficiar desta abordagem. Por exemplo, em um sistema de diagnóstico de internação de pacientes vítimas de queimaduras, pode-se desejar que, dado que uma queimadura atingiu 10% da superfície do corpo seja recomendada a conduta de internação hospitalar. Mas, seria aceitável que o sistema não indicasse pela internação caso a lesão atingisse 9,5 % da superfície corporal ? Na Lógica Difusa, este valor

⁴ Segundo BARRETO (1997), os termos *incerteza* e *imprecisão* são conceitos bem distintos. *Incerteza* teria natureza probabilística, pois está relacionada a um evento que não se sabe *a priori* se ocorrerá ou não. Ex: “Chuva na quarta feira de cinzas” – isto pode ocorrer ou não. Já a *imprecisão* significa a ocorrência ou não de um evento de maneira aproximada, incompleta. Ex: Acertar um alvo “na mosca” com um dardo, não requer uma mira milimetricamente precisa, mas aproximada do centro do alvo.

Já outras referências conceituam a incerteza de acordo com seus tipos de manifestação, tais como: incerteza por imprecisão, por não especificidade, por inconsistência (KLIR, 1995).

poderia ser entendido como *média extensão* com um grau de pertinência inferior a 1, e assim, ser indicativo de internação.

A Medicina constitui-se em um dos campos onde a aplicabilidade da Teoria dos Conjuntos Difusos foi reconhecida muito cedo, em meados dos anos 70, havendo predominância em aplicações que tratam as incertezas na emissão de diagnósticos de doenças. Uma estrutura tão complexa como o corpo humano não pode simplesmente ser analisada em termos de conceitos exatos.

A Economia também fornece um domínio amplo para aplicar a abordagem difusa. Apesar das teorias econômicas serem baseadas em fórmulas matemáticas clássicas, as incertezas presentes nas atuações do mercado de valores, nas previsões de acordo com tendências econômicas, decisões estratégicas baseadas em informações linguísticas ou especulações, são alguns demonstrativos de imprecisões deste campo (KLIR, 1995).

Há ainda aplicações desenvolvidas para várias ciências, como Física, Química, Biologia, Ecologia, Ciências Políticas, Geologia, Meteorologia, Engenharia Nuclear, por exemplo. Apesar destas aplicações serem desenvolvidas mais isoladamente, confirmam o poder de representação desta abordagem.

Na área da computação, emerge o que está sendo chamado de *soft computing*, que explora o tratamento de incertezas de vários tipos para adquirir tratabilidade, baixo custo e robustez. Sua preocupação primordial está direcionada à aplicação de *métodos de aproximação*, propondo teorias computacionais que resultem em soluções aceitáveis e de baixo custo. A Teoria dos Conjuntos Difusos, Redes Neurais Artificiais, Algoritmos Genéticos, são abordados pela *soft computing* (KLIR, 1995).

Existem atualmente várias aplicações que usam a abordagem difusa comercialmente em equipamentos, como máquinas de lavar roupa, câmaras filmadoras, mecanismos de injeção eletrônica de combustíveis, dentre outros.

Algumas perspectivas de aplicações da abordagem difusa, segundo KLIR (1995):

- Processamento de linguagem natural;
- Carros inteligentes, com capacidade de fazer manobras, decisão da melhor rota para chegar ao destino, diagnóstico e prevenção de falhas mecânicas;
- Reconhecimento de imagens;
- Mecanismos capazes de resumir criações literárias.

CAPÍTULO IX - SISTEMAS ESPECIALISTAS DIFUSOS

Sistemas Especialistas Difusos resultam da aplicação da teoria dos conjuntos difusos para a construção de sistemas especialistas, e são baseados em regras e mecanismos de inferência difusos. As regras servem para representar conhecimento; os mecanismos de inferência ou raciocínio irão derivar as conclusões a partir das regras. Diferindo dos Sistemas convencionais, aproximam-se mais do pensamento humano e da linguagem natural, tratam a imprecisão e a natureza inexata do mundo real (MATOS, 2001).

As regras difusas e as funções de pertinência irão compor a base de conhecimento.

O fluxo de dados de um Sistema Especialista Difuso pode ser esquematizado conforme a Figura 9.1:

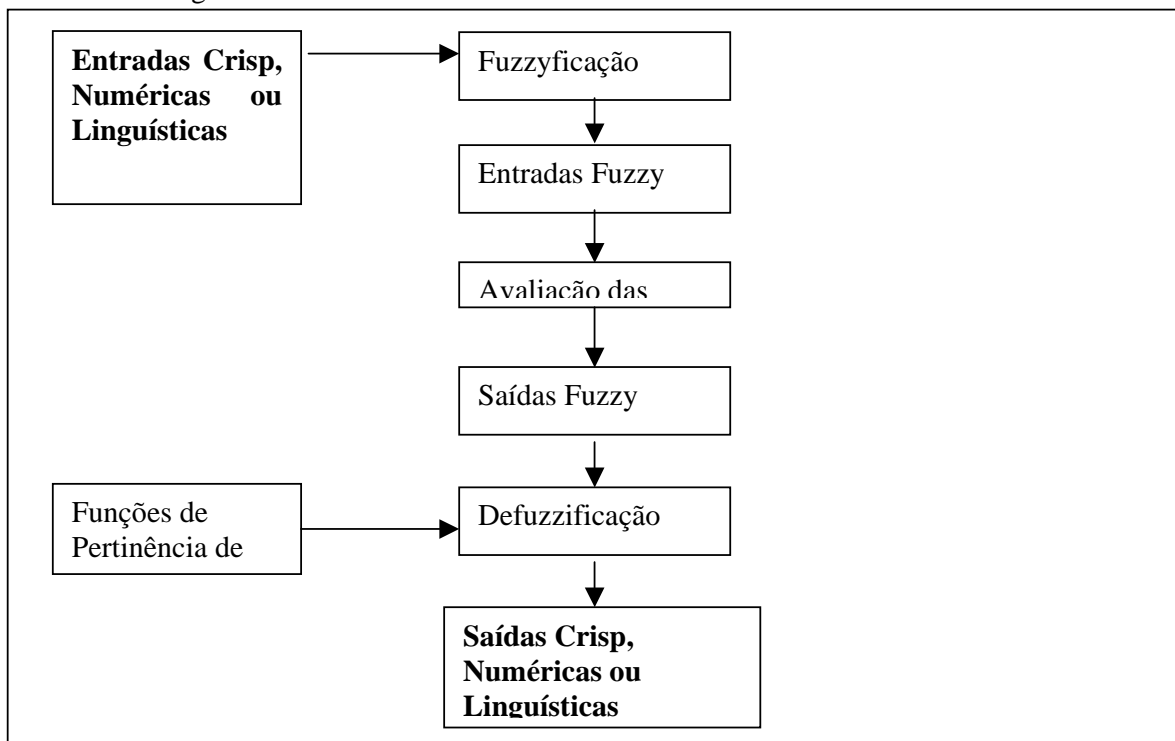


Figura 9.1 – Fluxo de dados em um Sistema Especialista Difuso, adaptado de (AZEVEDO, 2000).

9.1 Fuzzificação

O processo de Fuzzificação consiste em representar um problema utilizando-se da lógica Difusa. Nesta etapa, será determinado e calculado um valor para representar o grau de pertinência de entrada em um ou mais conjuntos difusos, sendo que cada valor de entrada terá um grau de pertinência em cada conjunto (FERNANDES, 1997).

Os valores numéricos serão transformados em graus de pertinência para um determinado valor lingüístico difuso, permitindo uma ligação entre os termos lingüísticos (ex: pequena extensão, recém nascido, espessura total , dentre outros) e suas funções de pertinência (MATOS, 2001).

Esta etapa garante a imprecisão necessária do valor numérico da variável de entrada para que ela se torne compatível com a representação difusa da base de regras.

9.2 Avaliação das Regras

A etapa de avaliação das regras ou inferência vai ocorrer após os procedimentos de fuzzificação. Trata-se de um mapeamento que define a transformação dos valores de entrada difusos em valores de saída (YAGER, 1994).

O grau de verdade para as premissas de cada regra é computado, e aplicado à conclusão. Isto irá resultar em um subconjunto difuso associado a cada variável de saída para cada regra. Há diversas maneiras de se combinar as funções de pertinência da entrada para gerar a saída. Uma delas é feita pelos operadores Máx / Min. Neste caso, quando tem-se as operações de união (equivalente ao OU lógico), o grau de pertinência da conclusão é igual ao grau da variável com maior grau de pertinência, ou seja, $\max(x_1, x_2, \dots, x_n)$. No caso das operações de Intersecção (o E lógico), o resultado é obtido pelo menor grau de pertinência das variáveis de entrada, ou seja, $\min(x_1, x_2, \dots, x_n)$ (AZEVEDO et al, 2000).

Diversos outros operadores podem ser utilizados, como o *Produto algébrico* e *Produto Limitado* (para a intersecção) e a *Soma Algébrica* e *Soma Limitada* (União).

9.3 Defuzzificação

Após a etapa de avaliação das regras em um sistema difuso, tem-se como saída um subconjunto difuso.

É no processo de defuzzificação que vai se avaliar se as ações propostas pelas saídas do sistema (podem ser mais de uma para o mesmo problema) possuem coerência. A defuzzificação toma as funções de pertinência para achar o grau de pertinência da saída; este é usado nas equações difusas para calcular a região resultante.

A etapa da defuzzificação é responsável pelo processo de decisão dos sistemas baseados em conjuntos difusos. Neste passo, tem-se um conjunto de alternativas Y e um subconjunto difuso F sobre Y , indicando o grau com que cada alternativa satisfaz os critérios de decisão.

De acordo com KASABOV (1996), os métodos de defuzzificação mais usados são:

1. Centro de Gravidade: obtém o centro geométrico y' de uma variável de saída y no universo V . É definido pela fórmula

$$y' = \frac{\sum \mu_B(v) \cdot v}{\sum \mu_B(v)}$$

2. Média dos Máximos : definido pelos valores y' de uma variável y os quais têm o maior grau de pertinência de acordo com a função de pertinência B' ; se mais de um valor possui grau máximo, é feita a média destes.

9.4 Projeto de um Sistema Especialista Difuso

Ainda que toda a base matemática empregada na teoria dos conjuntos difusos tenha um poder de representação muito mais expressivo que a matemática utilizada nos conjuntos tradicionais, a usabilidade do sistema irá depender da capacidade do analista em definir as funções de pertinência para todos os contextos do domínio do sistema (KLIR, 1995). Assim, todo um cuidadoso trabalho de modelagem deve ser feito, de modo a justificar o desenvolvimento de um SE difuso.

As seguintes fases são fundamentais para a modelagem de um Sistema Especialista Difuso (KASABOV, 1996)

1. Identificar o problema e escolher o tipo de sistema difuso que melhor se adapta às características.
2. Definição das entradas e saídas, seus valores difusos associados e suas funções de pertinência.
3. Definir a base de conhecimento do sistema.
4. Escolher os métodos de inferência, fuzzificação e defuzzificação.
5. Desenvolvimento de um protótipo do sistema: esboço das variáveis de entrada e saída, alterando funções de pertinência e regras, refinamentos do sistema e validação dos resultados.

A etapa mais intrincada do projeto de sistema difuso é, sem dúvida, a fase de projeto de definição de regras e funções de pertinência. As principais metodologias empregadas segundo KASABOV (1996) são:

1. Entrevista com um especialista. Frequentemente mais usada, permite que se defina o formato das funções de pertinência, as variáveis difusas, o intervalo de domínio dos conjuntos e regras diretamente com a fonte do conhecimento. Esta abordagem pode tornar-se ineficiente quando o especialista humano não está familiarizado com a lógica difusa ou quando o engenheiro de conhecimento não está familiarizado com o domínio do problema.

2. Uso de imaginação e intuição do projetista do sistema, que irá definir o comportamento do sistema real através de linguagem natural e técnica. Irá requerer que o projetista esteja muito bem preparado com o sistema real para que possa definir seu comportamento. Ainda assim, será necessário ajustes que somente um especialista do domínio teria condições de fornecer.
3. Uso de métodos de aprendizado de máquina, redes neurais e algoritmos genéticos para inferir regras difusas e funções de pertinência dos dados obtidos.

9.5 Algumas Ferramentas de Auxílio à Prototipação de Sistemas Difusos

Com o objetivo de avaliar a usabilidade da teoria dos conjuntos difusos, sem que para isto fosse necessário o dispêndio de tempo e esforço partindo para uma implementação específica inicial, algumas ferramentas de auxílio ao desenvolvimento de sistemas difusos foram pesquisadas e utilizadas durante as primeiras etapas da pesquisa.

Assim, os parâmetros necessários para o sistema puderam ter um ajuste inicial, a visualização dos conjuntos pôde ser realizada, algumas regras puderam ser definidas, abstraindo a apresentação final do SE implementado posteriormente. Esta etapa teve importância na verificação da adequação da Teoria dos Conjuntos Difusos para o problema da análise dos fatores de internação em crianças queimadas.

Uma restrição encontrada no uso destas ferramentas é a interface, ou seja, da parte responsável do sistema pela comunicação entre a base de conhecimento e o motor de inferência com o usuário final. A representação do problema através destas ferramentas Shell não é muito clara, principalmente se for levado em consideração sua apresentação àqueles sem um maior domínio em sistemas difusos. Por este motivo, ao se propor o sistema ao especialista utilizando-se destas ferramentas é exigida muita interação entre o engenheiro de conhecimento e o especialista no domínio.

As ferramentas pesquisadas foram:

- Unfuzzy - Ambiente de simulação de sistemas difusos, desenvolvido na Universidad de Colombia. Permite a geração de código fonte em C e C++. Sua interface é bastante amigável, possibilitando a construção de protótipos de sistemas complexos. Possui a facilidade de gerar automaticamente as regras do sistema, baseado nos conjuntos difusos definidos pelo usuário (DUARTE, 1998).
- Fuzzy Clips - Constitui-se em uma ferramenta *shell* de auxílio ao desenvolvimento de sistemas especialistas difusos. Permite que se trabalhe com termos difusos e *crisp* (MATOS, 2001).
- MatLab – possui um módulo difuso (Toolbox fuzzy), onde se pode desenvolver sistemas fuzzy (MATOS, 2001).

CAPÍTULO X - DOMÍNIO DA APLICAÇÃO

Para se construir um sistema como o proposto por esta pesquisa, é necessário um conhecimento básico a respeito de alguns aspectos médicos, tais como a anatomia e fisiologia da pele, queimaduras (agentes causadores, classificação, avaliação da queimadura), por exemplo.

Este capítulo, fortemente baseado em LEONARDI (2002), traz alguns conceitos dos itens elencados acima, objetivando uma maior familiaridade com os aspectos clínicos do tratamento de queimados. Obviamente, para a implementação de um sistema com a responsabilidade proposta por esta pesquisa, a supervisão de um especialista no domínio é obrigatória.

10.1 Anatomia e Fisiologia da Pele

A pele constitui-se em órgão do tecido tegumentar, compreendendo, além do tecido de revestimento, as mucosas, unhas e pêlos. Entre suas funções específicas e vitais, destacam-se: proteção, imunidade, homeostasia, regulação térmica, neurosensibilidade e metabolismo. Ao se observá-la de uma perspectiva vertical, a pele pode ser subdividida em três camadas distintas: a epiderme (superficial, cuja espessura varia de 0.05 mm em áreas como as pálpebras até 1mm na região plantar) a derme, pelo menos 10 vezes mais espessa que a epiderme e a hipoderme.

A temperatura média da pele situa-se entre 32° e 36° C, sendo um pouco inferior nos dedos dos pés. A área de superfície que a mesma reveste tem, em média, de 0.2 a 0.3 m² no recém nascido, e no adulto, vai de 1.5 a 2.0 m². A espessura média da pele é de 1 a 2mm, sendo muito fina nas crianças, tornando-se mais espessa até os 40 anos, sendo que após passa a ficar mais delgada (LEONARDI 2002).

A *epiderme* é a camada mais superficial do corpo. É composta de células epiteliais (queratinócitos), células basais, melanócitos (responsáveis pela cor da pele) e células de Langerhans (defesa imunológica) (LEONARDI, 2002).

Em contato com o meio externo, a epiderme suporta uma série de agressões deste, tais como choques, queimaduras e contato com substâncias nocivas. Por este motivo, sofre processos de renovação completa em ciclos de 28 dias, a partir das células basais ou germinativas (LEONARDI, 2002).

As características principais da epiderme são a força, flexibilidade, elasticidade e resistência. Como apresenta superfície seca, desfavorece o crescimento de microorganismos (LEONARDI, 2002).

Em seguida à epiderme, encontra-se a *derme*, que pode ser subdividida em duas regiões: a derme papilar e a reticular.

A *derme papilar* encontra-se imediatamente abaixo da epiderme. É uma camada fina, constituída de fibras de colágeno, fibras elásticas delicadas e abundante substância fundamental.

A *derme reticular* prolonga-se desde a base da derme papilar alcançando a camada de gordura. É composta de fibras elásticas rudes e feixes de colágeno espessos, arranjados principalmente de forma paralela à superfície da pele. Possui vasos sanguíneos e linfáticos, terminações nervosas e nervos. As estruturas originadas na epiderme (folículos sebáceos, pilosos e glândulas sudoríparas estão localizadas na derme) (LEONARDI, 2002).

A derme também é responsável pelas funções de defesa contra os agentes nocivos que tenham ultrapassado a proteção da epiderme.

A porção mais profunda da pele é chamada de *hipoderme* ou . tecido celular subcutâneo (LIMA, 2002). Sua composição básica é de feixes de tecido conjuntivo,

envolvendo os adipócitos (células gordurosas) e formam lobos de gordura. Protege o corpo contra traumas físicos, e ainda serve de depósito calórico (LEONARDI, 2002)..

É da derme que serão originados as unhas, pêlos, glândulas sudoríparas e glândulas sebáceas. Tais estruturas são conhecidas como *anexos cutâneos* (LIMA, 2002).

Um esquema de corte na pele é mostrado na Figura 10.1.

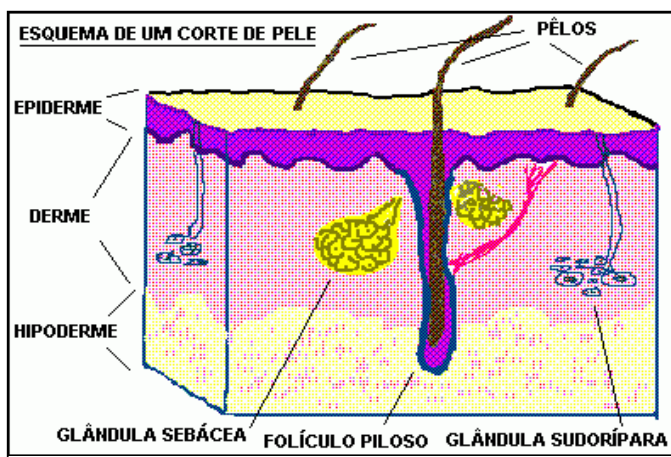


Figura 10.1 – Divisão da pele em epiderme, derme e hipoderme (LIMA, 2002).

10.2 Queimadura

Queimadura pode ser entendida como toda lesão causada por agentes (térmicos, radioativos, elétricos ou químicos), que atuam nos tecidos de revestimento, podendo causar destruição total ou parcial da pele e seus anexos, inclusive atingindo camadas mais profundas, como os tecidos subcutâneos, tendões e ossos. É uma das mais graves categorias de trauma, não só pelo risco de morte que representa, mas também por estar associada a seqüelas físicas e psicológicas e importantes repercussões no metabolismo.

Em relação à idade, a maior gravidade da queimadura ocorre nas crianças. Nelas, a superfície corporal em relação ao peso é cerca de três vezes maior do que nos adultos.

Além disto, a pele é mais fina e sujeita a lesões profundas e maior perda de calor e água. Complementando, a menor reserva pulmonar das crianças e um sistema imunológico imaturo (portanto mais susceptível a infecções) fazem com que a queimadura tenha um impacto fisiológico maior nos pediátricos do que nos adultos (PEREIMA, CAPELA et al, 2001).

10.3 Agentes Causadores de Queimaduras

Os principais agentes causadores de queimaduras são classificados em dois grandes grupos: os agentes físicos e os agentes químicos.

Os agentes **físicos** são os responsáveis pelo maior índice de queimaduras. Estes podem ser, segundo GOMES (1997):

- Térmicos : frio, calor, líquidos inflamáveis, sólidos, líquidos e gases aquecidos,
- Elétricos : caracterizadas por atingir camadas profundas do revestimento corporal, cujas lesões tendem a evoluir nos primeiros dias.
- Radiantes : queimaduras solares são as mais frequentes, geralmente atingem a extensão de quase a totalidade da superfície do corpo.

Os agentes **químicos** causadores de queimaduras usualmente são os ácidos (sulfúrico ou nítrico) e álcalis (soda cáustica ou amônia anidra). Uma particularidade destes agentes é que a lesão continua a evoluir após o acidente, ainda que tenham sido feita as devidas assepsias (GOMES, 1997).

10.4 Fisiopatologia da Queimadura

O grau de lesão imposto a uma célula é derivado da associação de dois fatores: a temperatura e o tempo de exposição à fonte de calor.

Segundo MORITZ & HENRIQUES (1947, *apud* LEONARDI, 2002), pioneiros nos estudos da relação intensidade e tempo de exposição à fonte de calor, a temperatura mais baixa que pode causar danos irreversíveis aos tecidos é de 44 ° C, em um tempo de exposição aproximado de 6 horas. Esta afirmação é baseada em experimentos feitos em pele de porco, a qual possui características semelhantes à pele humana. Temperaturas acima de 44° C geram um aumento de destruição tecidual que cresce exponencialmente com o aumento de temperatura. A taxa de destruição celular em temperaturas entre 44° C e 51° C dobra a cada incremento de 1 ° C, e o tempo necessário para produção de lesão reduz-se na proporção de 0.5 por grau elevado. Acima de 51 ° C, o tempo de exposição necessário para destruição epidérmica é muito curto.

10.5 Incidências

A faixa etária mais atingida é a de crianças de até 5 anos, que estão na fase das “descobertas”. O baixo nível sócio-econômico e a falta de cuidado dos pais e responsáveis são fatores que mais colaboram com o grande número de acidentes nesta idade.

No Brasil ocorrem cerca de 1.000.000 casos de queimaduras por ano, sendo que deste número, apenas 100.000 buscam atendimento hospitalar, e 2.500 vem a falecer direta ou indiretamente de suas lesões. Do total de acidentes com queimaduras, dois terços irão acontecer com crianças e adolescentes (DINO et al, 2001).

Em uma análise de 573 crianças queimadas internadas no Hospital Infantil Joana de Gusmão, em Florianópolis (PEREIMA et al, 2001), encontra-se uma interessante análise de acidentes envolvendo queimaduras, observando-se incidência de agentes queimadores, distribuição por sexo e faixa etária. Alguns gráficos resumindo estas informações estão mostrados nas figuras 10.2, 10.3 e 10.4:

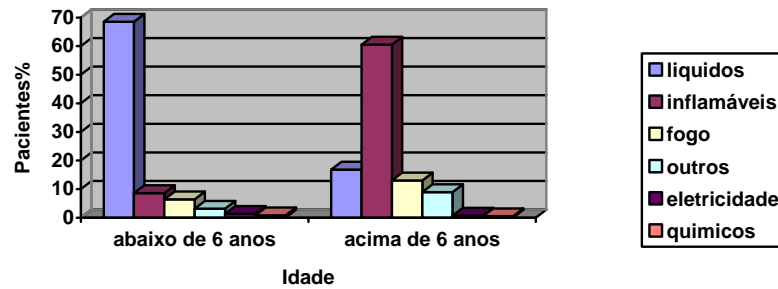


Figura 10.2 – Distribuição segundo o agente da queimadura e a idade em anos (Fonte: SAME do HIJG) (PEREIMA et al, 2001).

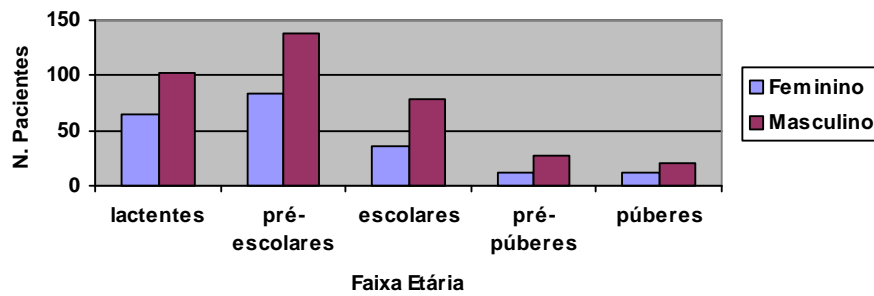


Figura 10.3 – Distribuição, segundo a faixa etária e o sexo (Fonte: SAME do HIJG) (PEREIMA et al, 2001)

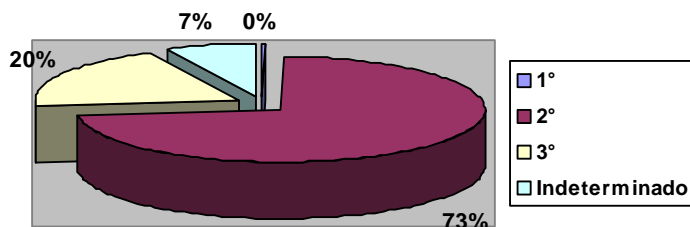


Figura 10.4 – Distribuição segundo o grau da queimadura (Fonte: SAME do HIJG) (PEREIMA et al, 2001)

10.6 Diagnóstico

O diagnóstico do grau de uma queimadura é caracterizado muitas vezes pela incerteza, requerendo um conhecimento profundo do especialista na área. Em casos

onde não há como precisar exatamente o nível de comprometimento dos tecidos em relação a espessura, opta-se pela internação do paciente. Assim, pode-se realizar um acompanhamento da lesão antes do diagnóstico definitivo. Nestes casos, o verdadeiro alcance da queimadura não pode ser precisado nos primeiros dias (PEREIMA et al, 2001).

Até recentemente, para as queimaduras adotava-se um critério de classificação de acordo com a profundidade da destruição dos tecidos. Tais lesões eram categorizadas em diferentes graus: *queimaduras de primeiro grau, segundo grau (superficial e profunda), terceiro grau e quarto grau*.

As queimaduras de *primeiro grau* caracterizam-se pela destruição da epiderme, sendo, portanto, superficiais. Existe dor local, sem formação de bolhas, e vermelhidão. Ocorrem mais comumente pelo efeito da exposição ao sol. Em havendo descamação epitelial, ocorre uma epitelização completa, no período de 7 dias. Não deixa cicatrizes na área atingida (LEONARDI, 2002).

Queimaduras de *segundo grau* atingem porções da derme, além da epiderme. São ditas *superficiais* quando há comprometimento somente das porções superiores das papilas dérmicas, apresentando coloração róseo-avermelhada (COUTO, 2002). As terminações nervosas sobrevivem e ficam expostas, por isto são dolorosas. Úmidas, apresentam formação de bolhas. Os elementos epiteliais sobreviventes das porções profundas dos folículos pilosos, glândulas sudoríparas e sebáceas são os responsáveis pelo processo de epitelização, que termina em duas semanas, restando cicatrizes mínimas. Ocorrem principalmente devido à exposição prolongada à radiação, escaldamentos ou contato breve com superfícies aquecidas (LEONARDI, 2002).

Quanto a queimaduras de *segundo grau profundas*, estas caracterizam-se pela destruição de grande parte da derme, com poucos elementos epiteliais sobreviventes. A sensibilidade é alterada, devido a destruição das terminações nervosas. Quanto a aparência, possuem coloração céreo-esbranquiçada e aspecto mosqueado, a umidade pode estar ausente e raramente ocorre a presença de bolhas. Devido a profundidade e

quase ausência de elementos epidérmicos, a epitelização é incerta, levando semanas para ocorrer, e resultando num “epitélio fino instável, não funcional, com cicatrização hipertrófica e formação de contratura” (LEONARDI, 2002).

Queimaduras de *terceiro grau* destroem toda a espessura da pele e do tecido cutâneo subjacente, sem que haja possibilidade de regeneração espontânea dos tecidos, salvo quando em pequenas lesões (estas cicatrizam-se por contração e epitelização a partir de dos tecidos adjacentes à lesão). Possuem um aspecto esbranquiçado, vermelho cereja ou escuro, podendo apresentar bolhas profundas. A ocorrência de vasos sanguíneos coagulados pode ser visualizada. Há perda de elasticidade da derme, onde a área lesada apresenta uma textura seca e dura, semelhante à do couro. Ocorrem devido à exposição de radiação de alta densidade, fogo direto, substância química, eletricidade ou exposição prolongada a uma fonte de calor.

Queimaduras de *quarto grau* caracterizam-se por danos muito profundos, atingindo músculos, tendões, nervos e ossos. Geralmente, é necessário a amputação da área atingida.

A grande lacuna da identificação clássica das queimaduras de acordo com os “graus” de profundidade é a não distinção entre as queimaduras que exigirão ou não intervenção cirúrgica para realizar enxertias. Segundo ZAWACKI E WALKER, (1970, apud LEONARDI, 2002), pouco significado representam os termos “segundo grau” e “terceiro grau”, pois é necessário identificar principalmente as lesões capazes ou não de se recuperar naturalmente.

Uma classificação mais moderna para se avaliar a queimadura, em relação a sua profundidade, observa a capacidade de epitelização dos tecidos após a lesão. Assim, distingui-se queimaduras de *espessura parcial* e de *espessura total* (PEREIRA, CAPELLA et al, 2002).

As queimaduras de *espessura parcial* são subdivididas em duas categorias: *superficiais* e *profundas*. Embora o nível de comprometimento destas seja diferente, a

característica relevante ao tratamento é a capacidade de regeneração natural do tecido, a partir dos elementos epiteliais preservados (LEONARDI, 2002).

As queimaduras de *espessura indefinida* situam-se entre as de espessura parcial e total, representando uma área de incerteza diagnóstica. Neste caso, opta-se pela internação do paciente, uma vez que estas podem vir a evoluir para uma queimadura de espessura total.

Nas queimaduras de *espessura total*, ocorre completa destruição da pele e seus anexos epiteliais, impossibilitando a regeneração dos tecidos. Neste caso, é necessário a realização de enxertos (LEONARDI, 2002).

Até recentemente, a terapia aplicada às vítimas de queimaduras consistia-se da assepsia das feridas, seguida de aplicação de algum antimicrobiano tópico. Feito isto, acompanhava-se a evolução do quadro clínico, podendo as lesões cicatrizarem espontaneamente ou receber enxertos de pele.

Nas terapias mais modernas, grande importância é dada em relação ao nível de profundidade da queimadura, uma vez que este irá indicar o tratamento a ser aplicado ao paciente. Deve ser feita a remoção do tecido residual que não apresenta condições de regeneração espontânea, realizando após cirurgias de enxerto de pele. Para isto, é fundamental que se possa identificar as lesões que irão se epitelizar (LEONARDI, 2002).

10.7 Avaliação da Profundidade das Queimaduras

Uma avaliação errônea da profundidade da queimadura implica em uma terapia inadequada, com conseqüências danosas. Em casos de queimaduras que cobrem grande parte da superfície do corpo, a decisão de retirar a pele das reduzidas áreas que não foram afetadas para se fazer enxerto deve estar muito bem fundamentada. Por outro

lado, a não intervenção cirúrgica quando esta se faz necessária é igualmente prejudicial e inaceitável.

As principais formas de avaliação da profundidade de uma queimadura são, segundo LEONARDI (2002):

- Avaliação clínica - A avaliação clínica é ainda o método diagnóstico mais utilizado, a despeito de toda a tecnologia disponibilizada para os procedimentos de saúde. O alto custo dos exames, as controvérsias nas interpretações dos resultados e a indisponibilidade de equipamentos específicos (que possuem valor elevado) contribuem para que esta metodologia seja ainda a mais difundida. Grande conhecimento e prática do especialista são exigidas, apresentando diagnósticos mais confiáveis notadamente quando se trata de queimaduras superficiais (com cicatrização em até duas semanas) ou muito profundas (carbonizadas).

Uma vez que ocorrem queimaduras dérmicas ditas superficiais, observa-se a coloração rosada, bolhas, umidade e a sensibilidade a dor. Tornam-se brancas sob pressão, retornando imediatamente a sua coloração original. A sensibilidade pode ser testada com a ponta de uma agulha. Queimaduras dérmicas profundas atingem a porção reticular, demandando um tempo de cicatrização de três semanas ou mais. De coloração esbranquiçada ou róseo mosqueadas, causam mais desconforto no paciente do que dor propriamente dita. Quando pressionadas, demoram a retornar a cor original, ou não retornam. A sensibilidade pode estar ausente ou diminuída.

As queimaduras de espessura total, quando caracterizadas pela carbonização, encontram-se em um aspecto de uma couraça, comprimidas em relação aos tecidos adjacentes e são insensíveis ao toque. Tais queimaduras podem apresentar-se sem carbonização, ocultando queimaduras dérmicas profundas.

Uma vez que as queimaduras de espessura parcial profunda e de espessura total apresentam muitos aspectos clínicos em comum, fica muito difícil para o perito emitir um diagnóstico correto a respeito da gravidade da lesão. A avaliação visual da profundidade é feita de forma bi-dimensional, e nem sempre a superfície do tecido consegue indicar o verdadeiro grau da queimadura.

- Corantes - Corantes (tais como Azul de Evans, Azul Patente V, Azul e Bromphenol, Trifenilmetano, Azul de Metileno e Tetraciclina), quando injetados na corrente sanguínea, distribuem-se rapidamente nas áreas lesionadas. Nas queimaduras de espessura parcial, cuja função capilar, apesar de alterada, ainda sobrevive, ocorre uma diferença de coloração. Em lesões de espessura total, a função capilar está destruída, não sendo observado a presença destas substâncias na região, salvo nos tecidos viáveis subjacentes à área necrótica.
- Doppler Laser - O uso do Doppler Laser para avaliar a circulação sanguínea na pele tem sido difundido desde 1947. Uma vez que este método analisa a velocidade das células sanguíneas, também está apto a captar a redução deste fluxo, característica que ocorre de acordo com o aumento da profundidade da queimadura.
- Termografia - Termografia é a medida de ondas infravermelhas de um corpo cuja temperatura está acima do zero absoluto. Uma câmara termográfica capta as ondas infravermelhas que um objeto reflete sobre um espelho, transformando-as em sinal elétrico, delineando o que pode ser entendido como um “mapa de calor”.

10.8 Avaliação da Extensão das Queimaduras

Para se considerar um paciente de acordo com a extensão da queimadura, deve-se observar a relação entre a área atingida pelo agente e a superfície total do corpo. De

acordo com esta relação, o Ministério da Saúde e o Sistema Único de Saúde (SUS), o paciente queimado pode ser classificado em três grupos:

- Leve ou pequeno queimado: queimaduras atingem menos de 10% da superfície corporal;
- Médio queimado: queimaduras atingem 10 a 20% da superfície corporal;
- Grave ou grande queimado: queimaduras atingem mais de 20% da área corporal do paciente.

Para determinar a extensão da área atingida, usa-se os métodos da *regra dos nove* (atribui-se a cada segmento do corpo o valor 9 ou um múltiplo deste), a *regra da palma da mão* (tomando-se a face palmar do paciente como sendo 1% do corpo, calcula-se a extensão atingida) ou o método de Lund e Browder (utiliza-se de uma tabela, que atribui a cada parte do corpo um percentual da área total, percentual este que varia de acordo com a idade) (PEREIMA, CAPELLA et al, 2002).

Ao se observar a extensão da superfície atingida para classificação da queimadura, deve-se levar em consideração as diferentes proporções dos corpos, fator este que varia significativamente em função da idade. Em pacientes pediátricos, a relação superfície do corpo/peso não segue um padrão linear, sendo que estes têm maior superfície do corpo em relação ao peso que adolescentes ou adultos. Nos recém nascidos, a área de superfície da pele corresponde de 0.2 a 0.3 m² em média, ao passo que nos adultos, atinge o intervalo de 1.5 a 2.0 m².

Uma representação das diferentes proporções das regiões do corpo, em relação a faixa etária, é mostrada na Figura 10.5.



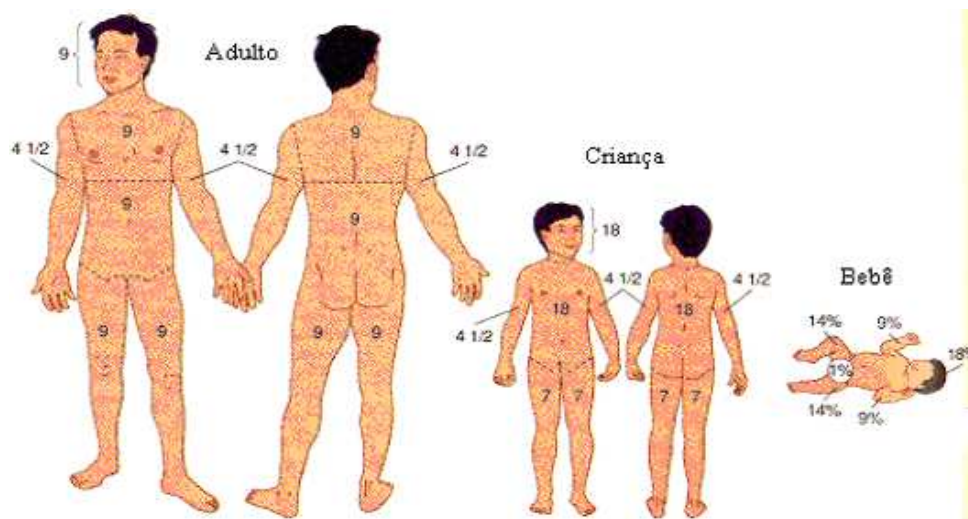


Figura 10.5 – Diferentes proporções das regiões do corpo humano em relação à superfície total, de acordo com a idade (COUTO, 2002)

Nota-se, na figura 10.5, que as proporções das regiões do corpo sofrem uma alteração de acordo com a variação da idade. Este dado é importante quando se deseja avaliar a Superfície Corporal Queimada em pacientes de diferentes faixas etárias.

10.9 Período Evolutivo

O período de evolução da lesão é um fator importante a ser considerado no tratamento das vítimas de queimaduras. São destacados dois períodos específicos:

- .Período inicial, de agressão ou agudo: compreendendo o espaço dos 7 primeiros dias desde o acidente.
- .Período tardio, de recuperação ou clínico: após o sétimo dia transcorrido do incidente térmico.

10.10 Critérios de Internação

Os principais fatores que devem ser observados para se decidir pela internação de uma vítima de queimaduras, de acordo com PEREIRA, CAPELLA et al (2002) são:

- Idade do paciente
- Extensão da queimadura
- Capacidade de epitelização dos tecidos (relacionada com a profundidade da lesão e os danos nos anexos cutâneos)
- Agente causador da lesão.
- Local do acidente

Numa primeira avaliação, o especialista médico irá optar pela internação do paciente caso este apresente quaisquer destas características isoladamente ou em conjunto:

- a) área atingida por queimaduras de espessura parcial cobrindo 20% da superfície total do corpo;
- b) ocorrência de queimaduras de espessura parcial profunda ou de espessura total;
- c) incerteza da real espessura da lesão (dificuldade de distinguir entre queimaduras de espessura parcial profunda e de espessura total);
- d) queimaduras localizadas em áreas que requerem cuidados especiais, como região genital, períneo, olhos, na face de modo a obstruir as vias respiratórias, mãos e pés;
- e) agentes causadores que continuam a danificar os tecidos, mesmo após a aplicação dos cuidados devidos. Tais agentes estão incluídos no grupo dos agentes químicos, óleos aquecidos, azeites, líquidos inflamáveis e eletricidade;
- f) suspeita de que maus tratos por parte dos pais ou responsáveis seja a causa dos ferimentos;
- g) idade do paciente inferior a um ano;
- h) desfavoráveis condições econômico-sociais dos pais, de modo a não ser possível o tratamento domiciliar;
- i) queimaduras por fogo;
- j) queimaduras que formam lesões com aspecto seco ou indolores.

10.11 Incertezas Associadas à Internação de Pacientes Vítimas de Queimaduras

A grande responsabilidade do especialista não se resume apenas a analisar se existe ou não a presença dos indicativos de internação no paciente. O processo de tomada de decisão deve levar em conta o fato de que, a despeito de o paciente não apresentar totalmente quaisquer dos quadros relevantes, ainda assim a opção pela internação deva ser considerada.

Uma vez que existem vários fatores indicativos de internação, deve-se considerar o *grau* com que cada fator se apresenta no paciente para construção da decisão final. Se for analisada somente a presença ou não das características pertinentes ao conjunto dos critérios de internação, corre-se o risco de desprezar as situações em que a união dos fatores indica uma decisão alternativa.

Por exemplo, supondo-se a superfície queimada representar apenas 15% da área do corpo (médio queimado), ocorrer apenas queimaduras de espessura parcial e a idade do paciente ser em torno de 25 meses. Neste caso, apesar de o paciente não pertencer completamente a nenhum dos quadros de risco, pode-se ainda haver a necessidade da internação, dada a combinação dos vários fatores envolvidos.

Dos critérios de internação considerados, a maior fonte de incerteza está associada à avaliação da capacidade de epitelização dos tecidos lesionados (LEONARDI, 2002). Uma vez que as queimaduras de espessura parcial profunda e de espessura total possuem características em comum (PEREIMA, CAPELLA et al, 2002), a emissão de um diagnóstico mais preciso somente poderá feita mediante acompanhamento da evolução da lesão. Em caso de dúvidas, o tratamento padrão dado consiste-se em considerar a lesão como de espessura parcial, porém indicando internação. Neste caso, não é realizado nenhum tratamento cirúrgico *a priori*, apenas tratamento clínico, com observação da evolução do quadro, aguardando a reepitelização por um período de até 2 semanas.

A característica da reepitelização dos tecidos atingidos pela queimadura não pôde ser representada adequadamente nesta pesquisa, uma vez que os dados fornecidos para a classificação da queimadura de acordo com sua profundidade não foram suficientes para sua modelagem difusa. Mesmo assim, esta variável é considerada nas regras, sendo que a avaliação é feita diretamente pelo especialista.

As queimaduras ocorridas por escaldamento, com aspecto úmido, dolorosas e róseas, em crianças maiores, dispensam internação, apresentando características de queimaduras de espessura parcial. Já no caso de queimaduras por agentes inflamáveis, óleos ou azeites, ou por fogo, com aspecto seco e indolor ou em crianças menores, sugerem espessura total, devendo, pois, ser recomendada a internação (LEONARDI, 2002).

A determinação da corporal atingida pela queimadura é de natureza imprecisa. Para que uma queimadura seja considerada de pequena extensão, ela deve atingir até 10% do corpo da vítima; média extensão está compreendida entre 11% e 25% e a partir daí, a queimadura é de grande extensão. O cálculo desta área, baseado em observações, suposições e auxílio de tabelas como a de Lund e Browder resulta em diagnósticos subjetivos e imprecisos.

A faixa etária considerada como maior risco em casos de acidentes envolvendo queimaduras é a dos lactentes (até 24 meses de vida). O grande problema está no fato deste limite não ser preciso, pois uma criança pode possuir características de lactente mesmo aos 26 meses de vida; igual raciocínio pode ser feito a crianças com 22 meses de vida, porém, já com sua estrutura corporal e epitelial mais desenvolvida.

10.12 Atendimento ao Paciente Vítima de Queimaduras

Uma vez que o paciente seja encaminhado à internação, o médico deve prescrever o tratamento, que varia em função das características apresentadas pelo paciente. É recomendado dieta específica, fisioterapia, higiene, hidratação, e aplicação

de medicamentos. Dependendo da gravidade das queimaduras, pode ser necessário fazer enxertos, cirurgias ou mutilação de membros.

O tratamento a ser aplicado a um paciente vítima de queimadura pode ser puramente clínico, ou seja, aplicação de medicamentos, reidratação e assepsia, ou requerer intervenção cirúrgica para enxerto dos tecidos incapazes de se regenerar (LEONARDI, 2002).

A espessura da lesão será fundamental na escolha do tratamento. Para queimaduras de espessura parcial, recomenda-se tratamento clínico (em casa ou no hospital); queimaduras de espessura total requerem tratamento cirúrgico no hospital. Quando a espessura é indeterminada, é indicado tratamento clínico e observação da evolução da lesão.

10.13 Critérios de Internação Adotados pelo Hospital Infantil Joana de Gusmão

O HIJG segue a indicação do Serviço Único de Saúde na indicação da conduta de internação de um paciente pediátrico vítima de queimaduras. Os queimados classificados como ambulatoriais não necessitam internação, os queimados hospitalares devem ser atendidos pela instituição.

Dependendo da principalmente da extensão da queimadura, mas considerando também a espessura desta e o local atingido, o Ministério da Saúde e o SUS classificam os pacientes em Pequeno, Médio e Grande Queimado. São considerados queimados hospitalares os médio e grande queimados, cujas características são descritas abaixo:

- Médio Queimado (código 38.052.14.8) – queimadura de espessura parcial atingindo entre 10 e 25% da superfície do corpo, espessura total até 10% do corpo ou queimaduras na mãos e pés.

- Grande Queimado (código 38.053.14.4) – queimaduras de espessura parcial acima de 26% da superfície do corpo, espessura total acima de 10%, queimaduras elétricas, queimaduras no períneo, queimaduras nas vias aéreas, presença de comorbidades.

Também são considerados pela equipe médica do Hospital Infantil Joana de Gusmão queimados hospitalares (necessitando, portanto, de internação) os pacientes cujo agente lesionante seja de ação retardada (químicos e elétricos), ou aqueles pacientes cujas condições sócio econômicas sejam desfavoráveis. Neste caso, incluem-se os filhos de pais com baixa instrução, dificuldade de locomoção até um centro hospitalar para aplicação de medicamentos, evidência de descuido ou maus tratos serem responsáveis diretos ou indiretos na lesão, incapacidade de aplicação dos cuidados recomendados em casa.

Os critérios de internação adotados pela equipe médica da ala dos queimados do Hospital Infantil Joana de Gusmão serviram de base para a elaboração das regras que irão compor o sistema proposto por este trabalho, sendo que o especialista do domínio do conhecimento forneceu os ajustes necessários para a formação da base de conhecimento do SE .

CAPÍTULO XI - MODELAGEM DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DOS FATORES DE INTERNAÇÃO DE PACIENTES PEDIÁTRICOS VÍTIMAS DE QUEIMADURAS

Esta pesquisa consiste na aplicação da teoria dos conjuntos difusos no desenvolvimento de um sistema especialista de avaliação dos critérios de internação de pacientes pediátricos vítimas de queimaduras. Nesta etapa do desenvolvimento, foi construído um protótipo do sistema, com uma interface de entrada de dados, que armazena as informações, calcula o percentual da área da superfície do corpo queimada e considera os fatores de determinação de internação (agentes das queimaduras, posição sócio-econômica, idade do paciente, extensão da queimadura, localização da queimadura e profundidade da lesão). Um conjunto de regras é avaliado e fornece como saída a classificação da lesão de acordo com a gravidade, representada pelos conjuntos difusos *Lesão Leve*, *Lesão Moderada* e *Lesão Grave*. O grau de pertinência da lesão a estes conjuntos é que irá indicar se deve ser aplicado o tratamento hospitalar (internação) ou ambulatorial.

Como forma de comparação entre o raciocínio difuso considerando as incertezas no raciocínio médico para decidir sobre a conduta de internação e o raciocínio abrupto considerado pelo Ministério da Saúde/ SUS, o sistema também avalia as regras *crisp*, classificando o paciente em *Pequeno Queimado*, *Médio Queimado* e *Grande Queimado*, sendo que o paciente que se enquadra nestes dois últimos critérios deverá ser conduzido à internação.

O protótipo do sistema foi desenvolvido no ambiente de programação Delphi 5.0. A escolha desta ferramenta foi motivada pelas facilidades que esta oferece na programação de sistemas, notadamente por sua característica de orientação a objetos.

Os dados são armazenados no formato de tabelas do PARADOX 7.0, porém, este sistema gerenciador apresenta falhas e fragilidades que não permitem sua recomendação em ambientes maiores como os hospitalares.

11.1 Aquisição do Conhecimento

A aquisição do conhecimento foi feita baseada em entrevistas com o médico especialista no domínio da aplicação, Dr. Maurício Pereima, chefe da Unidade de Queimados do Hospital Infantil Joana de Gusmão, juntamente com pesquisas bibliográficas..

Utilizando da vivência prática do especialista, pôde-se definir quais os fatores a considerar para a elaboração do sistema, quais as áreas onde há presença de incerteza (as quais constituem-se num dos objetivos específicos da pesquisa), quais as regras de manipulação do conhecimento e qual deve ser a saída do sistema para o usuário.

A presença em qualquer grau de alguns fatores agravantes (localização da queimadura em áreas de risco, inalação de fumaça, agentes queimadores de ação retardada, por exemplo) será indicativo de internação, independente do valor dos outros fatores.

11.2 Variáveis de Entrada do Sistema

Baseado em uma análise inicial do problema, feita em conjunto com o especialista, foram escolhidos, dentre os vários aspectos responsáveis pela decisão de internação, 6 características determinantes: *Extensão da Queimadura*, *Profundidade da Queimadura*, *Idade da vítima*, *Condições Sócio-Econômicas*, *Localização das Queimaduras e Agentes Causadores*.

11.2.1 Extensão da Queimadura

A extensão de uma queimadura representa a área da Superfície Corporal Queimada (SCQ) . De um modo geral, pacientes com até 10% do corpo queimado são considerados como queimados de pequena extensão; até 25%, média extensão, e acima

disto, de grande extensão. Esta classificação *crisp* é considerada para determinar a extensão, porém há grande incerteza para se determinar a real área da superfície atingida, o que vem a fazer com que o especialista inconscientemente trabalhe com os intervalos de imprecisão.

Ao se observar a extensão da superfície atingida para classificação da queimadura, deve-se levar em consideração as diferentes proporções dos corpos, fator este que varia significativamente em função da idade. Em pacientes pediátricos, a relação superfície do corpo/peso não segue um padrão linear, sendo que estes têm maior superfície do corpo em relação ao peso que adolescentes ou adultos. Nos recém nascidos, a área de superfície da pele corresponde de 0.2 a 0.3 m² em média, ao passo que nos adultos, atinge o intervalo de 1.5 a 2.0 m². Há, portanto, outra grande área de incerteza a considerar na avaliação do paciente, qual seja, as diferentes proporções entre a superfície do corpo em relação ao peso e a idade (LEONARDI, 2002).

A figura 11.1 ilustra a variável Extensão das Queimaduras:

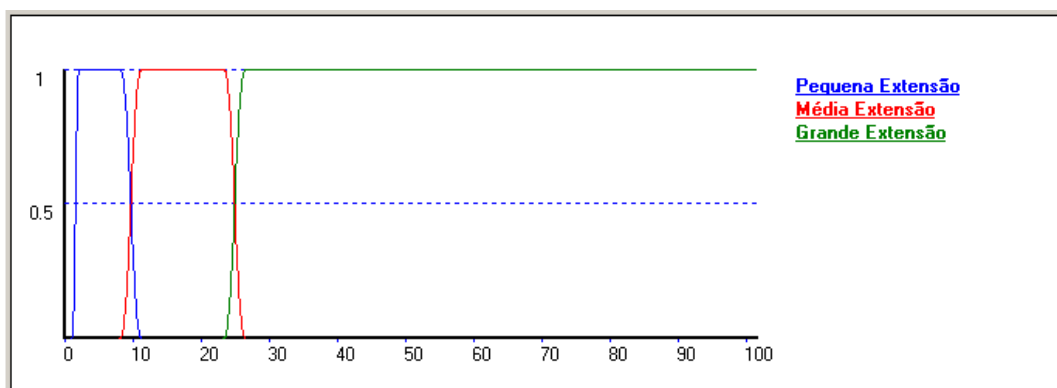


Figura 11.1 Conjunto variável *Extensão das Queimaduras*

A definição padrão dos intervalos dos conjuntos difusos Pequena Extensão, Média Extensão e Grande Extensão e de suas funções de pertinência fornecida pelo especialista no domínio está descrita na Tabela 11.1.

Tabela 11.1 – Definição da variável *extensão das queimaduras*

Valor Lingüístico	Função de Pertinência	Universo de Discurso
Pequena Extensão	PI – Campana	[1, 2, 8, 11]
Média Extensão	PI-Campana	[8, 11, 23, 26]
Grande Extensão	S	[23, 26]
Domínio da Variável (% da superfície do corpo atingida)		[0, 100]

11.2.2 Profundidade das Queimaduras

A classificação de uma queimadura, em relação a sua profundidade adotada para a elaboração do sistema leva em consideração a capacidade de regeneração dos tecidos lesionados. Assim, distingui-se queimaduras de *espessura parcial*, *indefinida* e de *espessura total*.

Dada a impossibilidade de se definir os intervalos dos conjuntos difusos referentes as queimaduras de Espessura Parcial, Indefinida e Total, uma vez que a análise clínica não pode fornecer uma visão da real profundidade da lesão, caberá ao especialista classificar a real profundidade da lesão. Não haverá incertezas nesta avaliação, sendo que o grau de pertinência de uma lesão será absoluto (0 ou 1).

11.2.3 Faixa Etária

A Faixa Etária do paciente é um fator a ser considerado ao se avaliar os fatores de internação.

Para efeito de observação dos fatores de internação dos pacientes pediátricos, no que se refere a faixa etária, é necessário dar importância a duas divisões: Lactentes e Crianças.

A representação inicial dos conjuntos difusos da variável lingüística *Faixa Etária* está esquematizada na Figura 11.2

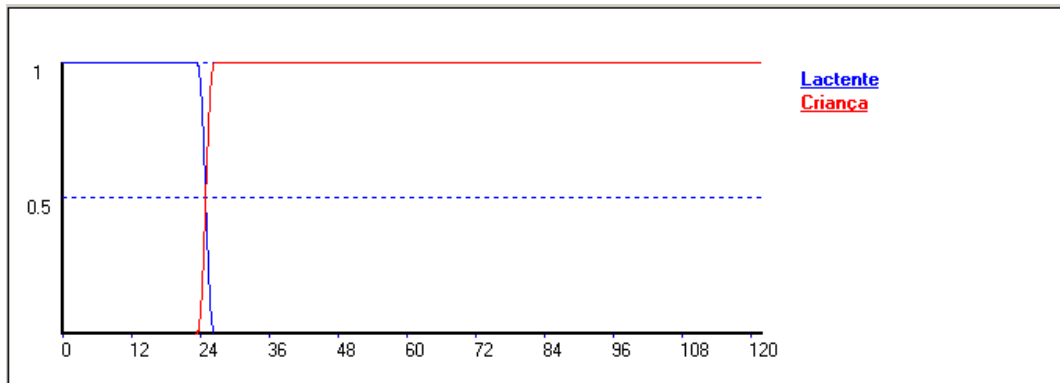


Figura 11.2 – Representação da variável lingüística *Faixa Etária*

A definição dos intervalos dos conjuntos difusos Lactente e Criança e suas funções de pertinência, fornecida pelo especialista no domínio, tem seus valores descritos na tabela 11.2.

Tabela 11.2 - Fuzzificação da variável *Faixa Etária*

Valor Lingüístico	Função de Pertinência	Universo de Discurso
Lactente	Z	[23, 26]
Criança	S	[23, 26]
Domínio da Variável (idade em meses)		[0, 196]

11.2.4 Localização das Queimaduras

As queimaduras que incidirem em locais considerados como área de risco deverão ser indicativo de internação, não importando grau de pertinência a conjuntos tampouco a extensão da superfície atingida. Assim, caso haja a presença destas lesões, elas serão consideradas como tendo grau de pertinência máximo (1).

Os locais considerados como áreas de risco, bem como sua influência na caracterização da lesão (avaliação difusa) ou classificação do paciente (avaliação crisp) são representados na tabela 11.3

Tabela 11.3 – Representação das áreas de risco e sua influência na classificação da lesão e do paciente

Área	Característica da Lesão	Classificação do Paciente
Mãos	Lesão Moderada	Médio Queimado
Pés	Lesão Moderada	Médio Queimado
Períneo	Lesão Grave	Grande Queimado
Genitais	Lesão Grave	Grande Queimado
Face (Vias Aéreas)	Lesão Grave	Grande Queimado

11.2.5 Fatores Absolutos Indicativos de Internação

Além da gravidade da lesão de acordo com a localização da queimadura, existem outros valores absolutos que representam indicativo de internação, não importando seu grau de pertinência a quaisquer conjuntos. Assim, a presença destes fatores será considerada como tendo grau de pertinência máximo (1).

Os fatores absolutos, indicativos de internação, bem como sua influência na caracterização da lesão (avaliação difusa) ou classificação do paciente (avaliação crisp) são representados na tabela 11.4.

Tabela 11.4 – Fatores absolutos de internação e sua influência na classificação da lesão e do paciente

Área	Característica da Lesão	Classificação do Paciente
Condições Sócio-Econômicas Desfavoráveis	Lesão Moderada	Médio Queimado
Queimaduras Eletricidade	Lesão Grave	Grande Queimado
Inalação de Fumaça	Lesão Grave	Grande Queimado
Presença de Comorbidades	Lesão Grave	Grande Queimado

11.3 Classificação das Variáveis de Saída

Com base na avaliação das regras da base de conhecimento, o sistema diagnosticará a lesão, de acordo com a gravidade da mesma, em *Lesão Leve*, *Lesão Moderada* e *Lesão Grave*. O grau de pertinência a estes conjuntos irá determinar a conduta de internação (*Internação Necessária* ou *Tratamento Ambulatorial*).

Uma vez que a gravidade da lesão é uma variável difusa, é de se esperar que existam diferentes graus de pertinência aos conjuntos. Além disto, um paciente pode apresentar características de Lesão Leve, Lesão Moderada e Lesão Grave ao mesmo tempo.

O sistema permite que o especialista estabeleça significância maior ou menor para cada um dos conjuntos da variável *Classificação da Lesão*, determinando, assim, como será recomendada a conduta de internação.

A conduta de internação é emitida multiplicando-se o grau de pertinência de cada conjunto da variável *Classificação da Lesão* pelo seu respectivo “peso” definido pelo especialista. Este valor será considerado na variável de saída *Escore de Internação*, cujos valores difusos podem ser *Tratamento Ambulatorial* ou *Internação Necessária*.

11.3.1 Classificação da Lesão

A lesão pode ser classificada pelo sistema de acordo com sua gravidade. O intervalo de discurso da variável constitui-se em uma heurística sem um mapeamento direto algum domínio concreto. O especialista no domínio é que define este intervalo, para tornar mais clara a sua avaliação.

A representação dos conjuntos difusos da variável lingüística *Classificação da Lesão* está esquematizada na Figura 11.3 :

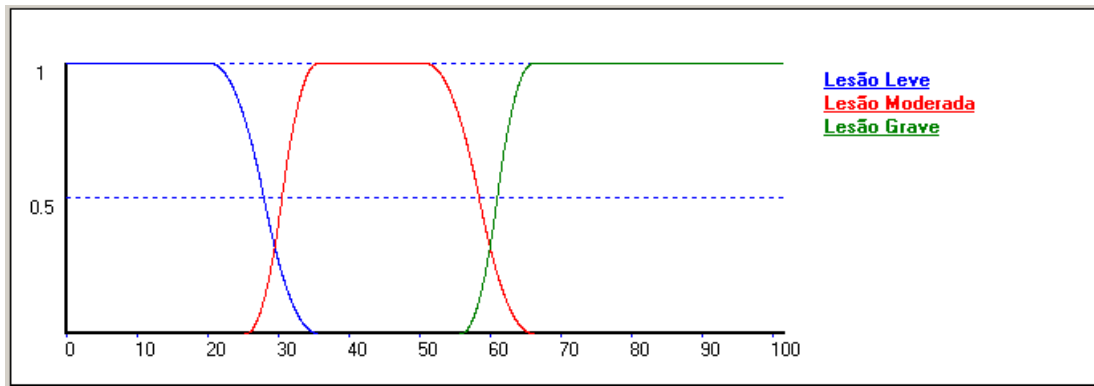


Figura 11.3 – Representação da variável linguística *Classificação da Lesão*

A definição dos intervalos variável difusa *Classificação da Lesão* é mostrada na tabela 11.5 a seguir:

Tabela 11.5 – Definição da variável *Classificação da Lesão*

Valor Linguístico	Função de Pertinência	Universo de Discurso
Lesão Leve	Z	[29, 35]
Lesão Moderada	PI – Campana	[27, 35, 61, 65]
Lesão Grave	S	[59, 65]
Domínio da Variável		[0, 100]

11.3.2 Escore de Internação

O Escore de Internação, definido pelo especialista do domínio, é uma variável difusa que pode assumir os seguintes valores: *Tratamento Ambulatorial* ou *Internação Necessária*.

Para se chegar ao indicativo de internação ou não, é necessário que seja avaliado o grau de pertinência da lesão em cada um dos conjuntos que a definem (Leve, Moderada ou Grave), aplicar a heurística dos pesos de cada um destes conjuntos,

obtendo a conduta de internação através do grau de pertinência deste valor aos conjuntos *Tratamento Ambulatorial* e *Internação Necessária*.

. O intervalo de discurso da variável não possui um mapeamento direto algum domínio concreto, apenas é definido para facilitar a avaliação.

A representação dos conjuntos difusos da variável lingüística *Escore de Internação* está esquematizada na Figura 11.4 a seguir:

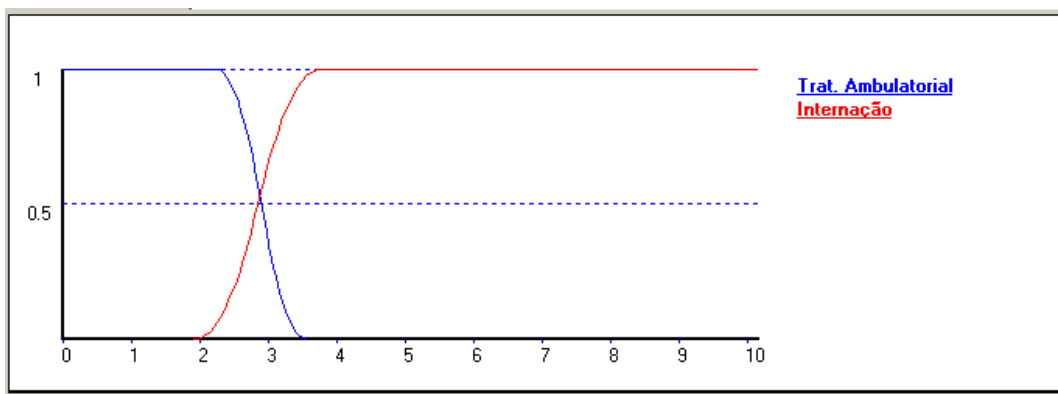


Figura 11.4 – Representação da variável lingüística *Escore de Internação*

A definição dos intervalos variável difusa *Classificação da Lesão* é mostrada na 11.6 .

Tabela 11.6 – Definição da variável *Escore de Internação*

Valor Lingüístico	Função de Pertinência	Universo de Discurso
Tratamento Ambulatorial	Z	[1.8, 2.3]
Internação Necessária	S	[1.5, 2.4]
Domínio da Variável		[0, 10]

11.4 Regras do Sistema

Uma vez definidas as variáveis difusas e os conjuntos do sistema, baseado nos fatores e relevâncias observados na avaliação de um paciente pediátrico, este conhecimento foi representado em 27 regras do tipo SE <condição> ENTÃO <ação> .

A base de regras contém regras difusas (cujos valores das premissas e das conclusões podem ter diferentes graus de pertinência) e regras absolutas, onde o grau das premissas e das conclusões somente será ou máximo (1) ou mínimo (0).

As regras difusas foram montadas conforme as condições mostradas na tabela 11.7; as regras absolutas foram montadas conforme as condições mostradas na tabela 11.8.

Tabela 11.7 –Regras Difusas do Sistema

SE	E	E	ENTÃO
Faixa Etária	Extensão	Espessura	Lesão
Lactente	Pequena Extensão	Parcial	Moderada
		Indefinida	Moderada
		Total	Grave
	Média Extensão	Parcial	Moderada
		Indefinida	Moderada
		Total	Grave
	Grande Extensão	Parcial	Grave
		Indefinida	Grave
		Espessura Total	Grave
Criança	Pequena Extensão	Parcial	Leve
		Indefinida	Moderada
		Total	Moderada
	Média Extensão	Parcial	Leve
		Indefinida	Moderada
		Total	Grave
	Grande Extensão	Parcial	Moderada
		Indefinida	Grave
		Total	Grave

Tabela 11.8 –Regras Absolutas do Sistema

Premissa	Lesão
Agente Lesão é Eletricidade	Grave

Presença Comorbidades	Grave
Queimaduras nas Mãos	Moderada
Queimaduras nos Pés	Moderada
Queimaduras de Face	Grave
Inalação de Fumaça	Grave
Fatores Econômico-Sociais Desfavoráveis	Grave
Queimaduras de Períneo	Moderada
Queimaduras nos Genitais	Moderada

CAPÍTULO XII - ANÁLISE DE SISTEMAS

Para o desenvolvimento de qualquer sistema de informação, deve-se passar por uma etapa de análise e definição de todo o processo a ser informatizado.

Embora não seja um costume arraigado na cultura dos desenvolvedores de sistema, a produtividade do programador é incrementada e o tempo dispensado ao desenvolvimento do código fonte torna-se menor quando é dada a devida atenção à análise e ao projeto antes de se partir para a implementação de fato.

Apesar de os princípios de desenvolvimento de sistemas fugirem aos objetivos desta pesquisa, existem alguns aspectos gerais que são de interesse a todos os envolvidos com desenvolvimento de programas, não importando o ambiente ou rotinas que serão automatizadas. Destacam-se neste conjunto a capacidade de adaptação do sistema a novas circunstâncias, o dispêndio de recursos nas atividades de manutenção, o conceito de subsistemas e o crescimento do sistema a partir de sua instalação, quando novas funções passam a ser desejadas (YOURDON, 1992).

Os analistas de sistema sempre irão se defrontar com dificuldades em todos os tipos de projeto em que estiverem envolvidos: a compreensão do domínio do problema, a comunicação necessária para extrair o conhecimento do domínio do problema, a evolução contínua do sistema e a reutilização de código e análise já realizados (COAD, 1992).

12.1 Metodologias de Análise de Sistemas

Analisar um sistema significa extrair suas principais “necessidades” antes de qualquer ação, ou seja, ignorando como será sua implementação posterior .

Os principais enfoques de análise utilizados são, segundo COAD, (1992):

- Decomposição Funcional – Consiste em selecionar passos e subpassos antecipados para a elaboração do sistema, reconhecendo antecipadamente as funções e subfunções que serão implementadas. A deficiência desta análise é que a compreensão do domínio do problema não é explicitada nem verificada a fundo, restando aspectos sutis do problema por descobrir.
- Enfoque de Fluxo de Dados – freqüentemente descrito como “análise estruturada”, permite que o analista mapeie o problema do mundo real utilizando bolhas, fluxos de dados e relacionamentos. O sistema é modelado em vários níveis, iniciado por uma bolha única que será decomposta funcionalmente em outras bolhas, e assim sucessivamente. Os fluxos de dados são especificados em cada nível, e estruturas de dicionários de dados são geradas para armazenar informações sobre os dados do sistema.
- Orientação a Objetos – utiliza conceitos mais aproximados dos captados naturalmente pelo ser humano ao longo de sua vida: objetos e atributos, todo e partes, classes e membros, por exemplo. Nesta abordagem, o domínio e as responsabilidades do sistema são analisados, e descritos por objetos contidos no mundo real. O elemento fundamental *objeto* combina as estruturas e o comportamento destas em uma única entidade (SANTOS, 2001).

Devido aos princípios para a administração da complexidade pertinentes à análise orientada a objetos, tais como a Abstração, Encapsulamento, Herança, Associação, Comunicação por Mensagens e da própria estrutura dos objetos (COAD & YOURDON, 1992), esta abordagem foi considerada mais adequada ao desenvolvimento do sistema. A facilidade de reutilização de código que este paradigma proporciona, o poder de se definir os objetos pelos seus atributos e métodos diretamente a partir de sua representação no mundo real e a própria cultura de desenvolvimento para o ambiente operacional (no caso, a plataforma Windows) facilitaram as atividades de desenvolvimento .

A escolha de uma linguagem e ambiente de programação que proporcionam o desenvolvimento seguindo os paradigmas da Orientação a Objetos constituiu-se em um dos aspectos considerados na elaboração do projeto. Para tal, foi escolhido o ambiente de programação Borland Delphi 5.0, que fornece uma linguagem de programação clara e intuitiva, facilidades de criação de novas classes de componentes, além de uma série de componentes gráficos e de bancos de dados pré-implementados, que podem também ser derivados em novas classes de objetos.

12.2 Principais Classes de Objetos Desenvolvidas para o SAFI - CQ

A tabela 12.1 apresenta a descrição das principais classes, métodos e atributos definidos. As classes possuem, além dos métodos e atributos explicitados na tabela, outros que se fizeram necessários para a etapa implementação, mas não foram vislumbrados anteriormente por não contribuírem com o conhecimento do domínio do problema.

Estas classes de objetos foram desenvolvidas de modo a permitir que o código fonte seja reutilizado nos trabalhos futuros que forem desenvolvidos a partir desta pesquisa.

Tabela 12.1 Descrição das principais classes, métodos e atributos utilizados no sistema

Classe	Descrição	Métodos	Atributos
TFunçãoFuzzy	Esta classe implementa as funções de pertinência dos conjuntos difusos nas formas PI, S, Z, L, GAMA, Trapezoidal e triangular, calculando os graus de adequação dos valores Crisp. Também faz a representação gráfica dos conjuntos	.desenha .desenhaTrapezoidal .desenhaTriangular .desenha_S .desenha_Z .desenha_PI .desenha_L .desenha_GAMA .calcula_grau_s .calcula_funcao_S .calcula_grau_Z .calcula_funcao_Z .calcula_funcao_PI .calcula_funcao_L .calcula_funcao_GAMA .calcula_funcao_Trapezoidal	.Nome .funcao .imagem .Variavel .Pontos
TConjuntoFuzzy	Classe que representa os conjuntos difusos do sistema	.IntervaloAlphaCut .GetGrauDePertinencia .Pertence	.Nome .funcaoFuzzy .pontos .Base .ValorLinguistico .AlphaCut
TVariavelFuzzy	Representa as variáveis difusas do sistema, agrupando vetores de objetos TConjuntoFuzzy	.AdicionaConjunto .RetiraConjunto .DesenhaConjuntos	.Nome .UniversoDeDiscurso .ConjuntosDifusos
TOperacoes	Operações entre conjuntos difusos	.DesenhaVetorFuzzy-Resultante .VerificaInterseccao .PegaIntervaloComum.	.VetorFuzzyResultante
TImplicacoes	Implicações Difusas pelo método dos Mínimos e do Produto		.Minimo .Produto
TDifusor	Difusores Centro de gravidade e média dos máximos		.CentroDegravidade .MediaDosMaximos
TtNormas	Implementa as funções TNormas	.AddConjunto .RetiraConjunto .Interseccao .ProdutoAlgebrico	.Operações .Conjuntos .AlphaCut

(continua)

(continuação)

Classe	Descrição	Métodos	Atributos
TtCoNormas	Implementa as funções TCoNormas	.AddConjunto .RetiraConjunto .UniaoMaximo	.Operações .Conjuntos .AlphaCut
TImageGraphFuzzy	Imagem que apresenta o eixo das ordenadas e das abcissas, onde serão desenhados os gráficos dos conjuntos difusos	.LimpaImagem .EscreveLegenda	.MargemGrafico .CoordenadasIniciais .CoordenadasFinais .CoordenadasLegenda .faixaApresentacao .Active .MaxValorX .MinValorX .razao .Titulo
tPremissa	Objetos premissas que irão ser agrupados e formar as regras		.Nome .Condicao .GrauPertinencia .Ativa
TCondicao	Objetos que comporão as premissas, contendo o texto e a expressão lógica das premissas		.ExpressaoLogica .Texto .GrauPErtinencia
tRegras	Regras do Sistema que serão avaliadas para cada instanciação diferente do paciente	.AddPremissas .MaximoDosMinimos .GrauMinimoPremissas	.ItemsPremissas .Conclusoes .VetorAtivas .VetorTexto .VetorgrauPremissas .Count
TQueimadura	Classe que contém as características da lesão do paciente	.ProporcaoParcial .ProporcaoTotal .ProporcaoIndefinida .IncrementaParcial .IncrementaIndefinida .IncrementaTotal .DecrementaParcial .DecrementaIndefinida .DecrementaTotal .GuardaEstadoAtual .EstadoAlterado .SetnParciais .SetnIndefinidas .SetnTotais	.nCelulas .nParciais .nIndefinidas. nTotais

CAPÍTULO XIII - CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO SAFI - CQ

Os Sistemas Especialistas em geral devem não somente ter um comportamento semelhante ao de um especialista no domínio da aplicação, como também permitir que novos conhecimentos sejam inseridos e que sua base de conhecimento seja refinada. Isto vem a garantir a atualização do sistema e a adaptação aos conhecimentos de outros especialistas no assunto.

O SAFI – CQ compõe-se de dois módulos separados: o módulo de entrada de dados e avaliação dos critérios de internação e o módulo de atualização de conhecimento e reconfiguração dos parâmetros do sistema. Esta divisão em módulos distintos mostrou-se conveniente por permitir o uso do sistema a usuários especialistas (aos quais é consentida a alteração do comportamento esperado) e a profissionais de saúde não especialistas (somente obtém as respostas do sistema, sem poder alterar os parâmetros da base de conhecimento).

13.1 Módulo de Entrada de Dados / Avaliação das Regras

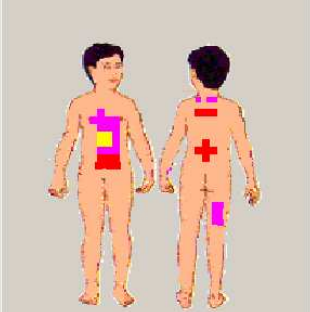
Ao se inserir os dados do paciente, o sistema apresenta uma imagem de uma criança nos planos dorsal e ventral, onde serão coloridas pelo usuário as áreas correspondentes às queimaduras existentes, com cores distintas de acordo com a espessura da lesão. Além disto, permite que se indique quais foram os agentes agressores e os fatores agravantes. O percentual da Superfície Corporal Queimada, discriminado por regiões específicas e pelo total do corpo, de acordo com a espessura da queimadura é apresentado interativamente na forma de uma tabela

A interface de entrada de dados do sistema apresenta-se como na figura 13.1 .

SACrIn-QI Sistema de Avaliação dos Critérios de Internação em Queimados Infantis

Caio Rolando da Rocha

Pacientes | Áreas Atingidas | Avaliação



Agentes Agressores

Líquidos Aquecidos

- Água
- Café
- Óleo
- Azeite
- Leite
- Alimentos

Líquidos Inflamáveis

- Alcool
- Gasolina
- Querosene
- Gás
- Tiner

Agentes Diversos

- Fricção
- Fogo
- Solar
- Vapor
- Outros

Substâncias Químicas

- Alcalis
- Ácidos
- Compostos Orgânicos

Agravantes

- Queimaduras por Eletricidade
- Inalação de Fumaça
- Econômico-Sociais

Observações

Nada a declarar por enquanto

Distribuição das Queimaduras

Local/Espessura	Parcial	Indefinida	Total
Coxa Direita	0	13,1147	0
Torax	5,97014	19,4029	4,47761
Dorso	0	3,75	10
Abdomem	0	0	17,3913

Características

- . Espessura Total
- . Coloração Branca
- . Presença de bolhas
- . Muita Umidade

Recém Nascido | Criança

Local/Espessura	Parcial	Indefinida	Total
Superfície Corporal	0,47675	2,86054	1,78784

Windows Taskbar: Start, Unknown Artist, TI Final - Microsoft Word, Project2, 21:42

Figura 13.1 SAFI-CQ – Interface de coleta de dados.

Dependendo das características da lesão (informadas pelo médico, tais como umidade da pele, sensibilidade à dor, sensibilidade à agulha, restauração do preenchimento capilar e coloração da pele), será sugerido a classificação da queimadura de acordo com a espessura em *total*, *indefinida* ou *parcial*. É esta classificação que irá determinar a cor da área a ser preenchida, e os percentuais de queimaduras (parciais, ou seja, de cada região do corpo, e total). Importante ressaltar que, dada a dificuldade de definição da real espessura de uma lesão apenas por uma observação visual (notadamente nos “limites” das espessura de profundidade indefinida), não serão tratados critérios de incerteza, ficando, pois, a cargo do especialista esta classificação da lesão, que terá grau absoluto (1 ou 0).

O sistema irá apresentar, apenas em caráter ilustrativo, um valor esperado para a cicatrização⁵ da queimadura em cada região, baseado nas características observadas do paciente; porém, a definição da real espessura será fornecida pelo usuário, que pode ignorar esta informação ou valer-se dela para auxiliar o diagnóstico.

A representação da interface de classificação da queimadura é dada pela Figura 13.2 .

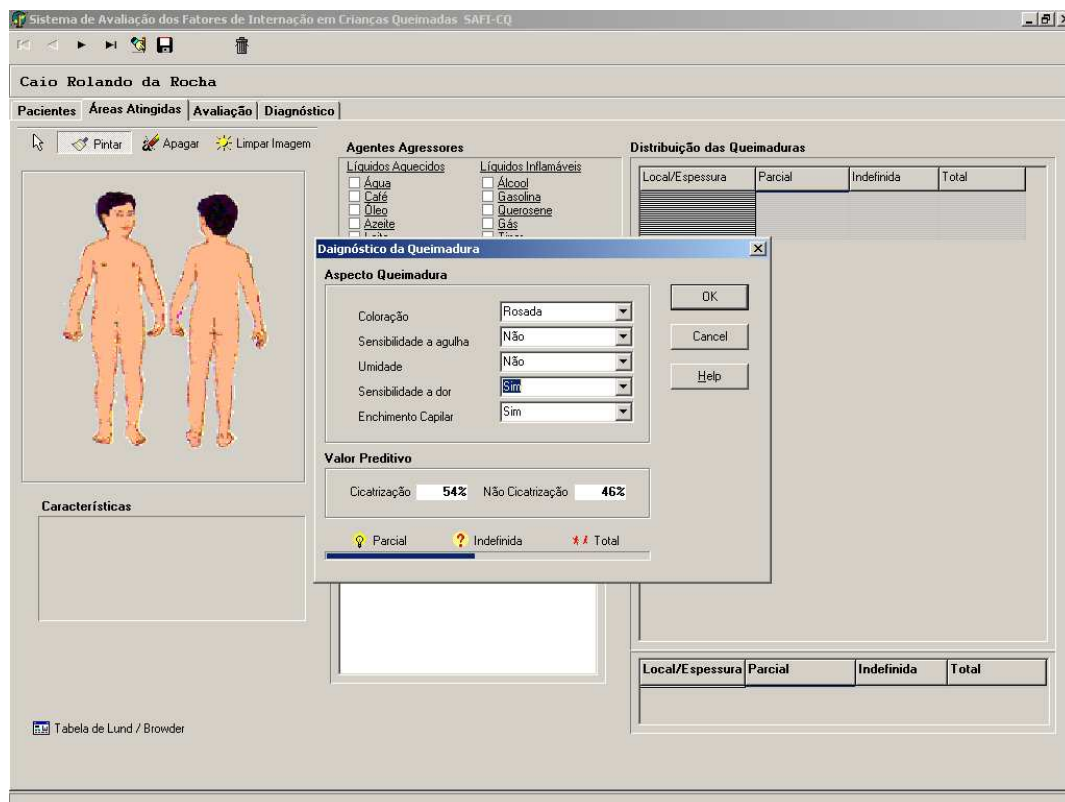


Figura 13.2 – SAFI-CQ – Determinação da classificação da espessura da lesão.

A avaliação das regras do sistema, que irá conduzir à sugestão da conduta de internação, é feita após o cadastramento dos dados do paciente. As regras que foram disparadas são mostradas, juntamente com o grau de pertinência de cada de suas premissas e conclusões, e um quadro contendo os conjuntos difusos da classificação da

⁵ Este valor preditivo é baseado em cálculos probabilísticos que fogem ao objetivo deste trabalho, porém foram extraídos da pesquisa médica de LEONARDI (2002).

lesão (em *Leve*, *Moderada* ou *Grave*) é disponibilizado ao usuário. A conclusão da conduta de internação é feita baseada nos graus de pertinência da classificação da lesão em seus conjuntos difusos e nos pesos atribuídos a cada um destes, levando o resultado deste cálculo à variável difusa *Escore de Internação*, onde será fornecido o grau de pertinência da conduta aos conjuntos *Tratamento Ambulatorial* e *Internação Necessária*.

Um exemplo de avaliação das regras no SAFI-CQ é mostrado na Figura 13.3 a seguir:

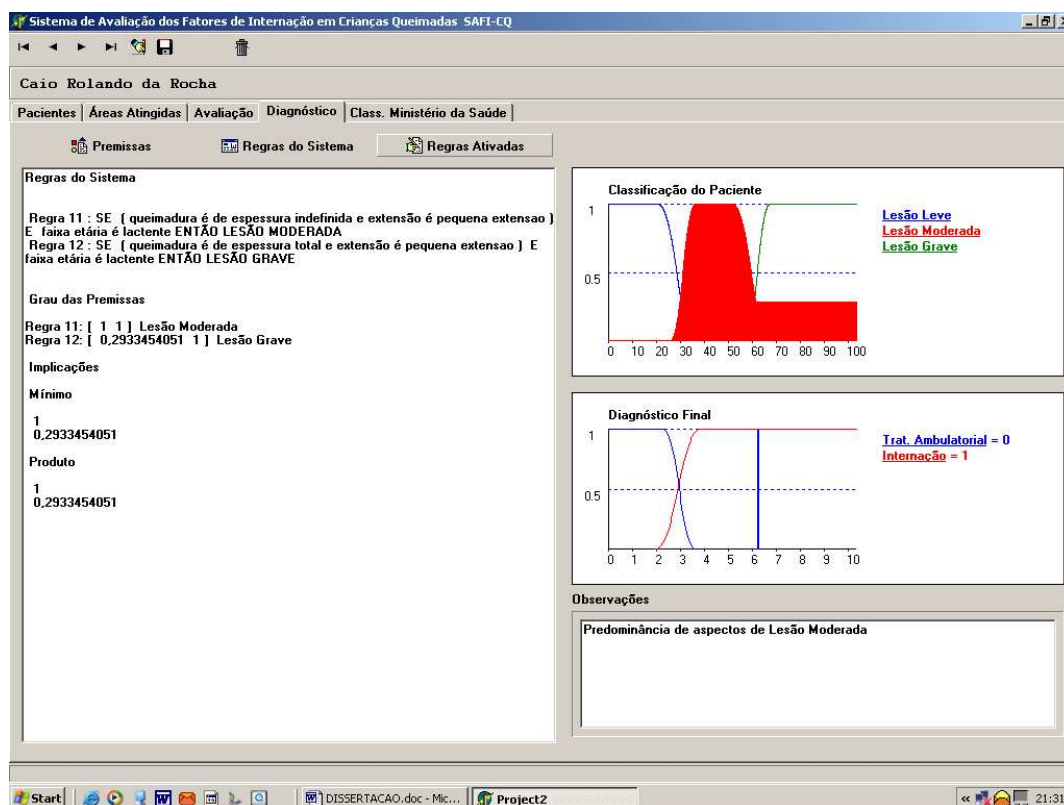


Figura 13.3 –SAFI-CQ –Avaliação da regras.

13.2 Módulo de Atualização / Ajuste dos Parâmetros do Sistema

No SAFI –CQ, vários parâmetros fornecidos pelo especialista do domínio podem ser alterados pelos usuários, de modo a observar diferentes comportamentos,

atualização de conhecimento ou adaptação a novas realidades. Pode-se inclusive criar várias configurações e armazená-las para usá-las alternadamente; porém, é fornecida uma configuração padrão (ajustada pelo especialista participante do projeto) que não permite alteração.

Os parâmetros das variáveis difusas do sistema que podem ser alterados estão descritos na Tabela 13.2 a seguir:

Tabela 13.2 – Variáveis difusas que podem ser alteradas no SAFI - CQ

Variável Difusa	Alterações Permitidas
Extensão da Queimadura	<ul style="list-style-type: none"> - Intervalos de Discurso dos Conjuntos <i>Pequena Extensão, Média Extensão, Grande Extensão</i> - Funções de Pertinência (PI-Campana, S, Z, Trapezoidal, Triangular, Gama, L) - Domínio da Variável - Parâmetros das Funções
Faixa Etária	<ul style="list-style-type: none"> - Intervalos de Discurso dos Conjuntos <i>Lactente, Criança</i> - Funções de Pertinência (PI-Campana, S, Z, Trapezoidal, Triangular, Gama, L) - Domínio da Variável - Parâmetros das Funções
Classificação da Lesão	<ul style="list-style-type: none"> - Intervalos de Discurso dos Conjuntos <i>Lesão Leve, Lesão Moderada, Lesão Grave</i> - Funções de Pertinência (PI-Campana, S, Z, Trapezoidal, Triangular, Gama, L) - Domínio da Variável - “Peso” dos Conjuntos <i>Lesão Leve, Lesão Moderada, Lesão Grave</i>, para determinação da conduta de internação - Parâmetros das Funções
Escore de Internação	<ul style="list-style-type: none"> - Intervalos de Discurso dos Conjuntos <i>Tratamento Ambulatorial, Internação Necessária</i> - Funções de Pertinência (PI-Campana, S, Z, Trapezoidal,

	Triangular, Gama, L) - Domínio da Variável - Parâmetros das Funções
--	--

O Sistema permite que sejam alteradas as operações de implicação (aplicadas na avaliação das premissas das regras) e as operações de composição (aplicadas nas conclusões das regras conforme indicado na Tabela 13.3 a seguir:

Tabela 13.3 – Operações de Implicação / Composição

Operação	Valores Assumidos
Implicação	Mínimo, Produto
Composição	Mínimo, Produto

A interface do módulo de atualização / ajuste dos parâmetros é mostrada na Figura 13.4.

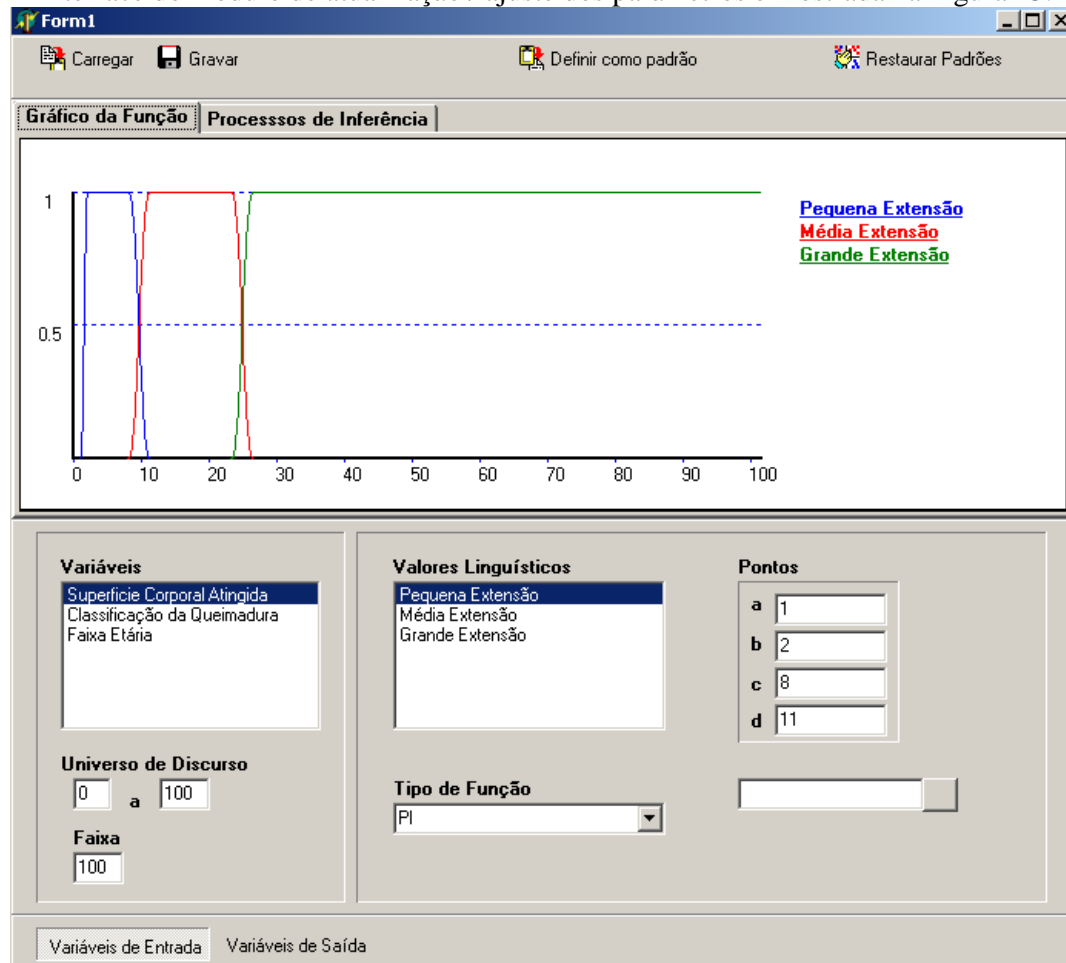


Figura 13.4 – Módulo de atualização de parâmetros

CAPÍTULO XIV - VALIDAÇÃO DO SISTEMA

A avaliação do desempenho de um Sistema Especialista pode ser vista como medida do grau de similaridade das respostas do SE com as do especialista do domínio. Assim, comparando a hipótese diagnóstica oferecida pelo sistema com o diagnóstico do especialista, consegue-se verificar se o comportamento deste está sendo emulado devidamente pelo software (NASSAR 2001).

Ao se fazer o confronto dos resultados obtidos em um Sistema Especialista que utiliza a abordagem de raciocínio difusa (com respostas associadas a graus de verdade), deve-se ressaltar ao especialista que os graus de pertinência não significam resultados de análises probabilísticas. Esta falta de clareza conceitual é fruto da tendência probabilística dos trabalhos de pesquisas na área médica, onde a maioria das análises envolve estudos de características em populações, contabilizando as ocorrências ou não dos aspectos envolvidos. Esta diferenciação deve ser explicitada nos sistemas de ajuda ao usuário (help on-line), evitando assim erros de interpretação.

Para que a avaliação seja feita de forma objetiva, é necessário que se disponha de um conjunto de casos do domínio da aplicação, submetendo estes casos ao especialista e ao sistema; comparando-se as respostas de ambos, obtêm-se a percentagem de acertos do sistema. A avaliação de desempenho é independente do paradigma adotado para o desenvolvimento do sistema (NASSAR, 2001). Adotando-se:

- uma taxa de erro de classificação do sistema igual a 10%
- erro amostral máximo igual a 5%
- nível de confiança de 95%

seria necessário uma amostra de pelo menos 138 casos para avaliação quantitativa do sistema. Ressalta-se aqui que esta avaliação não foi viável de ser realizada.

No entanto, foi possível realizar uma avaliação qualitativa como forma de analisar a abordagem de tratamento de incertezas da Lógica Difusa, utilizando-se casos clínicos fornecidos pelo especialista. Os parâmetros foram ajustados de modo a emitir a conduta esperada. Ressalta-se ainda que a capacidade do sistema aceitar modificação dos parâmetros dos conjuntos difusos foi considerada muito interessante para possibilitar a adequação a diferentes serviços e diferentes especialistas.

A avaliação qualitativa considerou os casos clínicos mostrados na Tabela 14.1. Destaca-se que o sistema oferece o grau de pertinência das diferentes condutas consideradas, deixando para o usuário a decisão do encaminhamento e, se necessário, a busca a outras informações para estabelecer a conduta final.

Tabela 14.1 – Casos utilizados na validação do sistema

Caso	Descrição	Conduta
1	Criança de 1 ano e 6 meses com queimaduras de 2º grau em ambas as pernas por líquidos aquecido. SCQ de 9%.	Ambulatorial = 0,09 Internação = 0,92
2	Criança de 1 ano e 6 meses com queimaduras de 2º grau em ambas as pernas por líquidos aquecido. SCQ de 9%, mas suspeita de maus tratos – queimadura intencional.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
3	Adolescente 12 anos com queimadura por álcool em cerca de 18% do tórax e dorso. Identifica-se áreas suspeitas de queimadura intermediária ou total em cerca de 9%.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
4	Adolescente 12 anos com queimadura por álcool em cerca de 18% do tórax e dorso. Identifica-se áreas suspeitas de queimadura intermediária ou total em cerca de 11%.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
5	Menina de 1 ano com queimadura na banheira. Atingiu 12% da SCQ em nádega e coxa. Lesões aparentemente de espessura parcial.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
6	Menina de 3 anos com queimadura na banheira.	Ambulatorial = 1

	Atingiu 12% da SCQ em nádega e coxa. Lesões aparentemente de espessura parcial.	Internação = 0
7	Menina de 3 anos com queimadura na banheira. Atingiu 12% da SCQ em nádega, períneo e coxa. Lesões aparentemente de espessura parcial.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
8	Queimadura espessura total por ferro de passar na barriga em cerca de 3% da SCQ em uma criança de 2 anos.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
9	Queimadura espessura total por ferro de passar na barriga em cerca de 8% da SCQ em uma criança de 2 anos.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
10	Queimadura por fogo em cerca de 16% de superfície corporal predominantemente espessura parcial em criança de 6 anos.	Ambulatorial = 0 Internação = 1
11	Queimadura espessura total por ferro de passar na barriga em cerca de 1,7% da SCQ em uma criança de 4 anos.	Ambulatorial = 0,84 Internação = 0,27

Uma avaliação quantitativa do protótipo confrontando a classificação do SAFI – CQ com a classificação de casos concretos de um hospital deveria levar em consideração uma amostra significativa de casos e atender todo o trâmite ético em pesquisas.

CAPÍTULO XV – CONCLUSÕES

As principais características identificadas na pesquisa para a decisão da internação de uma criança que sofreu acidente envolvendo queimaduras estão relacionadas com a superfície corporal atingida, a profundidade das lesões, faixa etária do paciente, local atingido, fatores econômico-sociais e os agentes causadores do trauma. Tais fatores são analisados para diagnosticar a gravidade da lesão como um todo no paciente, e a partir desta análise, é recomendada a conduta de internação apropriada (tratamento ambulatorial ou internação hospitalar).

Dos fatores acima elencados, há presença de incertezas por imprecisão quando se busca definir a real extensão da superfície atingida, estimar a profundidade da queimadura, definir a faixa etária do paciente, classificar a gravidade da lesão ao final e emitir a conduta de internação. A superfície atingida, a faixa etária, a gravidade da lesão e a conduta de internação foram representadas como variáveis difusas, e, juntamente com os outros fatores envolvidos, agrupadas em regras do tipo SE <condição> ENTÃO <ação> para formar a base de conhecimento do protótipo de Sistema Especialista para avaliação dos fatores de internação em crianças queimadas, denominado SAFI - CQ. A gravidade da lesão constitui-se em uma variável de saída, e a avaliação deste aspecto irá ser responsável pela indicação da conduta de internação adequada.

A modelagem computacional do protótipo foi feita seguindo as características da Lógica Difusa. Como abordagem de raciocínio para tratamento das incertezas por imprecisão presentes no domínio, a Teoria dos Conjuntos Difusos mostrou-se apropriada. A representação destas incertezas utilizando-se da suavidade na transição entre os limites de cada conceito envolvido obteve bons resultados ao simular os critérios práticos e subjetivos adotados pelo especialista.

Os limites de cada conjunto difuso e as incertezas do domínio da aplicação foram definidos pelo especialista, modelados computacionalmente, sendo após

implementados no protótipo do SAFI - CQ . O protótipo permite a alteração de todos os parâmetros relevantes da base de conhecimentos, assegurando a atualização de conhecimentos e evolução do sistema. Particularmente, a alteração dos pesos dos conjuntos difusos da variável de saída *Classificação da Lesão* é adequada para o caso em que novas contingências exijam adaptação do sistema (por exemplo, diminuição do número de leitos disponíveis), sem que seja preciso rever alterar a definição dos conjuntos de entrada.

Os testes realizados com as configurações fornecidas pelo especialista indicaram uma conduta condizente com a esperada, porém a presença de graus de pertinência nos resultados possíveis pode causar dificuldades de interpretação por usuários não familiarizados com conjuntos difusos. Isto ocorre porque não é usual aos especialistas trabalharem explicitamente com graus de pertinência nas suas conclusões, embora subjetivamente a análise seja feita diferentemente da forma absoluta ou abrupta da literatura médica.

O protótipo foi submetido à avaliação de médicos atuantes na área de tratamento de pacientes pediátricos queimados, com as configurações iniciais propostas pelo especialista no domínio, tendo respondido aos casos propostas com a conduta esperada.

A grande dificuldade encontrada no desenvolvimento do trabalho foi a extração do conhecimento pertencente ao especialista, fato este ressaltado em todas as literaturas de IA pesquisadas. Mais especificamente, as dificuldades por parte do especialista estavam relacionadas com o reconhecimento das incertezas por imprecisão, definição dos limites dos conjuntos difusos e a explicitação do conjunto de regras de acordo com a literatura médica e a sua práxis; quanto ao Engenheiro do Conhecimento, as atividades de familiarização com os termos da literatura médica e o direcionamento da pesquisa ao objetivo de modelar o raciocínio junto ao especialista requereram maiores atenções.

15.1 Trabalhos Futuros

As possibilidades de desenvolvimento de trabalhos futuros, tanto no aspecto computacional como médico, a partir do SAFI –CQ, explorando as incertezas do domínio são inúmeras. Dentre elas, pode-se destacar:

- Aperfeiçoamento do módulo para cálculo da Superfície Corporal Queimada, levando em consideração as diferentes faixas etárias, pesos e alturas dos pacientes, apresentando uma figura tridimensional proporcional ao paciente para coleta dos dados.
- Desenvolvimento de um módulo para indicação do tratamento do paciente, recomendando dosagem de medicamentos e fórmulas de hidratação, por exemplo.
- Desenvolvimento de um módulo para indicação da intervenção cirúrgica para enxertos de pele. Este módulo iria recomendar quantas cirurgias e quais as extensões de pele podem ser enxertadas em cada vez, nos caso mais críticos, onde houver comprometimento da respiração cutânea.
- Desenvolvimento de um módulo de aprendizado que permita que, ao ser submetido uma base de casos reais com a respectiva conduta do especialista, os parâmetros de configuração sejam calculados.

Além destes trabalhos que visam a evolução do protótipo e aumento de sua abrangência em um ambiente hospitalar de atendimento pediátrico, a avaliação quantitativa dos parâmetros padrão do sistema, utilizando-se de casos reais em diferentes unidades de atendimento de crianças queimadas constitui-se um importante trabalho de validação do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, F.M.; BRASIL, L.M E OLIVEIRA, R.C.L. **Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas**. Florianópolis: Visual Books, 2000.

BARRETO, J.M. **Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997

BLACK, M. **An exercise in logical analysis. Philosophy of Science.1937** Re-impreso em Int. J. General System 1990.

BRONZINO, J.D. **The Biomedical Engenering Hand Book**. USA: CRC PRESS, IEEE Press, 1995.

BRACARENSE, P.A. **Um Enfoque Segundo a Teoria de Conjuntos Difusos para a Meta-Análise** . Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, para obtenção do título de Doutorado em Engenharia de Produção.Florianópolis, 1999.

CHAIBEN, H. **Inteligência Artificial na Educação**. Universidade Federal do Paraná, 2002.(site visitado em 29/08/2002, disponível em <http://www.cce.ufpr.br/~hamilton/cce.shtml>).

COAD, Peter ; YOURDON, Edward. **Análise Baseada em Objetos**. Rio de Janeiro: Campus ,1992.

COIERA, E.W. **Inteligência Artificial na Medicina**. Revista Informática Médica, vl 1, n 4, Julho/Agosto de 1998. (site visitado em 20/09/2002, disponível em <http://www.epub.org.br/informaticamedica/n0104/coiera.htm>)

COIERA, E.W. **Artificial Intelligence in Medicine: Guide to Medical Informatics, The Internet and Telemedicine.** (site visitado em 20/09/2002, disponível em <http://www.coiera.com/aimd.htm>)

COUTO, J.L.V. **Primeiros Socorros: Queimaduras.** 2002 (site visitado em 10/06/2002, disponível em <http://www.ufrrj.br/institutos/it/de/acidentes/primsoc.htm>).

CUER, A. O. ; HIRIBARA, L. Y. **Sistemas Especialistas Aplicados à Medicina,** 1997. (site visitado em 17/09/2002 disponível em <http://din.uem.br/ia/especialistas/>).

DINO, R.G. ; SERRA, M.C; MACIEIRA, L. **Queimaduras no Brasil : Condutas atuais em Queimaduras.** Rio de Janeiro: Revinter; 2001.

DUARTE, O. **Sistema de Lógica Difusa – UNFUZZY I.I,** Universidad Nacional de Colombia, Colômbia; 1998.

FERNANDES, A.P.S. **Sistema Especialista Difuso de Apoio ao Aprendizado do Traumatismo Dento-Alveolar Utilizando Recursos Multimídia.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GOMES, D.B.; SERRA, M ; PELLON, M.A. **Tratamento de Queimaduras: Um Guia Prático.** Rio de Janeiro: Revinter, 1997.

HOWE, J. **Artificial Intelligence at Edinburgh University: a Perspective.**1994 . (site visitado em 02/09/2002, disponível em http://www.dai.ed.ac.uk/AI_at_Edinburgh_perspective.html)

JACKSON, P. **Introduction on Expert Systems.** Addison Wesley, 1991

KANDEL, A. **Fuzzy Mathematical Techniques With Applications.** USA: Addison Wesley, 1986.

KASABOV, Nikola K. **Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering**. 1996

KLIR, G ; YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications**. USA: Prentice Hall, 1995. ISBN: 0-13-101171-5

LIMA, R.B. **A Pele**. 2002 (site visitado em 23/07/2002, disponível em <http://www.dermatologia.net>)

LEONARDI, D.F. **Avaliação Histológica em Queimaduras e Profundidade Indeterminada, como Fator Preditivo do Tempo de Cicatrização**. Dissertação Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Medicina: Clínica Cirúrgica para a obtenção do título de Mestre. Fundação Faculdade Federal de Ciências Médicas de Porto Alegre, 2002 .

LUCENA, C. **Inteligência Artificial e Engenharia de Software**. Rio de Janeiro : PUC-RJ / IBM Brasil.1987

MAUS, R; KEYES, J. **Handbook of Expert Systems in Manufacturing**. USA: McGraw Hill, 1991.

MATOS, M.C. **Sistema Difuso de Controle da Assistência Respiratória em Neonatos**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MORITZ, A.R. ; HENRIQUES, F.C. **Studies of Thermal Injury: The Relative Importance of Tissue and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burn**. American Journal of Pathology, 1947.

NASSAR, S.M. **Tratamento de Incerteza: Sistemas Especialistas Probabilísticos**. Apostila da Disciplina de Sistemas Especialistas Probabilísticos. Curso de Pós

Graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PEREIRA, M., LEAL, M.; CAPELLA, M.; GOLDBERG, P.; ARAÚJO, E.; SOUZA, J.A. **Análise de 573 Crianças com Queimaduras Internadas no Hospital Infantil Joana de Gusmão**. Revista Brasileira de Queimaduras, Setembro/Dezembro de 2001.

PEREIRA, M.; CAPELLA, M.; GOLDBERG, P.; QUARESMA, E.; ARAÚJO, E.; SOUZA, J.A.; CAMACHO, J.G.; XAVIER, B; OLIVEIRA, ^a NETO, R.F. **Importância do Primeiro Atendimento em Queimaduras**. Março de 2001.

RABUSKE, R.A. **Inteligência Artificial**. Florianópolis; Editora da UFSC, 1995.

ROSS, T.J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. McGraw-Hill, USA, 1995. ISBN: 0-07-053917-0.

RUSSEL, S & NORVIG, P. **Artificial Intelligence – A Modern Approach**. New Jersey; Prentice-Hall, 1996.

SANTOS, José Gonçalo. **SETip – Sistema Especialista para Tipificar dados de uma Pesquisa: variáveis Qualitativas e Quantitativas**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós graduação em Ciências da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

WIDMAN, Lawrence . **Expert Systems in medicine**. University of Texas Health Science Center at San Antonio. 1995.

YAGER, R.R. **Essentials of Fuzzy Modeling and Control**. USA : Interscience,. 1994.

YOURDON, Edward. **Análise Estruturada Moderna**. Rio de Janeiro : Campus, 1992.

ZAWACKI, B.E. e WALKER, H.L. **An Evaluation of Patent Blue V, Bromphenol and Tetracycline for the Diagnosis of Burn Depth.** Plastic and Reconstructive Surgery, 1970.