

Elizabeth Maria Barbosa Maciel

*MODELO DE TRATAMENTO DE INCERTEZAS PARA UM
SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO PARA AUXILIAR O
ZOOLOGICO DE SÃO PAULO NO RECEBIMENTO DE ANIMAIS*

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia

São Paulo
2005

Elizabeth Maria Barbosa Maciel

*MODELO DE TRATAMENTO DE INCERTEZAS PARA UM
SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO PARA AUXILIAR O
ZOOLOGICO DE SÃO PAULO NO RECEBIMENTO DE ANIMAIS*

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:
Sistemas Digitais

Orientador:
Prof. Dr. Paulo Sérgio Cugnasca

São Paulo

2005

Maciel, Elizabeth Maria Barbosa.

Modelo de Tratamento de Incertezas para um Sistema Baseado em Conhecimento para Auxiliar o Zoológico de São Paulo no Recebimento de Animais. São Paulo, 2005.

108p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Incerteza; 2. Lógica Nebulosa; 3. Biologia. I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais. II. t

Dedico este trabalho à Minha Família e aos Meus Amigos,

AGRADECIMENTOS

- Ao meu Luis por não me perder e principalmente por cuidar de mim e me permitir cuidar dele.
- Ao Prof. Paulo Sérgio Cugnasca, meu orientador, pela paciência e dedicação;
- Agradecimento especial ao Dr. Alcides Pissinati, do CPRJ, que gentilmente cedeu os dados utilizados em meus artigos e que me indicou o Prof. Dr. José Luiz Catão Dias, Diretor Técnico-Científico da Fundação Parque Zoológico de São Paulo;
- Ao Prof. Dr. José Luiz Catão Dias, Diretor Técnico-Científico da Fundação Parque Zoológico de São Paulo, pela ajuda prestada nos contatos iniciais com o zôo e pelas contribuições no Exame de Qualificação;
- A todos os Técnicos da Fundação Parque Zoológico de São Paulo, pelo auxílio prestado através das entrevistas e dos dados cedidos;
- À Fundação Parque Zoológico de São Paulo, pelos dados utilizados neste trabalho;
- Ao Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, por essa oportunidade;
- Ao Prof. Marco Túlio Carvalho de Andrade, pelo incentivo através da cessão de livro e artigos e pelas sugestões no Exame de Qualificação;
- À Profa. Edith Ranzini, pela amizade e o apoio;
- À Profa. Maria Alice Grigas Varela Ferreira, pela amizade e o apoio;
- Ao Ricardo Caneloi dos Santos, pelo auxílio na manipulação das ferramentas de simulação, e ao Flávio Monteiro Rachel pelas preciosas sugestões.
- Ao Engenheiro Jamil Kalil Naufal Junior, pelas idéias iniciais.
- A Silvia e ao Prof. André, pelas caronas matutinas e vespertinas imprescindíveis na última semana.
- A Tonha, pela paciência com a bagunça, principalmente, nesses últimos meses.
- A Mariza, Leia, Edilaine, Tereza, Ana Maria, Lola pela amizade e o apoio.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO	VIII
“ABSTRACT”	IX
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo	2
1.3 A Computação na Biologia.....	2
1.4 Metodologia.....	4
1.5 Estrutura da Dissertação.....	4
2 TRATAMENTO DA INCERTEZA UTILIZANDO A LÓGICA NEBULOSA	6
2.1 Introdução	6
2.2 Tipos de Erros que Geram Incerteza	7
2.3 A Incerteza nas Informações Biológicas	9
2.4 Métodos de Tratamento da Incerteza	13
2.5 O Método Escolhido: Lógica Nebulosa	14
2.5.1 Conjuntos clássicos.....	17
2.5.1.1 Representação de conjuntos clássicos.....	17
2.5.1.2 Pertinência de um elemento a um conjunto clássico	18
2.5.1.3 Operações sobre conjuntos clássicos	18
2.5.2 Conjuntos nebulosos.....	19
2.5.2.1 Representação de conjuntos nebulosos	19
2.5.2.2 Pertinência de um elemento a um conjunto nebuloso	19
2.5.3 Operações sobre conjuntos nebulosos	20
2.5.3.1 Operações-padrão sobre conjuntos nebulosos.....	20
2.5.4 Variáveis lingüísticas.....	25
2.6 Considerações Finais do Capítulo	28
3 MODELAGEM NEBULOSA.....	29
3.1 Etapas Básicas da Construção de um Modelo Nebuloso	29
3.1.1 A estratégia de <i>fuzificação</i>	31
3.1.2 A base de conhecimento	32
3.1.3 A lógica de tomada de decisão	33
3.1.4 A estratégia de <i>defuzificação</i>	33
3.2 O Conhecimento.....	35

3.2.1	Definições.....	35
3.2.2	A aquisição do conhecimento.....	36
3.2.3	Técnicas para aquisição de conhecimento.....	37
3.2.4	A técnica de aquisição de conhecimento baseada em entrevistas.....	40
3.3	Alguns Exemplos de Modelos Nebulosos Aplicados à Biologia.....	41
3.4	Considerações Finais do Capítulo.....	43
4	MODELO NEBULOSO PARA O PROCESSO DE RECEBIMENTO DE ANIMAIS NO ZOOLOGICO DE SÃO PAULO.....	44
4.1	Introdução.....	44
4.2	O Processo de Recebimento de Animais do Zôo de São Paulo.....	45
4.3	O Processo de Aquisição de Conhecimento.....	46
4.3.1	Os procedimentos adotados para a aquisição de conhecimento.....	46
4.3.2	Construção do modelo.....	47
4.3.2.1	Os fatores que influenciam a recepção.....	47
4.3.2.2	A avaliação dos dados coletados pelo questionário.....	49
4.4	A Modelagem.....	50
4.4.1	Processo de <i>fuzificação</i>	50
4.4.2	Processo de defuzificação.....	53
4.4.3	Base de conhecimento (regras).....	55
4.4.4	Lógica de tomada de decisões.....	57
4.5	A ferramenta de simulação - <i>Matlab</i>.....	58
4.6	Considerações Finais do Capítulo.....	59
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	60
5.1	Introdução.....	60
5.2	Resposta do Modelo aos Casos Seleccionados para a Elaboração das Regras Nebulosas..	60
5.3	Resposta do Modelo a Todos os Casos.....	62
5.4	Resposta do Modelo aos Novos Casos Criados.....	64
5.5	Análise do Modelo.....	68
5.6	Considerações Finais do Capítulo.....	71
6	CONCLUSÕES.....	72
6.1	A Aplicação da Lógica Nebulosa na Modelagem do Processo de Recepção de Animais do Zoológico de São Paulo.....	72
6.2	Principais Contribuições do Trabalho.....	74
6.3	Perspectivas Futuras.....	74
6.4	Considerações Finais.....	75

ANEXOS.....	76
LISTA DE REFERÊNCIAS	102
OUTRAS REFERÊNCIAS CONSULTADAS	107

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos erros que geram incertezas.	7
Figura 2 - Detalhe de um <i>fertile phylloclades</i> (BSA Plant Images Online, 2004).	11
Figura 3 - Ninho de <i>Alauda arvensis</i> (skylark) com filhotes (Hlasek, Hlasek, 2004).	12
Figura 4 - Exemplar de <i>Apodemus flavicollis</i> (Bogon, 2003).....	12
Figura 5 - Representação clássica da aderência do macaco King Kong ao conjunto “Macacos Gordos”......	16
Figura 6 - Representação nebulosa da aderência do macaco <i>Barrigudinho</i> ao conjunto “Macacos Gordos”......	16
Figura 7 - Termos lingüísticos da variável lingüística “Peso”.....	21
Figura 8 - Exemplo ilustrativo da operação complemento-padrão (1).	22
Figura 9 - Exemplo ilustrativo da operação complemento-padrão (2).	22
Figura 10 - Exemplo ilustrativo da operação interseção-padrão sobre conjuntos nebulosos.	23
Figura 11 - Exemplo ilustrativo da operação união-padrão sobre conjuntos nebulosos.....	24
Figura 12 - Exemplificação dos componentes de uma variável lingüística.....	26
Figura 13 - Exemplos de funções de pertinência: “ <i>números reais que são próximos de 2</i> ”.	27
Figura 14 - Diagrama do Modelo Nebuloso.	31
Figura 15 - Exemplo do método de <i>defuzificação</i> “Critério dos Máximos”.	34
Figura 16 - Exemplo do método de <i>defuzificação</i> “Média dos Máximos.	34
Figura 17 - Exemplo do método de <i>defuzificação</i> “Centro de Área” ou “Centróide”.	35
Figura 18 - A predição da abundância do <i>rato de coleira amarela</i>	42
Figura 19 - Estrutura do Modelo Nebuloso da produção anual de <i>skylarks</i>	42
Figura 20 - Estrutura do modelo nebuloso para o recebimento de animais pelo Zoológico de São Paulo.....	51
Figura 21 - Análise da variável de entrada “Pesquisa”.	52
Figura 22 - Análise da variável de saída “Recepção”.....	53
Figura 23 - Exemplo de atribuições de valores de entradas para a elaboração de uma regra nebulosa.....	56
Figura 24 - Resposta do modelo a cada caso utilizado para a elaboração das regras nebulosas.....	61
Figura 25 - Histograma da resposta do modelo aos casos utilizados para a elaboração das regras nebulosas.	62
Figura 26 - Resposta do modelo a todos os casos fornecidos pelo zôo.	63
Figura 27 - Histograma da resposta do modelo a todos os casos fornecidos pelo zôo.	64
Figura 28 - Resposta do modelo aos 10 novos casos criados.....	65
Figura 29 - Histograma da resposta do modelo aos 10 novos casos criados.....	66
Figura 30 - Resposta do modelo aos 10 novos casos criados para o teste do sistema com as 2 novas regras.....	67
Figura 31 - Histograma da resposta do modelo aos 10 novos casos criados para o teste do sistema com as 2 novas regras.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Novos casos criados para testes do modelo.	65
---	-----------

RESUMO

Este trabalho de pesquisa consiste na elaboração de um modelo de tratamento de incertezas para um sistema baseado em conhecimento para auxiliar o Zoológico de São Paulo no processo de recebimento de animais. Para a elaboração do modelo, foi necessário o estabelecimento de um método formal de aquisição do conhecimento, baseado em entrevistas não-estruturadas, entrevistas estruturadas e acompanhamento de casos. O conhecimento do especialista foi modelado na forma de variáveis linguísticas e regras nebulosas. Casos reais foram utilizados para o teste do modelo, produzindo resultados satisfatórios. O trabalho apresenta, ainda, uma análise do modelo proposto, sugerindo melhorias, e propõe novas pesquisas correlatas.

“ABSTRACT”

This research work consists on the elaboration of a model to deal with uncertainty to be used in a knowledge-based system to assist the Zoo of São Paulo in the process of animals receiving. It was necessary the establishment of a formal method of knowledge acquisition for the model elaboration based on not-structuralized interviews, structuralized interviews and accompaniment of cases. The expert knowledge was modeled as linguistic parameters and fuzzy rules. The model was tested by the use of real data, yielding satisfactory results. The work still presents the proposed model analysis, recommending benefits and presents new related researches.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de parecer que só a partir dos anos 80 os biólogos começaram a utilizar o computador em seus trabalhos, desde o final dos anos 50 os biocientistas já utilizavam essa “nova” tecnologia. Muito antes dos geneticistas perceberem a existência dos computadores, os ecologistas já simulavam seus modelos usando o apoio dos computadores.

1.1 Motivação

O Zoológico de São Paulo não possui, atualmente, infra-estrutura para acolher a maior parte das doações de animais recebidas da população. Além disso, existem outros órgãos do governo municipal e estadual que têm como uma de suas principais funções o recebimento e o cuidado veterinário de animais silvestres doados (PMSP, 2003); (FCPFESP, 2003). Entretanto, há situações em que o Zoológico (também conhecido na forma abreviada como zôo) poderia aceitar alguns desses espécimes como, por exemplo, no caso de um animal pertencer a quaisquer dos grupos ameaçados de extinção estudados pelo zôo ou no caso da quantidade deste animal no zôo estar abaixo do número desejado.

Há uma grande carga de subjetividade nesta atividade de recepção de animais, intermediada por técnicos do zôo, pois existem várias exceções. Por exemplo, seja a seguinte situação: *“Se um cidadão estiver trazendo um animal peçonhento, que o zôo no momento não poderia receber, até por falta de espaço, o procedimento seria orientar o cidadão a levar esse animal para outra instituição. Entretanto, se o técnico do zôo perceber, pelas atitudes desse cidadão, que o animal pode ser abandonado em qualquer lugar, colocando em risco a vida de pessoas ou do próprio animal, neste caso o animal poderia ser aceito”*.

A criação de um modelo que dê subsídios para o projeto e implementação de um sistema baseado em conhecimento que auxilie os profissionais do zôo no controle da aceitação ou não de animais silvestres doados pela população será, provavelmente, de grande importância para a instituição. Dentro deste cenário, a aplicação de técnicas computacionais para a implementação de um sistema com tal funcionalidade apresenta grande relevância.

1.2 Objetivo

O objetivo desta dissertação é propor um modelo para tratamento de incertezas, utilizando como ferramenta a Teoria Nebulosa, que dê subsídios para o desenvolvimento de um sistema baseado no conhecimento para auxiliar o Zoológico de São Paulo no controle da população de animais, considerando em especial a questão da aceitação ou não de animais silvestres doados pela população. Esta pesquisa tem um caráter multidisciplinar, envolvendo dos vários campos da inteligência artificial, o campo do tratamento de incertezas utilizando a teoria nebulosa e, dos campos da biologia, a ecologia e a zoologia.

1.3 A Computação na Biologia

Desde o final da década de 50 os computadores vêm sendo utilizados no apoio à medicina e às ciências biológicas. A história do relacionamento das biociências com a computação começa em 1957, quando os pesquisadores Lipkin e Hardy registraram em um artigo a utilização de computadores em uma aplicação na medicina. Esta publicação descreve os métodos para o uso de um sistema baseado em cartão e agulha, um instrumento mecânico, no armazenamento e na classificação de dados médicos e de tomada de decisão em casos de diagnóstico de doenças hematológicas (SEISING, SCHUH, ADLASSNIG, 2003).

No ano seguinte, em 1958, Ricker publicou na *Fisheries Research Board of Canada Bulletin* um artigo cujo título era “*Handbook of computations for biological statistics of fish populations*” (PATTEN, 1971), demonstrando mais uma vez o potencial da aplicação da computação na área biológica.

As décadas de sessenta e setenta foram frutíferas em publicações utilizando a computação, tanto na biologia como na medicina. A maioria destas publicações se dedicava a utilizar os computadores analógicos e digitais em simulações ecológicas, no caso da biologia, e em simulações de controles metabólicos e diagnósticos médicos computadorizados, no caso da medicina (PATTEN, 1971).

Na área biológica, os ecologistas vêm utilizando computadores na simulação de modelos matemáticos que os auxiliam no entendimento de dinâmicas populacionais. Como exemplo de aplicação, o aumento ou a diminuição da população de predadores pode interferir na quantidade de indivíduos de uma dada espécie, enquanto a

disponibilidade de alimentos pode influenciar a reprodução de uma outra espécie. Vários outros exemplos podem ser encontrados na literatura (PATTEN, 1971).

Já na área médica, a informática vem sendo utilizada também para auxiliar no diagnóstico médico. Ledley publicou diversos trabalhos na área entre os anos de 1959 e 1965 (LEDLEY, LUSTED, 1959a); (LEDLEY, LUSTED, 1959b); (LEDLEY, 1960); (LEDLEY, 1965); (LEDLEY, LUSTED, 1962), no campo de diagnóstico médico. WOODBURY (1963) e WARDLE (1976) fizeram uma tentativa de se utilizar as regras de *Bayes* em várias abordagens para o diagnóstico médico computadorizado (SEISING, SCHUH, ADLASSNIG, 2003).

Outros exemplos podem ser encontrados onde os computadores eram utilizados para validar pesquisas envolvendo teoria de sistemas e biologia, regulação e controle de sistemas vivos e simulações ecológicas (KALMUS, 1966 apud PATTEN, 1971); (BRADLEY, 1968 apud PATTEN, 1971); (MILSUM, 1966 apud PATTEN, 1971); (THRALL, 1967 apud PATTEN, 1971).

Nos anos 90 a Bioinformática ganhou impulso. Os sistemas computacionais e programas desenvolvidos para esses fins específicos ajudaram a comparar sequências gênicas e aceleraram as pesquisas na área da biologia molecular. Atualmente, um biólogo pode encontrar inúmeras combinações de DNA em questão de minutos. Neste contexto, na última década ocorreram vários destaques na área, sendo que os principais, segundo o jornal *Folha de São Paulo*, foram (CFSP, 2004):

- ↪ Em 1990, o Projeto Genoma Humano começa a decodificar e identificar o material genético do homem;
- ↪ Em 1991, o cientista Craig Venter publica artigo sobre a técnica de “*shotgun*” e passa a sequenciar genes com maior rapidez;
- ↪ Em 1995, a revista *Science* publica o sequenciamento do primeiro organismo livre, a bactéria *Haemophilus influenzae*; a pesquisa foi uma colaboração entre a Universidade Johns Hopkins, a Universidade Estadual de Nova York, o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia e o Instituto para Pesquisa Genômica (FLEISCHMANN et. al, 1995);
- ↪ Em 1997, um consórcio de mais de cem laboratórios, coordenado pelo cientista André Goffeau, publica pela primeira vez a sequência completa do

material genético de um ser vivo complexo – a levedura (fermento) do pão, conhecida pelo nome científico *Saccharomyces cerevisiae*; e

- ↳ Em 1999, cientistas do Reino Unido, dos EUA e do Japão sequenciam o primeiro cromossomo humano, o de número 22, que é o segundo menor dos 23 cromossomos existentes.

E, neste início do século 21, uma busca de artigos em periódicos no *Science Direct* traz como resultado mais de 1450 artigos cujos temas envolvem simultaneamente a Biologia e a Computação. Em particular, a busca de artigos com as palavras chave *fuzzy* (nebuloso) e *biology* (biologia) retorna 39 artigos entre 1971 e 2004, sendo 25 destes publicados neste século.

1.4 Metodologia

A formalização dos procedimentos adotados neste trabalho de dissertação pode ser resumida nos seguintes passos que serão mais bem descritos no Capítulo 4:

- (1) Aquisição do conhecimento dos especialistas do zôo por meio de técnicas apropriadas;
- (2) Conversão das informações obtidas dos especialistas em variáveis linguísticas e regras nebulosas, utilizando a teoria nebulosa;
- (3) Modelagem do processo de aceitação de doações de animais pelo zôo, utilizando a lógica nebulosa como ferramenta para o tratamento das incertezas inerentes ao processo; e
- (4) Validação e teste do modelo.

O modelo proposto neste trabalho de pesquisa será testado através de simulações utilizando o *software MatLab* que é amplamente empregado pela comunidade científica para simulações de modelos que utilizam a Lógica Nebulosa.

1.5 Estrutura da Dissertação

Neste Capítulo são apresentados: a motivação para a realização deste trabalho, seus objetivos, a metodologia empregada na pesquisa, além da estrutura da dissertação. Ainda, é apresentado um breve histórico da utilização da computação na área biológica nas últimas décadas.

O Capítulo 2 mostra como a incerteza é frequentemente identificada nas pesquisas biológicas e apresenta a Lógica Nebulosa, uma das diversas técnicas utilizadas para o tratamento de incertezas presentes nas informações desta área.

O Capítulo 3 traz as etapas de uma modelagem nebulosa e a exemplifica através de dois modelos de tratamento de incertezas usados em pesquisas biológicas.

O Capítulo 4 apresenta a proposta de um modelo para tratamento de incertezas, utilizando a Lógica Nebulosa, no evento de recebimento de doações que ocorrem no Zoológico de São Paulo. Neste Capítulo também são apresentados os métodos utilizados para esta modelagem.

O Capítulo 5 apresenta os principais resultados obtidos através de simulação do modelo e uma análise dos mesmos.

E, finalmente, o Capítulo 6 discute os resultados da pesquisa realizada, verificando a aplicabilidade do modelo, propõe novas pesquisas correlatas e apresenta as considerações finais deste trabalho.

2 TRATAMENTO DA INCERTEZA UTILIZANDO A LÓGICA NEBULOSA

A Lógica Nebulosa formalizada por Zadeh (1965) pretende dar um tratamento matemático aos tópicos subjetivos da vida real e pode ser, em diversos casos, uma ferramenta importante para uma melhor compreensão destes tópicos.

2.1 Introdução

Uma tarefa que o ser humano faz muito bem é tomar decisões, mesmo quando possui informações que estão incompletas a respeito de um assunto (CUGNASCA, 1999). Não se ter certeza sobre a veracidade de uma informação também não nos impede de ter uma opinião a respeito do assunto, de forma que possamos fazer um julgamento apropriado a respeito dele.

Desenvolver um sistema especialista significa tentar desenvolver um sistema que forneça o mesmo julgamento sobre algo que um ser humano daria, raciocinando como um especialista e lidando com as eventuais incertezas a respeito do assunto.

Os sistemas especialistas muitas vezes precisam lidar com informações incertas ou imprecisas. Assim sendo, alguns métodos de raciocínio sob a incerteza são apresentados neste capítulo e, em particular, a abordagem da teoria nebulosa é detalhada.

Giarratano e Riley (1989) definem o termo incerteza como “*a falta da informação adequada para se tomar uma decisão*”. Desta forma, a incerteza pode impedir o ser humano de escolher a melhor alternativa a ser adotada perante uma determinada situação podendo, em certas ocasiões, causar uma má decisão. Na área médica, a falta de certeza ou da informação adequada em um diagnóstico médico pode prejudicar a escolha do tratamento mais adequado a ser ministrado ao paciente, podendo impedir a sua melhora ou contribuir para uma terapia incorreta. Em outras áreas, como no setor financeiro, a incerteza presente em uma informação ou a falta da informação adequada poderia até implicar prejuízos financeiros, quando o desejado seria o lucro.

De certa maneira, pode-se dizer que todas as criaturas vivas são “especialistas” em lidar com a incerteza, dentro do seu habitat, ou não teriam como sobreviver em um mundo real. Ainda, quanto maior for a especialidade do ser em questão, maiores serão suas chances de perpetuar a espécie face às mudanças do ambiente. Em particular, os seres

humanos estão habituados a lidar com a incerteza em seu cotidiano, nos mais diversos tipos de ambientes ou situações, como por exemplo no trânsito, no trabalho, na escola, e assim por diante. Os seres humanos, então, são “especialistas” em lidar com o seu dia-a-dia, evitando o trânsito da cidade nos piores momentos ou em determinadas avenidas, trajando vestimentas adequadas para uma determinada previsão de tempo para o dia atual ou segundo os indícios observados ao amanhecer, etc. Desta forma, tratar a incerteza nas informações requer um certo grau de “raciocínio sob a incerteza”.

Visando ilustrar as diversas formas que geram a incerteza nas mais variadas situações, a seguir são apresentados os principais tipos de erros que geram incertezas no mundo real.

2.2 Tipos de Erros que Geram Incerteza

Existem vários tipos de erros que contribuem para a incerteza. As diferentes teorias para o tratamento da incerteza tentam resolver alguns ou a maioria destes erros para fornecer como resultado uma inferência mais confiável. A Figura 1 ilustra um esquema simplificado da classificação de erros em tipos (GIARRATANO, RILEY, 1989).

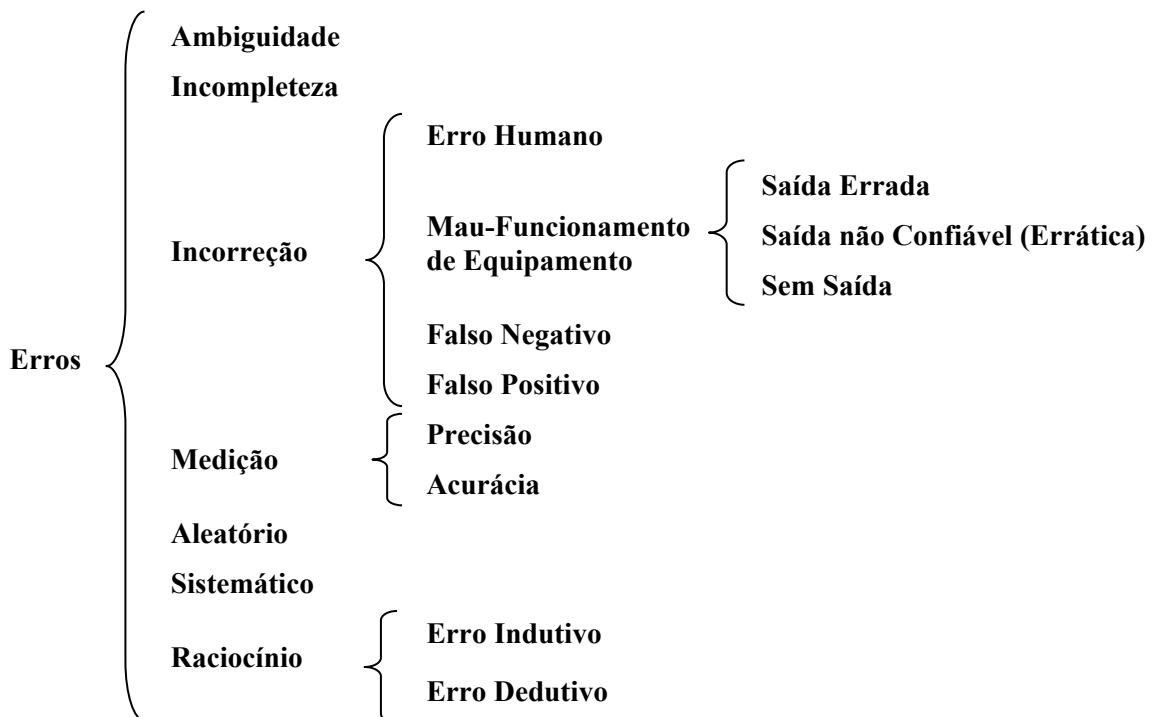


Figura 1 - Classificação dos erros que geram incertezas.

A seguir são descritas as principais fontes de erros que contribuem para o surgimento de incertezas em sistemas que se propõem a lidar com elas para modelar a forma de

raciocinar do ser humano especialista (GIARRATANO, RILEY, 1989), considerando a classificação apresentada na Figura 1.

- ↪ **Erro por Ambiguidade:** uma informação ambígua é definida como uma informação com múltiplos significados, que pode ocorrer quando diferentes especialistas interpretam a mesma informação de modos distintos.
- ↪ **Erro por Incompleteza:** este tipo de erro ocorre quando existe a perda de parte de alguma informação.
- ↪ **Erro por Incorreção:** este tipo de erro ocorre quando as informações estão incorretas, podendo ser subdividido em quatro tipos:
 - **Erro Humano:** este tipo de erro é gerado por uma leitura errada de um seletor de dados, informação mentirosa ou por desinformação;
 - **Erro por Mau-Funcionamento de Equipamento:** um defeito em um equipamento de medição gera erros na leitura de suas indicações, o que pode se dar das seguintes maneiras:
 - **Equipamento com Saída Errada:** os resultados gerados pelos equipamentos podem estar com erros;
 - **Equipamento com Saída não Confiável (Errática):** os resultados gerados pela leitura de um instrumento qualquer são instáveis, estando às vezes corretos, e às vezes não;
 - **Equipamento Sem Saída:** neste caso, o equipamento pode não estar gerando resultado algum;
 - **Erro por Falso Negativo:** este tipo de erro é provocado pela rejeição de um resultado quando ele é verdadeiro, por se achar que ele está errado;
 - **Erro por Falso Positivo:** este tipo de erro é provocado pela aceitação de um resultado quando ele não é verdadeiro, por se achar que ele está correto;
- ↪ **Erro de Medição:** os erros de medição estão relacionados com a forma como um resultado é obtido de um instrumento, podendo ser classificados em dois tipos: Erro de Precisão e Erro de Acurácia, que apresentam

significados diferentes, muito embora em algumas situações eles sejam considerados sinônimos:

- **Erro de Precisão:** o erro de precisão está relacionado com o erro de escala de um instrumento, e está embutido em todo aparelho de medida, não podendo ser eliminado. Quando a medida efetuada considera uma fração da menor divisão da escala do instrumento, há certa imprecisão na medida;
 - **Erro de Acurácia:** este erro está presente na falta de concordância do resultado com um padrão estabelecido para uma medida, podendo o mesmo necessitar de uma correção a posteriori. No caso de um instrumento, pode ter ocorrido erro na fabricação do seu medidor, que fornece sempre o mesmo tipo de erro nas suas medidas;
- ↪ **Erro Aleatório:** as condições sob as quais um experimento é realizado podem não ser exatamente as mesmas a cada vez que se realizam as medidas, provocando resultados diferentes e aleatórios a cada repetição.
- ↪ **Erro Sistemático:** os erros sistemáticos são causados por falhas sistemáticas do aparelho de medida, devido à sua calibração incorreta, gerando sempre o mesmo resultado para situações iguais.
- ↪ **Erro de Raciocínio:** os erros de raciocínio estão relacionados a algo que teve uma indução inválida ou uma dedução inválida, explicadas a seguir:
- **Erro por Indução Inválida:** este erro é gerado quando o raciocínio leva a uma conclusão genérica a partir de um fato, porém errada;
 - **Erro por Dedução Inválida:** este erro é gerado quando o raciocínio leva a uma conclusão errada (particular) a partir de premissas erradas.

2.3 A Incerteza nas Informações Biológicas

A incerteza é identificada com relativa facilidade nas pesquisas desenvolvidas em diversas áreas da biologia, principalmente quando as observações do especialista são as únicas fontes de informação para a modelagem de um sistema, ou quando se combinam informações subjetivas advindas de observações do especialista com outras informações objetivas oriundas de medições efetuadas através de algum instrumento.

A incerteza nas informações da área biológica pode ser encontrada nas seguintes formas (SALSKI, 1999):

- ↪ nas variáveis aleatórias dos modelos biológicos;
- ↪ nos dados incompletos ou inexatos, oriundos de medições imprecisas;
- ↪ nas avaliações aproximadas feitas pelos especialistas, em vez das medições realizadas com instrumentos;
- ↪ na informação qualitativa, em vez de quantitativa;
- ↪ na incomparabilidade dos dados, como por exemplo, entre informações aproximadas e informações precisas; e
- ↪ no conhecimento subjetivo, incompleto ou vago do especialista.

Ainda, de acordo com (SALSKI, 1999), o problema do tratamento da incerteza aparece frequentemente nas pesquisas ecológicas. Os processos ecológicos, caracterizados como quaisquer interações entre espécies concorrentes ou competitivas são, via de regra, muito complexos e, frequentemente, são investigados parcialmente, tornando o conhecimento ecológico incompleto e vago. As informações utilizadas pelos ecologistas costumam ser coletadas de todas as fontes possíveis de conhecimento, sejam estas fontes de natureza objetiva ou subjetiva, como o conhecimento do especialista humano. Assim, a forma de raciocinar do especialista humano deve envolver necessariamente a manipulação de dados contendo algum tipo de manifestação de erro.

Nas primeiras tentativas de se desenvolver sistemas computadorizados para a medicina e a biologia, percebeu-se igualmente a presença da incerteza nos dados e informações a serem tratados por estes sistemas (AKAY, COHEN, HUDSON, 1997), podendo ser destacadas:

- ↪ a falta da completa compreensão do funcionamento dos organismos biológicos;
- ↪ a inabilidade de se obter informações completas a respeito do estado de um determinado organismo;
- ↪ as medidas imprecisas obtidas em testes realizados;
- ↪ a incerteza sobre quais seriam os valores-padrão para os resultados de um determinado teste ou a falta de escalas precisas para parâmetros fisiológicos;

- ↪ as complicações causadas pela interação de diversos sistemas fisiológicos que funcionam simultaneamente;
- ↪ a presença simultânea de mais de um sintoma ou condição nos casos reais de estudo da medicina; e
- ↪ as informações perdidas ou faltantes em uma grande porcentagem dos casos analisados.

Dessa forma, por causa da natureza das informações dos tipos médicas e biológicas, pode ser verificado que a incerteza está presente nelas e, conseqüentemente, nos processos de tomada de decisão utilizados nessas áreas.

A incerteza está presente, também, em uma outra área de pesquisa das ciências biológicas: a Botânica (SATTLER, 1996). Como exemplo, tem-se a incerteza presente nas informações desta área, causada pela falta de precisão quando se tenta classificar a estrutura de um vegetal.

Na morfologia tradicional típica, que é a base para grande parte da pesquisa na área da botânica, a diversidade nas formas das estruturas vegetais é reduzida às categorias morfológicas mutuamente exclusivas, como: raiz, broto, caule e folha. Entretanto, em vários casos, pode haver um grau de incerteza quanto à melhor classificação de uma estrutura vegetal. Podem ser citados como exemplo os *fertile phylloclades*, estruturas que assumem simultaneamente as funções de folha e de broto, sendo classificados como folha-broto, porque combinam características de ambas as categorias, como mostra a Figura 2 (COONEY-SOVETTS, SATTLER, 1987 apud SATTLER, 1996), isto é, são folhas reduzidas, que assimilaram as funções que são executadas tipicamente por brotos.



Figura 2 - Detalhe de um *fertile phylloclades* (BSA Plant Images Online, 2004).

No artigo intitulado “*Fuzzy knowledge-based model of annual production of skylarks*”, Daunicht et. al (1996) apresentam a modelagem do sucesso da procriação da ave *Alauda arvensis*, cujo nome vulgar é *skylark* (vide Figura 3). Os autores mostram que, quando se trabalha com a coleta de dados em campo, é difícil o recolhimento de dados suficientes e precisos para pesquisa sobre uma dada espécie animal. Existe a dificuldade natural do ser humano em atuar nos habitats dos animais, que geralmente são de difícil acesso, e, principalmente, sem influenciar na forma de vida desses animais. Como consequência pode haver uma grande incerteza sobre os dados oriundos destas observações em campo e sobre o conhecimento adquirido pelo especialista nessas circunstâncias.



Figura 3 - Ninho de *Alauda arvensis* (*skylark*) com filhotes (Hlasek, Hlasek, 2004).

Em outro artigo, “*A fuzzy knowledge-based model of population dynamics of the yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) in a beech forest*” (BOCK, SALSKI, 1998) é descrito o alto grau de incerteza presente nos dados biológicos, devido às várias dificuldades técnicas encontradas durante a coleta de informações sobre uma população de vida livre de *Apodemus flavicollis* (rato de coleira amarela), mostrado na Figura 4 em seu habitat natural na floresta de faia (*Fagus sylvatica*).



Figura 4 - Exemplo de *Apodemus flavicollis* (Bogon, 2003).

2.4 Métodos de Tratamento da Incerteza

A tomada de decisão a partir de fatos incertos dificulta muito o encontro da solução mais adequada. Em virtude disso, alguns métodos diferentes foram propostos para o tratamento da incerteza, podendo ser aplicados a sistemas computacionais de apoio à decisão. É de responsabilidade do projetista do sistema a escolha do método mais apropriado, dependendo da aplicação e do tipo de incerteza a ser tratada.

Os exemplos clássicos de sistemas especialistas bem sucedidos que tratam da incerteza são o MYCIN, para o diagnóstico médico, e o PROSPECTOR, para a exploração mineral (GONZALEZ, DANKEL, 1993).

As principais abordagens usadas para o tratamento de incertezas, descritas vastamente na literatura da área de Inteligência Artificial são: a Abordagem *Bayesiana*, a Abordagem dos Fatores de Certeza, a Abordagem da Teoria da Evidência de Dempster-Shafer e a Abordagem da Lógica Nebulosa (GONZALEZ, DANKEL, 1993); (GIARRATANO, RILEY, 1989). Estas quatro principais formas de manipulação da incerteza são descritas a seguir:

- ↳ **Abordagem *Bayesiana*:** a abordagem *bayesiana* é a técnica mais antiga e bem definida de manipulação da incerteza, baseada na teoria clássica de probabilidades, podendo ser utilizada em sistemas especialistas de apoio à decisão. Baseia-se no conceito da probabilidade condicional, permitindo que, a partir do surgimento de evidências, se possa concluir as probabilidades das hipóteses que se deseja provar ou negar (PEARL, 1988); (GONZALEZ, DANKEL, 1993);
- ↳ **Abordagem de Fatores de Certeza:** a técnica dos Fatores de Certeza foi desenvolvida, inicialmente, para ser utilizada no sistema especialista denominado MYCIN cujo objetivo é auxiliar no diagnóstico e terapia de doenças infecciosas. O sistema MYCIN utiliza a técnica do “encadeamento reverso”, buscando as evidências que satisfaçam a alguma hipótese que, neste caso, resume-se em encontrar o organismo causador de uma dada doença. Depois que descobre o organismo causador da doença, ele faz uma busca para encontrar a terapia mais adequada para tratá-la. O MYCIN trabalha com um sistema de regras do tipo “SE-ENTÃO”, associando Fatores de Certeza a elas. Fatores de Certeza são pesos numéricos atribuídos a um fato ou uma

relação para indicar a confiança que se tem neste fato ou nesta relação (GONZALEZ, DANKEL, 1993); (GIARRATANO, RILEY, 1989);

- ↪ **Abordagem da Teoria da Evidência de Dempster-Shafer:** esta teoria considera grupos de proposições e atribui a cada um deles um intervalo [Crença, Plausibilidade] dentro do qual precisa estar o grau da crença. A crença mede a força da evidência em favor de um grupo de proposições e varia de 0 (quando faltam evidências) até 1 (quando existe certeza na evidência) (GONZALEZ, DANKEL, 1993); (SHAFER, PEARL, 1990); e
- ↪ **Abordagem da Lógica Nebulosa:** a Lógica Nebulosa trata as imprecisões existentes nas informações vagas, comumente presentes na linguagem humana. Sua utilização permite modelar esses tipos de informação, o que facilita sua manipulação em computadores. Na teoria clássica, um dado elemento só pode pertencer ou não pertencer a um referido conjunto. Entretanto, considerando-se um conjunto de florestas naturais, uma floresta em algum ecossistema que nunca tivesse sido tocada pelo ser humano teria grau de pertinência igual a 1 (um) a esse conjunto, enquanto uma floresta fragmentada teria seu grau de pertinência classificado (de acordo com sua fragmentação) no intervalo entre 0 e 1,0, dependendo do seu grau de fragmentação, onde quanto maior a intromissão humana, mais perto de zero estaria o grau de pertinência (BULTE, KOOTEN, 2001). Neste caso, o “conjunto de florestas naturais” pode ser definido como um conjunto nebuloso. O grau de pertinência de um elemento do conjunto varia de 0 a 1 e, quanto mais próximo de 1, mais aderente o elemento será ao conjunto (DUBOIS, PRADE, 1980); (GONZALEZ, DANKEL, 1993); (ZADEH, 1965); (ZIMMERMANN, 1996).

2.5 O Método Escolhido: Lógica Nebulosa

Em 1965 foi publicado o artigo “*Fuzzy Sets*” por Lotfi A. Zadeh (ZADEH, 1965), apresentando uma nova forma de tratamento de incerteza. No artigo, o autor explica que as técnicas quantitativas convencionais de análise de sistemas são incompatíveis e/ou inadequadas para manejar sistemas humanísticos e/ou cuja complexidade seja comparável à destes. Ele destaca, também, que análises quantitativas precisas do comportamento de sistemas humanísticos não são provavelmente muito relevantes para

o mundo real, nem para os problemas que envolvam humanos individualmente ou em grupos, onde, os elementos chave do pensamento humano, quando este faz uso de sua linguagem natural, são associações de substantivos a predicados linguísticos, e não a números.

A abordagem descrita no artigo é baseada na premissa que os elementos chave no pensamento humano não são números, mas termos linguísticos. Conclui, ainda, que por causa da característica nebulosa do pensamento e do comportamento humano, então, para negócios com sistemas reais, seria necessária uma abordagem tolerante à imprecisão e a verdades parciais.

A Lógica Nebulosa aceita, também, que sejam combinadas e processadas as avaliações subjetivas e informações linguísticas obtidas de um especialista, bem como os dados de uma medição objetiva, obtidos na forma numérica. Comparada aos métodos convencionais, a abordagem da Lógica Nebulosa admite uma gerência mais eficaz de dados imprecisos e do conhecimento vago.

A técnica da Lógica Nebulosa, devido às características apresentadas, permite que a forma de pensar do especialista do zoológico possa ser modelada através de conceitos nebulosos e regras linguísticas, conforme será abordado neste trabalho.

Na abordagem clássica, um dado elemento só pode pertencer ou não pertencer a um referido conjunto. Entretanto, de acordo com a teoria dos conjuntos nebulosos, esse elemento poderia apresentar uma maior ou menor pertinência a esse conjunto. Para exemplificar, considere-se o conjunto “Macacos Gordos”. Pode-se constatar que não existe uma fronteira bem definida para se determinar se um macaco pertence ou não a esse conjunto, uma vez que é difícil definir, e pode até haver divergências de opiniões, sobre qual é o peso mínimo necessário para um macaco ser considerado gordo. Na abordagem nebulosa, se todos os macacos fossem considerados gordos, em maior ou menor grau, conseqüentemente existiriam macacos que pertenceriam com mais propriedade à classe dos macacos gordos do que outros. Ou seja, quanto mais ou menos gordo for um macaco, maior ou menor, respectivamente, será sua aderência a esta classe dos macacos gordos; neste caso, pode-se dizer que todos os macacos pertencem à classe dos macacos gordos, com graus de pertinência variáveis.

Na Figura 5 e na Figura 6 é possível comparar as abordagens clássica e nebulosa para o conjunto de macacos gordos, onde o eixo y do gráfico representa o quanto cada macaco

pertence ao conjunto “Macacos Gordos”. Na Figura 5 tem-se somente a opção 0 ou 1, isto é, ou um macaco pertence ou não pertence ao conjunto “Macacos Gordos”, de acordo com o seu peso. Em particular, o macaco *King Kong*, que pesa 120kg, pertence a esse conjunto.

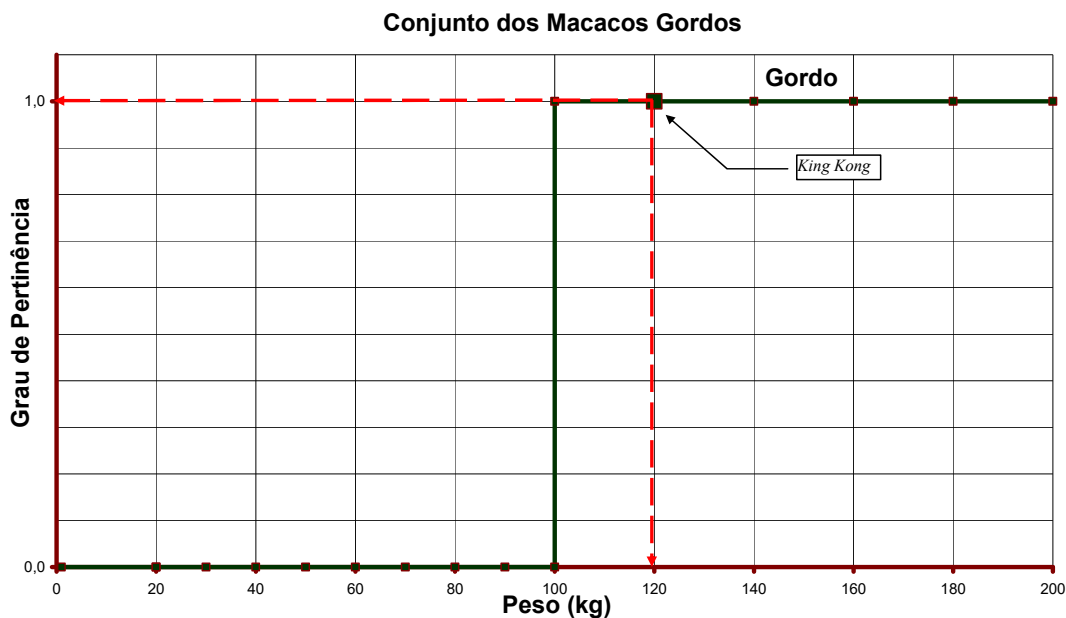


Figura 5 - Representação clássica da aderência do macaco King Kong ao conjunto “Macacos Gordos”.

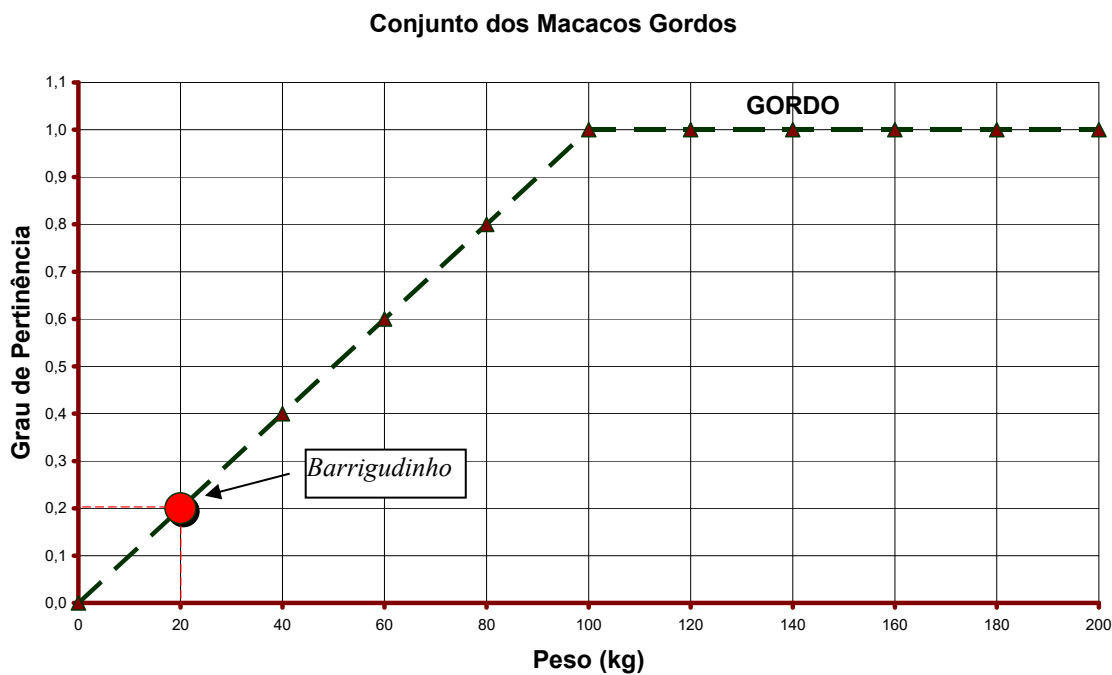


Figura 6 - Representação nebulosa da aderência do macaco *Barrigudinho* ao conjunto “Macacos Gordos”.

Entretanto, na abordagem nebulosa da Figura 6, o macaco *Barrigudinho*, com 22kg, que não seria classificado como gordo na abordagem clássica, pertence ao conjunto de macacos gordos, só que com menor grau (no caso, 0,2). Então, enquanto nos conjuntos clássicos, pertencer vale 1 e não pertencer vale 0, nos conjuntos nebulosos o grau de pertinência varia entre 0 e 1.

A seguir serão apresentados os principais conceitos relacionados com os conjuntos clássicos para, na sequência, serem apresentados os conjuntos nebulosos.

2.5.1 Conjuntos clássicos

Denomina-se **conjunto clássico** o conjunto cujos elementos podem ser diferenciados categoricamente em dois grupos, “os que pertencem” e “os que não pertencem” ao conjunto. As qualificações **conjuntos convencionais**, **conjuntos tradicionais** ou **conjuntos ordinários** são também utilizadas como sinônimos para conjuntos clássicos. Na literatura científica internacional, o termo que usualmente é utilizado para designar os conjuntos clássicos é “*crisp sets*” (DUBOIS, PRADE, 1980); (KLIR, FOLGER, 1988); (ZADEH, 1965); (ZADEH, 1973); (ZADEH, 1988); (ZIMMERMANN, 1996).

A seguir, com o intuito de introduzir uma notação e terminologia que permitam a apresentação dos conjuntos nebulosos, serão apresentados alguns conceitos básicos da teoria clássica dos conjuntos (DUBOIS, PRADE, 1980); (KLIR, YUAN, 1995); (ZIMMERMANN, 1996).

2.5.1.1 Representação de conjuntos clássicos

Neste trabalho, os conjuntos clássicos serão representados por letras maiúsculas e seus elementos por letras minúsculas. Por exemplo, um conjunto Z poderia possuir os elementos $\{a, b, c\}$.

O universo de discurso ou conjunto universo, que é o conjunto que contém todos os elementos do contexto com o qual se está trabalhando, será designado genericamente pela letra X .

As três formas básicas para se representar um conjunto dentro de um universo de discurso X são descritas a seguir (KLIR; YUAN, 1995):

Lista finita de componentes:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}, \text{ onde:}$$

a_1, a_2, \dots, a_n são elementos do conjunto A .

Regra de pertinência:

$A = \{x \mid P(x)\}$, onde:

- $P(x)$ é uma proposição do tipo: “ x tem a propriedade P ”, e
- A é um conjunto de elementos x de X que têm a propriedade P verdadeira.

Função característica:

Dada uma função característica χ_A , que informa quais membros de X pertencem a um determinado conjunto A , esta função possui a seguinte representação.

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{para } x \notin A \\ 1, & \text{para } x \in A . \end{cases}$$

2.5.1.2 Pertinência de um elemento a um conjunto clássico

Dado um elemento x e um conjunto A , dentro do universo de discurso X , quando o elemento x é membro de A (x pertence a), a pertinência de um elemento x ao um conjunto A é representada da seguinte forma:

$$x \in A ;$$

caso contrário, se x não é membro de A ,

$$x \notin A .$$

2.5.1.3 Operações sobre conjuntos clássicos

As operações mais relevantes sobre conjuntos estão listadas a seguir, onde A e B são dois conjuntos clássicos quaisquer.

Complemento:

$$\bar{A} = \{x \mid x \notin A\} .$$

O complemento do conjunto A é igual a x para todo x não pertencente a A .

União:

$$A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ ou } x \in B\} .$$

A união entre os conjuntos A e B é igual a x para todo x pertencente a pelo menos um dos dois conjuntos.

Interseção:

$$A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ e } x \in B\}.$$

A interseção entre os conjuntos A e B é igual a x para todo x pertencente simultaneamente aos dois conjuntos.

Produto Cartesiano:

$$A \times B = \{ \langle a, b \rangle \mid a \in A, b \in B \}.$$

Na operação produto cartesiano entre dois conjuntos A e B , a dupla de elementos $\langle a, b \rangle$ representa todos os possíveis pares de elementos a e b pertencentes aos conjuntos A e B , respectivamente.

2.5.2 Conjuntos nebulosos

Os **conjuntos nebulosos** podem ser chamados também de **conjuntos *fuzzy***. O termo “*fuzzy*”, de origem inglesa, é vastamente utilizado neste contexto, exceto na língua francesa, que utiliza o termo “*nebulose*” (BARROS, 2002), e em algumas publicações em língua espanhola, que o traduzem para “*borroso*” (ANDRADE, 1995).

2.5.2.1 Representação de conjuntos nebulosos

A mesma notação utilizada para os conjuntos clássicos é utilizada para os conjuntos nebulosos. No entanto, neste trabalho os conjuntos nebulosos serão diferenciados dos conjuntos clássicos pela colocação do símbolo “ \sim ” sobre o símbolo do conjunto. Um conjunto nebuloso A será representado, a partir deste ponto, pela notação \tilde{A} , enquanto um conjunto clássico continuará a ser escrito na sua forma tradicional A (CUGNASCA, 1999).

2.5.2.2 Pertinência de um elemento a um conjunto nebuloso

Os conjuntos nebulosos são uma generalização dos conjuntos clássicos. Porém, diversamente dos conjuntos clássicos, onde um elemento só pode pertencer (grau de pertinência 1) e não pertencer (grau de pertinência 0) ao conjunto, nos conjuntos nebulosos há situações onde os elementos pertencem ao conjunto com **grau de pertinência** variando entre 0 e 1, representando a aderência do elemento ao conjunto.

O grau de pertinência de cada elemento ao conjunto pode ser representado por uma função, denominada **função de pertinência**. Neste trabalho, a função de pertinência de um elemento a um conjunto nebuloso será representada por:

$$\mu : X \rightarrow [0,1] \quad \text{ou} \quad \mu_{\tilde{A}} : X \rightarrow [0,1]$$

Nesta representação, a função de pertinência é expressa pelo símbolo μ . Quando se faz necessária a indicação do conjunto nebuloso ao qual a função de pertinência está se referindo, utiliza-se um índice indicando o conjunto, isto é, o conjunto nebuloso \tilde{A} é caracterizado pela função de pertinência $\mu_{\tilde{A}}$ (LEE, 1990a); (LEE, 1990b); (ZADEH, 1968); (ZADEH, 1979), e todos os elementos x de X possuem graus de pertinências no intervalo fechado entre 0 e 1.

Existe uma segunda forma de representação, onde o próprio símbolo que representa o conjunto é utilizado para representar a função de pertinência. Neste caso, o grau de pertinência de um elemento x ao conjunto A é representado por $A(x)$ (KLIR, YUAN, 1995). Valem as mesmas observações efetuadas para a representação anterior.

$$A : X \rightarrow [0,1]$$

Neste trabalho adotou-se a primeira forma de representação por facilitar a compreensão do que está sendo representado, diferenciando melhor um conjunto nebuloso de um conjunto clássico.

A função de pertinência de um conjunto nebuloso \tilde{A} , conseqüentemente, que mede a aderência de um elemento ao conjunto, será expressa por $\mu_{\tilde{A}}$, e o grau de pertinência de um elemento x qualquer ao conjunto \tilde{A} por $\mu_{\tilde{A}}(x)$ (KLIR, YUAN, 1995).

2.5.3 Operações sobre conjuntos nebulosos

A seguir serão apresentadas as principais operações sobre conjuntos nebulosos, considerando as propriedades adicionais que as diferenciam das operações sobre conjuntos clássicos.

2.5.3.1 Operações-padrão sobre conjuntos nebulosos

As três operações básicas citadas a seguir são semelhantes às operações usadas para conjuntos clássicos. São elas: **complemento**, **interseção** e **união**, que na literatura científica também são denominadas de **operações-padrão** sobre os conjuntos nebulosos (KLIR, YUAN, 1995); (YAGER, 1980); (ZADEH, 1965).

Complemento-padrão:

Em um universo de discurso X , o complemento-padrão de um conjunto nebuloso \tilde{A} será representado por $\widetilde{\tilde{A}}$, e é definido para todo $x \in X$, satisfazendo à seguinte expressão:

$$\mu_{\widetilde{\tilde{A}}}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x);$$

Interseção-padrão:

Dados dois conjuntos nebulosos \tilde{A} e \tilde{B} , a interseção-padrão ($\tilde{A} \cap \tilde{B}$) será caracterizada para todos os elementos x de \tilde{A} e \tilde{B} , tais que:

$$\mu_{(\tilde{A} \cap \tilde{B})}(x) = \min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)];$$
 e

União-padrão:

A partir dos conjuntos nebulosos \tilde{A} e \tilde{B} , a união-padrão ($\tilde{A} \cup \tilde{B}$) é definida para todos os elementos x de \tilde{A} e \tilde{B} , onde:

$$\mu_{(\tilde{A} \cup \tilde{B})}(x) = \max[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)].$$

Para ilustrar estas três operações, serão utilizadas as funções de pertinência da Figura 7, que classificam os macacos segundo seus pesos, nas categorias *magro*, *esbelto* e *gordo*.

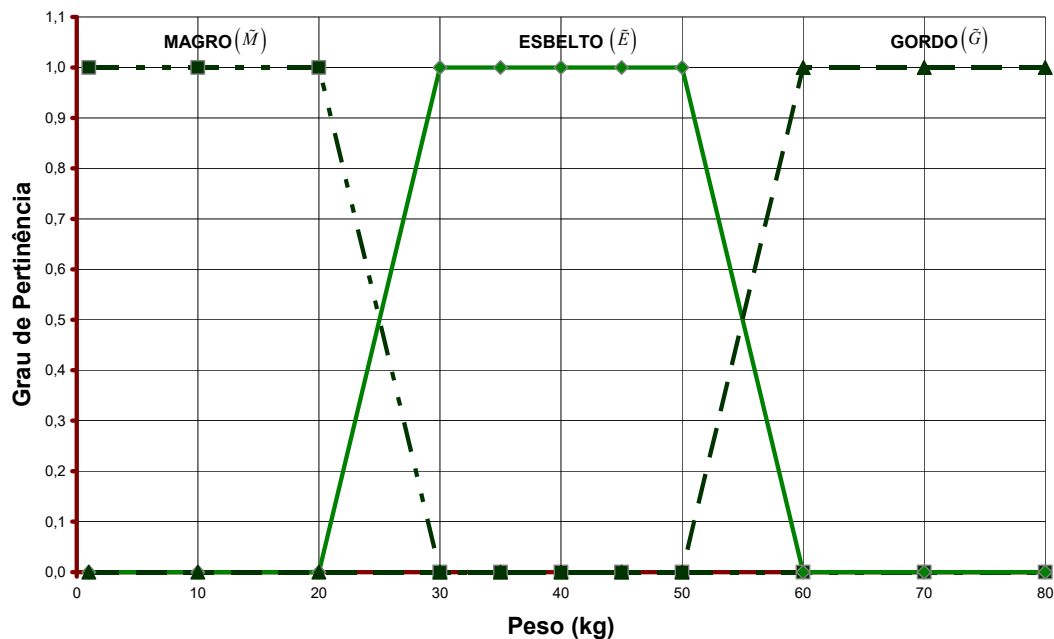


Figura 7 - Termos linguísticos da variável linguística “Peso”.

A Figura 8 e a Figura 9 são exemplos de complemento de conjuntos nebulosos. Na Figura 8 está representado o conjunto nebuloso \bar{M} , que traduz o conceito “*todos os macacos que não são magros*”, enquanto a Figura 9 apresenta o conjunto nebuloso \bar{G} , que contém “*todos os macacos que não são gordos*”.

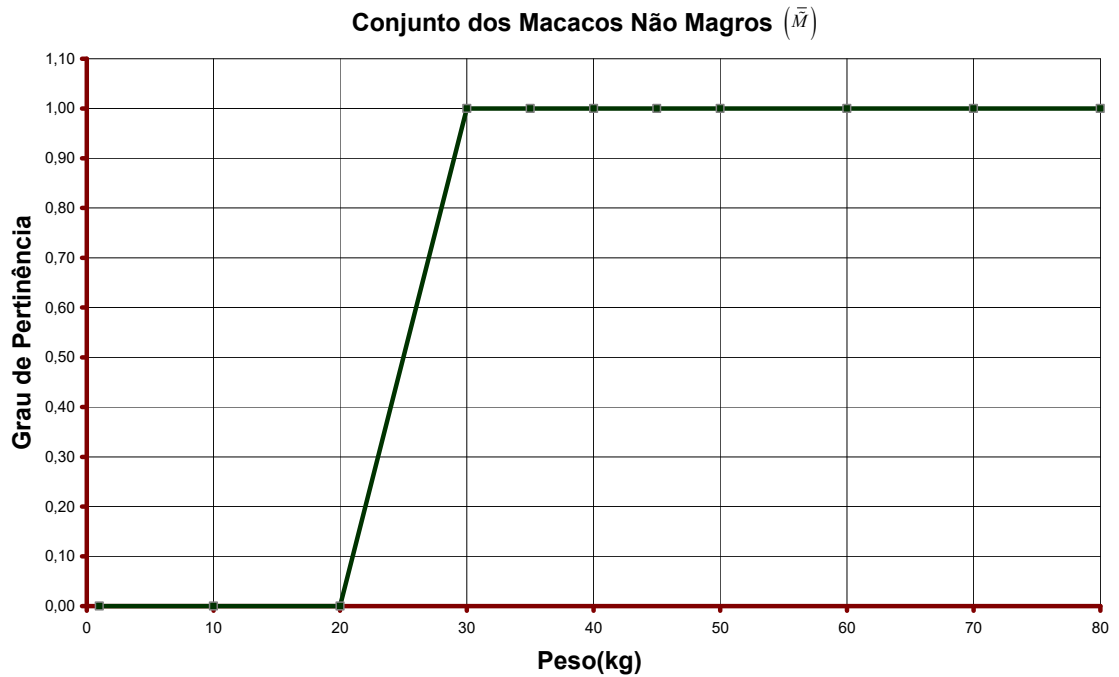


Figura 8 - Exemplo ilustrativo da operação complemento-padrão (1).

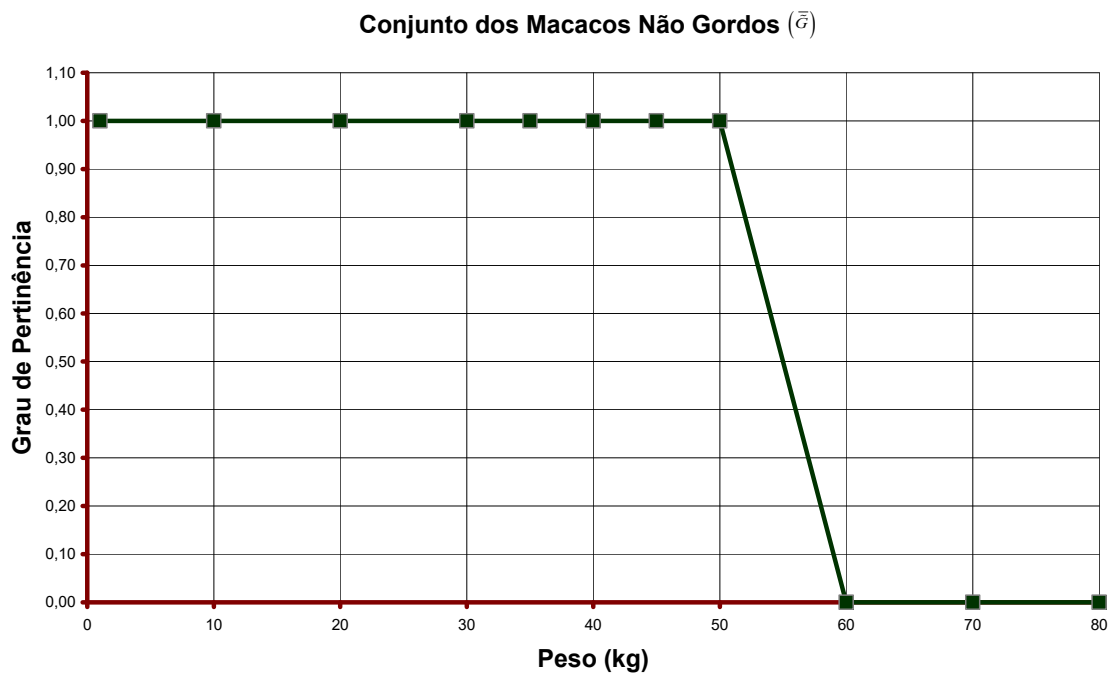


Figura 9 - Exemplo ilustrativo da operação complemento-padrão (2).

A Figura 10 é um exemplo de interseção entre conjuntos nebulosos, no caso, $\overline{M} \cap \overline{G}$, representando o conceito dos macacos que *não são magros* E que também *não são gordos*, resultando no conjunto nebuloso Esbelto (\tilde{E}).

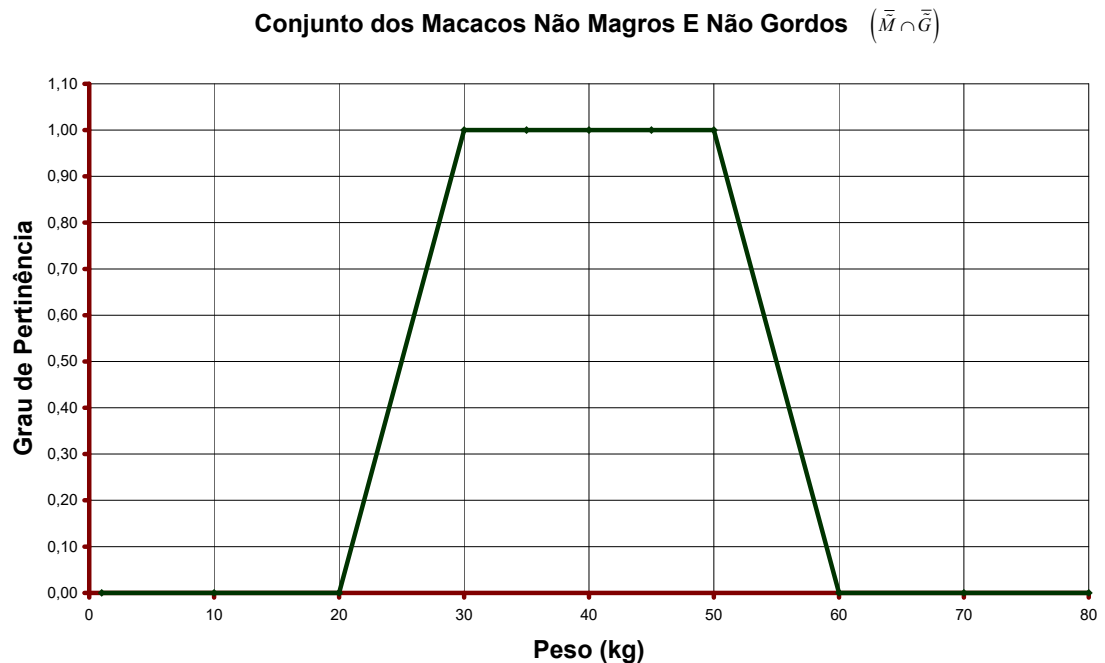


Figura 10 - Exemplo ilustrativo da operação interseção-padrão sobre conjuntos nebulosos.

Apresenta-se, ainda, na Figura 11, um exemplo de união entre conjuntos nebulosos ($\overline{M} \cup \overline{G}$), que contém todos os macacos que **OU não são gordos OU que não são magros**, ou seja, todos os macacos.

Neste item foram apresentadas as operações-padrão de complemento, interseção e união para os conjuntos nebulosos. Da maneira como foram definidas, é possível observar que as operações-padrão sobre conjuntos nebulosos fornecem os mesmos resultados das correspondentes operações para os conjuntos clássicos, quando a faixa de variação do grau de pertinência fica restrita ao conjunto *crisp* $\{0,1\}$. Em outras palavras, as operações-padrão para conjuntos nebulosos podem ser consideradas generalizações das operações básicas sobre os conjuntos clássicos.

Por outro lado, as operações nebulosas de interseção, união e complemento não são únicas, nem simples, ao contrário das suas homólogas clássicas. Diversos autores apresentam definições alternativas que podem ser aderentes a determinados tipos de aplicações.

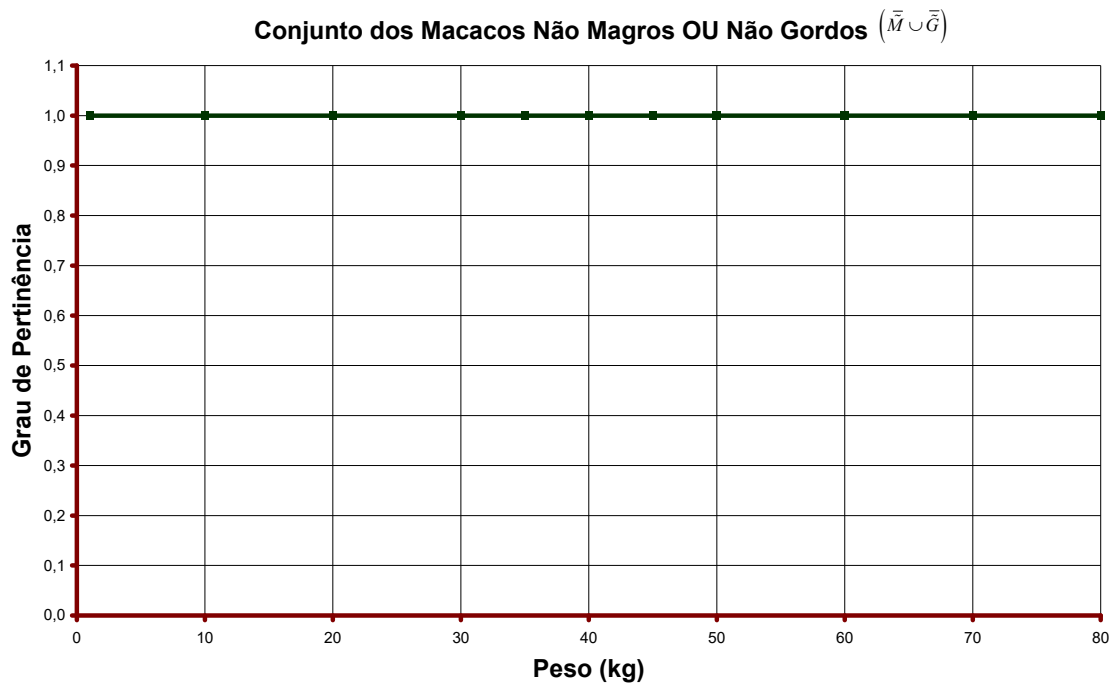


Figura 11 - Exemplo ilustrativo da operação união-padrão sobre conjuntos nebulosos.

São exemplos de operações nebulosas de intersecção [ZIMMERMANN, 1996]:

- mínimo (\wedge): $a \wedge b = \text{mín}\{a, b\}$,
- produto algébrico (\cdot): $a \cdot b = ab$,
- produto limitado (\otimes): $a \otimes b = \text{máx}\{0, a + b - 1\}$, e
- produto drástico (\cap): $a \cap b = \begin{cases} a & \text{se } b = 1 \\ b & \text{se } a = 1 \\ 0 & \text{se } a, b < 1 \end{cases}$.

Ainda, são exemplos de operações nebulosas de união [ZIMMERMANN, 1996]:

- máximo (\vee): $a \vee b = \text{máx}\{a, b\}$,
- soma algébrica ($+$): $a + b = a + b - ab$,
- soma limitada (\oplus): $a \oplus b = \text{mín}\{1, a + b\}$, e

$$\bullet \text{ soma drástica } (\cup): \quad a \cup b = \begin{cases} a & \text{se } b = 0 \\ b & \text{se } a = 0 \\ 1 & \text{se } a, b > 0 \end{cases} .$$

A função negação, em geral, é definida como: $\text{not}(x) = 1-x$.

2.5.4 Variáveis linguísticas

Uma variável linguística, como o nome sugere, é uma variável que contém valores que são palavras ou sentenças em linguagem natural ou linguagem sintética, ao contrário dos conjuntos clássicos, onde seus valores são números. Por exemplo, o conjunto *Peso de Primatas* é, neste contexto, uma variável linguística que pode assumir os valores linguísticos *magro*, *esbelto* ou *gordo*. Em geral, os valores de uma variável linguística podem ser originados a partir de termos primários, como: *baixo*, *pequeno*, *alto* ou *grande*. Os valores de uma variável linguística também podem ser originados a partir da combinação dos termos primários com os modificadores de tipo (*muito*, *pouco*, *mais ou menos* e *não muito*), os conectivos lógicos **E** (conectivo de conjunção) e **OU** (conectivo de disjunção), e o operador de complemento **NOT** (ZADEH, 1988).

Cada variável linguística é definida em função de uma variável de base (por exemplo *Peso*) cujos valores são números reais dentro de uma determinada faixa de representação (MAMDANI, ASSILIAN, 1975); (MAMDANI, 1981). Os termos linguísticos representam valores aproximados da variável de base (por exemplo *magro*, *esbelto* e *gordo*). Uma variável linguística pode ser formalmente caracterizada pela quintupla $\langle v, T, X, g, m \rangle$ cujos elementos são definidos como (ZADEH, 1973); (DUBOIS, PRADE, 1980); (LEE, 1990a); (LEE, 1990b); (KLIR, YUAN, 1995); (ZIMMERMANN, 1996); (CUGNASCA, 1999):

- **v**: nome da variável linguística de base (*peso*, *estoque*, *alimentação*, etc.);
- **T**: conjunto de termos linguísticos (*t*) da variável linguística *v* (*gordo*, *alto*, *complexa*, etc.) representando a variável de base;
- **X**: domínio (universo de discurso) de valores de *x* sobre o qual o significado de cada termo linguístico é determinado (o *peso* está, por exemplo, entre 0 e 80kg);
- **g**: gramática ou regra sintática para a geração dos termos linguísticos; e

- m : regra semântica que atribui a cada termo linguístico $t \in T$ um significado $m(t)$, o qual é um conjunto nebuloso em X , definido da seguinte maneira:
 $m: T \rightarrow \mathfrak{F}(X)$.

A Figura 12 mostra um exemplo de variável linguística, onde o nome da variável é *Peso* e os termos linguísticos $t \in T$, que atribuem um significado a *Peso*, são: *magro*, *esbelto* e *gordo*. O domínio (X) ou universo de discurso no qual a variável *Peso* está inserida é o intervalo $[0, 80]$, expresso em kg.

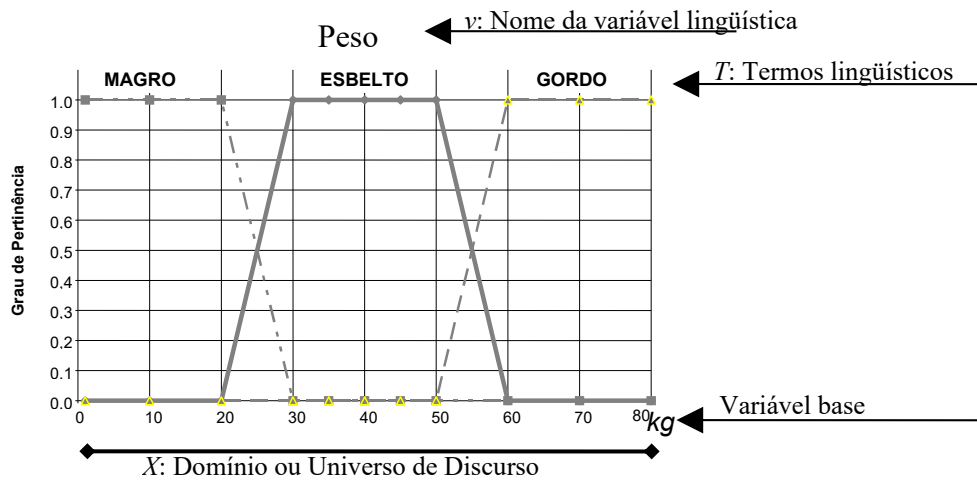


Figura 12 - Exemplificação dos componentes de uma variável linguística.

A utilização dos conjuntos nebulosos para representação de conceitos vagos expressos em linguagem natural deve ser criteriosa, pois, como acontece na própria linguagem humana, as palavras têm seus significados associados aos **contextos** nos quais estão inseridas. Seja, por exemplo, a frase “o macaco é pesado”. Como a palavra macaco já foi usada no início deste texto, a imagem que está associada inicialmente a este termo será a de um primata; entretanto, se esta frase for repetida dentro de uma oficina mecânica, o mecânico certamente pensaria em um *macaco hidráulico* utilizado para elevar carros.

A definição de uma variável linguística dependerá não só do conceito a ser representado, mas também do contexto no qual ela está sendo utilizada. Por exemplo, a variável linguística *temperatura alta* tem um determinado significado em um contexto climático (talvez uma temperatura acima de 30°C), enquanto no contexto de um reator nuclear seria necessariamente associada a um conjunto nebuloso diferente. O mesmo

aconteceria se a variável fosse usada para diferentes estações do ano, dentro do contexto climático.

Mesmo para contextos similares, quando os conjuntos nebulosos representam o mesmo conceito, os conjuntos podem variar consideravelmente, de acordo com a aplicação a ser atendida. Neste caso, é comum eles serem similares em algumas características chaves. Como exemplo, sejam quatro conjuntos nebulosos cujas funções de pertinência são mostradas na Figura 13. Na figura, cada um destes conjuntos nebulosos expressa, de uma forma particular, o conceito geral de uma classe de “*números reais que são próximos de 2*” (KLIR, YUAN, 1995 *apud* CUGNASCA, 1999).

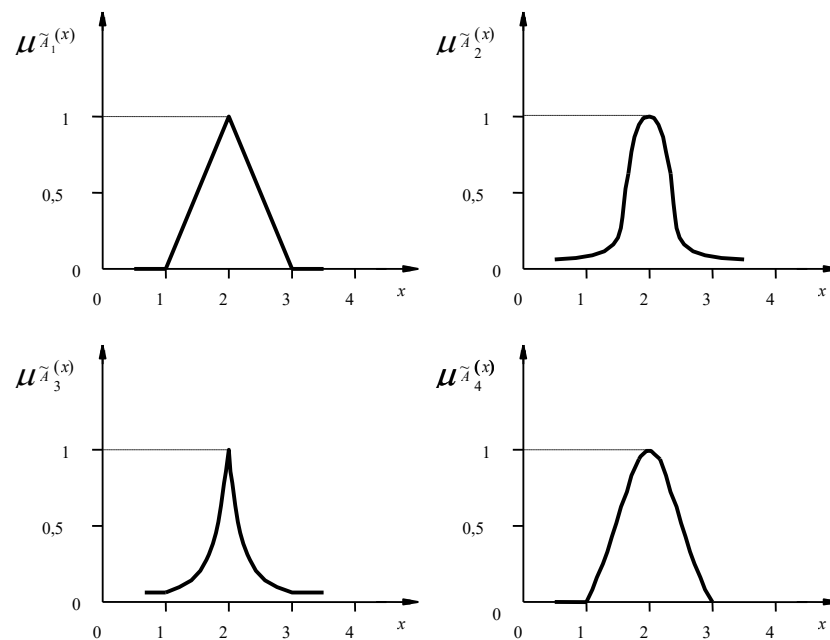


Figura 13 - Exemplos de funções de pertinência: “*números reais que são próximos de 2*”.

Apesar de suas diferenças, os quatro conjuntos nebulosos são semelhantes, uma vez que as seguintes propriedades são comuns e necessárias a cada conjunto para a definição do conceito “*números reais que são próximos de 2*”.

- $\mu_{\tilde{A}_i}(2) = 1$;
- $\mu_{\tilde{A}_i}(x) < 1$ para todo $x \neq 2$;
- $\mu_{\tilde{A}_i}(x)$ é simétrica em relação ao valor $x = 2$; e

- $\mu_{\tilde{A}_i}(x)$ decresce monotonicamente a partir do valor de pertinência igual a 1, até atingir o valor 0, à medida que o módulo da diferença entre x e 2 ($|2-x|$) aumenta.

O formato de cada uma das funções de pertinência representadas na Figura 13 procura refletir, além do conceito “*números reais que são próximos de 2*”, o contexto específico no qual cada uma está inserida. Dependendo da aplicação, o formato exato da função de pertinência pode não ter influência significativa no resultado obtido (por exemplo, os formatos de $\mu_{\tilde{A}_1}(x)$ e $\mu_{\tilde{A}_4}(x)$ são semelhantes); em muitas situações, a forma triangular (função $\mu_{\tilde{A}_1}(x)$) pode ser uma maneira conveniente de representação, o que facilita a implementação de algoritmos computacionais (KLIR, YUAN, 1995).

Em particular, quando se deseja representar dentro de um sistema nebuloso uma variável na forma *crisp*, tem-se o chamado *fuzzy singleton*, que é um conjunto nebuloso representado por um único ponto.

2.6 Considerações Finais do Capítulo

A teoria dos conjuntos nebulosos apresentada neste Capítulo é utilizada nos capítulos seguintes para a formulação do modelo proposto neste trabalho de pesquisa. Na sequência, o Capítulo 3 apresenta as etapas da modelagem nebulosa, enquanto o Capítulo 4 apresenta o modelo nebuloso proposto para o processo de recebimento de animais no Zoológico de São Paulo.

3 MODELAGEM NEBULOSA

O início da década de 50 do século passado é o momento da passagem da sociedade baseada no capital para a sociedade baseada em conhecimento (GEUS, 1977).

Quando se trabalha com dados que na sua forma original são números, tornam-se necessários elementos adicionais para converter dados de/para o modelo nebuloso na entrada e/ou saída do processo. Estes elementos são denominados de “fuzificador” e “defuzificador”, palavras estas utilizadas pela comunidade científica nacional como alternativas aos termos originais em inglês “fuzzyfier” e “defuzzyfier”. Esses elementos são responsáveis por transformar os dados numéricos de entrada em conjuntos nebulosos (*fuzificador*) e em transformar os conjuntos nebulosos obtidos na saída do sistema em valores numéricos (*defuzificador*) (LEE, 1990a); (LEE, 1990b).

3.1 Etapas Básicas da Construção de um Modelo Nebuloso

A seguir são descritas as etapas básicas para a construção de um modelo nebuloso que é formado por: **interface de fuzificação, base de conhecimento, lógica de tomada de decisões e interface de defuzificação.**

A interface de “fuzificação” (do inglês, “fuzzyfication”) mapeia as variáveis de entrada de um processo, definidas em um universo de discurso correspondente, convertendo-as em valores linguísticos. As etapas para esta conversão são as seguintes (LEE, 1990a); (LEE, 1990b):

- ↳ Avaliações dos valores das variáveis de entrada;
- ↳ Execução de um mapeamento que transfere o intervalo de valores das variáveis de entrada para o universo de discurso correspondente; e
- ↳ Execução de uma função de *fuzificação* que converte o dado de entrada em um valor linguístico adequado que pode ser visto como um termo ou etiqueta linguística de um conjunto nebuloso.

A base de conhecimento consiste de:

- ↳ Uma base de dados que provê as definições necessárias para a construção de regras linguísticas e manipulação de dados nebulosos.

- ↳ Uma base de regras que caracteriza o objetivo do controle e gerencia a prática do domínio do especialista por meio do conjunto de regras de controle linguístico.

A lógica de tomada de decisões, que compõe o núcleo básico do modelo, tem a capacidade de simular a forma de raciocínio humano e de deduzir ações a serem tomadas através de implicações e regras de inferência construídas por meio da lógica nebulosa.

A interface de “*defuzificação*” (do inglês, “*defuzzification*”) executa as seguintes funções:

- ↳ Mapeia (converte) o intervalo da variável linguística de saída para um universo de discurso correspondente; e
- ↳ Produz um resultado numérico relativo à resposta nebulosa.

A Figura 14 apresenta as partes essenciais do modelo nebuloso brevemente descrito. O **modelo** como um todo representa a aplicação do conhecimento do especialista na solução de um problema próprio do domínio da aplicação que o sistema se propõe a resolver. Para isto, as **entradas** do sistema, que representam as informações sobre as **condições** iniciais do problema, devem ser traduzidas (através do **módulo de fuzificação**) para permitir o seu processamento pelo sistema.

A **máquina de inferência nebulosa** recebe as variáveis de entrada, já na forma nebulosa, e aplica sobre elas o conhecimento do especialista expresso na **base de regras nebulosas**. Com isto, produz **variáveis de saída** também de forma nebulosa onde estão representados os conselhos do sistema especialista na solução do problema em questão.

O passo final deste processo consiste em se efetuar a tradução das variáveis de saída (através do **módulo de defuzificação**) em **ações** que representam as **saídas** do sistema propriamente ditas.

Durante a etapa de concepção do modelo nebuloso, o **Engenheiro do Conhecimento** efetua a **aquisição do conhecimento** especialista, através de técnicas formais apropriadas, consultando os **Especialistas** no domínio do problema a ser resolvido e, posteriormente, faz a **tradução do conhecimento** para a forma de variáveis linguísticas e regras de inferências nebulosas.

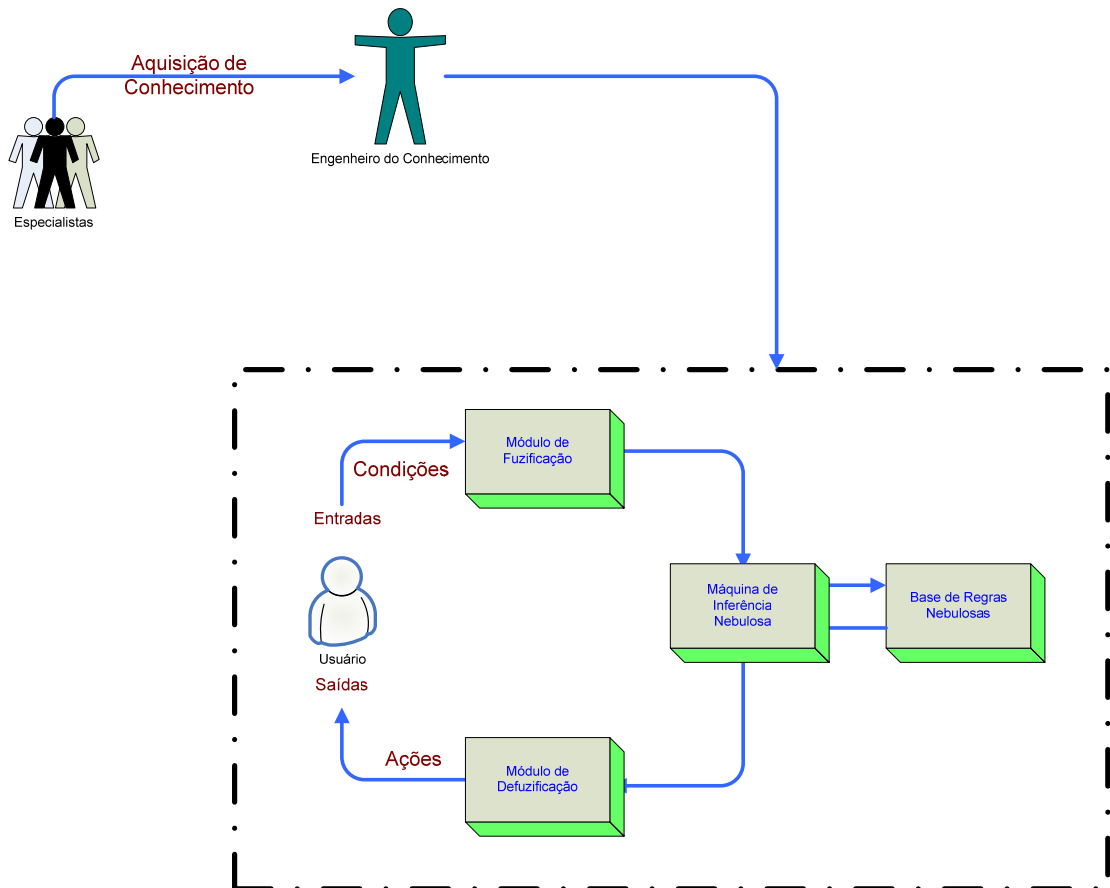


Figura 14 - Diagrama do Modelo Nebuloso.

A seguir, são apresentadas com maiores detalhes as etapas básicas do modelo nebuloso descrito.

3.1.1 A estratégia de *fuzificação*

Os dados de entrada em aplicações que usam a lógica nebulosa são usualmente *crisp*. A manipulação dos dados, nesses casos, é baseada na teoria dos conjuntos nebulosos, sendo a etapa de *fuzificação* necessária em um estágio inicial. Os seguintes tipos de conversão são usados para se efetuar uma *fuzificação* (LEE, 1990a).

- (1) **Conversão *Singleton*:** neste tipo de conversão, um operador de *fuzificação* converte um valor *crisp* em um *fuzzy singleton* (conjunto nebuloso representado por um único ponto) dentro de um certo universo de discurso. Basicamente, um *fuzzy singleton* é um valor preciso e, conseqüentemente, nenhuma imprecisão é introduzida pelo processo de *fuzificação* neste caso;
- (2) **Conversão Probabilística:** neste tipo de conversão, um operador de *fuzificação* converte dados probabilísticos em números nebulosos. Deste modo, a eficiência

computacional da conversão é maior, já que números nebulosos são mais fáceis de serem manipulados do que variáveis aleatórias. A função de *fuzificação* pode ser de forma simplificada representada por um triângulo isósceles, onde o vértice corresponde ao valor médio do conjunto de dados e a base é duas vezes o desvio padrão do conjunto de dados. Desta forma, forma-se um número nebuloso triangular que é mais facilmente manipulado por métodos computacionais; e

- (3) **Conversão Híbrida:** em sistemas de larga escala e outras aplicações onde algumas observações relativas ao comportamento de tais sistemas são precisas, enquanto outras só são mensuráveis em um senso estatístico, é utilizado o tipo de conversão híbrida, onde são necessárias características de conversão dos tipos anteriores descritos.

3.1.2 A base de conhecimento

Base de dados

A base de conhecimento em um modelo nebuloso é composta por uma base de dados e por uma base de regras nebulosas. Os conceitos associados com uma base de dados são usados para caracterizar as regras de controle de dados nebulosos e a manipulação de dados nebulosos. Os conceitos são subjetivamente definidos e baseados na experiência e julgamento do especialista. Verifica-se que a escolha correta de uma função de pertinência e de um conjunto de termos representa uma tarefa essencial no sucesso de qualquer aplicação a ser desenvolvida utilizando-se a teoria nebulosa.

Base de regras

Um sistema nebuloso é caracterizado por um conjunto de regras linguísticas baseadas no conhecimento do especialista. O conhecimento do especialista é usualmente expresso na forma de sentenças do tipo

IF (antecedente) – THEN (consequente)

ou

SE (antecedente) – ENTÃO (consequente)

que são facilmente implementadas por expressões condicionais nebulosas. Cada regra é aplicada ao vetor de variáveis de entrada e, uma vez verificados os *antecedentes* (condição a ser avaliada), um *consequente* é produzido no conjunto de variáveis de saída. Caso a condição não seja verificada, o *consequente* não é produzido. A coleção de regras de controle nebuloso, que são representadas como expressões condicionais nebulosas, forma a base de regras ou o conjunto de regras de um sistema especialista nebuloso. As regras nebulosas são mais facilmente formuladas em termos linguísticos do que na forma numérica, conforme o seguinte exemplo:

Conhecimento do especialista:

*“A floresta nesta região está **muito fragmentada** e o número de animais desta espécie **diminuiu muito**. Vamos **aumentar a reprodução** em cativeiro para tentar a re-introdução destes animais nesta área”*

Regra linguística:

***SE** (animais = poucos) **E** (floresta fragmentada = muito)*

***ENTÃO** (reprodução = aumentada)*

3.1.3 A lógica de tomada de decisão

A lógica de tomada de decisões consiste na aplicação da base de regras nebulosas ao conjunto de variáveis de entrada do sistema, de forma a se obter, por inferência, um conjunto de variáveis de saída, que correspondem a decisões sugeridas para o usuário do sistema. Esta atividade simula a forma de raciocínio humano, permitindo a dedução de ações a serem tomadas através de implicações e regras de inferência construídas por meio da lógica nebulosa.

3.1.4 A estratégia de defuzificação

A estratégia de *defuzificação* visa produzir uma ação não nebulosa que melhor represente a distribuição de possibilidades de uma ação de inferência nebulosa. As estratégias mais utilizadas são:

(1) Critério do Máximo

O método de critério do máximo produz o ponto em que a distribuição de possibilidades da ação do controle atinge um valor máximo, conforme ilustra a Figura 15.

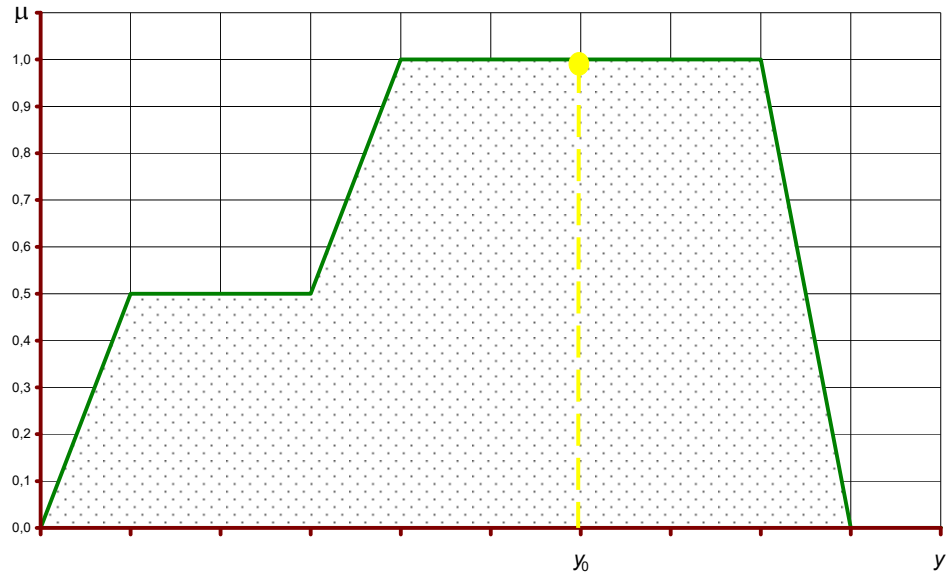


Figura 15 - Exemplo do método de *defuzificação* “Critério dos Máximos”.

(2) Média dos Máximos (MM)

O método de *defuzificação* da Média dos Máximos (MM) gera um resultado que representa o valor médio de todas as ações de controle locais cuja função de pertinência atingiu o máximo (KLIR, YUAN, 1995). A Figura 16 apresenta um exemplo desse método.



Figura 16 - Exemplo do método de *defuzificação* “Média dos Máximos”.

(3) Centro de Área (CoA)

O método do Centro de Área, mostrado na Figura 17, também é citado na literatura como o método do Centro de Gravidade ou do Centróide (KLIR, YUAN, 1995). O amplamente usado método do Centro de Área (CoA) gera o centro de gravidade da distribuição de possibilidade da ação de controle. Braae e Rutherford (apud KLIR, YUAN, 1995) apresentam uma análise detalhada de várias estratégias de *defuzificação*, concluindo que a estratégia CoA produz melhores resultados.

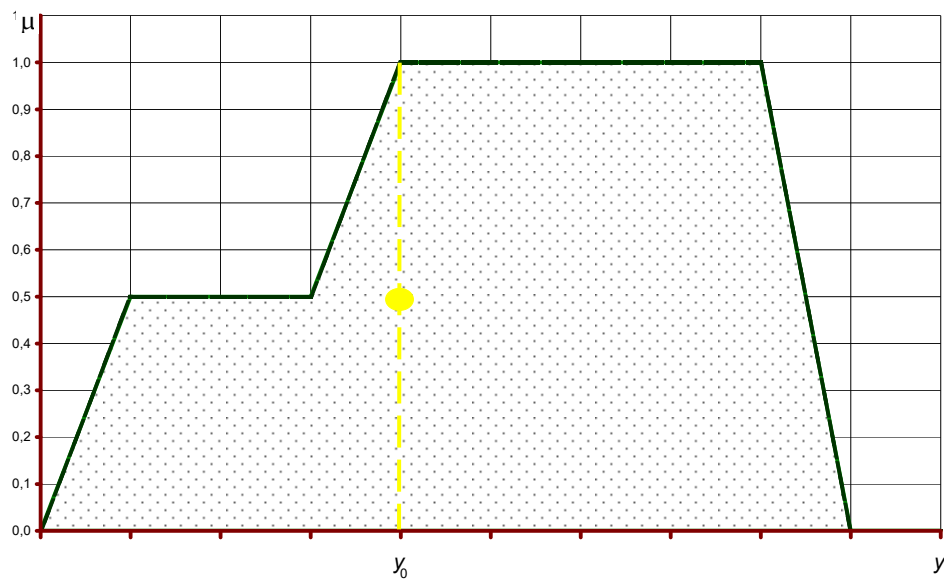


Figura 17 - Exemplo do método de *defuzificação* “Centro de Área” ou “Centróide”.

3.2 O Conhecimento

O conhecimento do especialista é a parte mais importante do modelo de um sistema de inferência nebulosa. Por isso, merece um maior detalhamento, o que é feito na sequência.

3.2.1 Definições

Para a construção da base de conhecimento de um sistema especialista é necessário, primeiramente, definir o que é conhecimento, diferenciando este dos conceitos de dado e informação.

O **dado** é um elemento puro, quantificável sobre um determinado evento. Os dados são matérias-primas que podem ser transformadas em informação (REZENDE, 2003). Eles

podem estar armazenados em forma de documentos e banco de dados, possibilitando sua recuperação, quando necessário. Exemplo: valor do dólar em um determinado dia.

A **informação** são dados dotados de propósito e relevância, envolvendo a interpretação de um conjunto de dados (REZENDE, 2003). Exemplo: valor do dólar em um determinado dia do ano associado à sua variação em relação ao dia anterior, no mês e no ano, possibilitando identificar a sua tendência de comportamento futuro.

O **conhecimento** é uma mistura fluida de: experiência condensada, valores, informação contextual e visão experimental. Essa mistura proporciona uma estrutura para avaliação e incorporação de novas experiências e informações. O conhecimento tem origem e é aplicado na própria mente dos especialistas.

Então, pode-se dizer que o dado se transforma em informação quando adquire significado, e a informação torna-se conhecimento quando a ela se acrescenta significado (REZENDE, 2003).

Por fim, *“uma decisão é um uso explícito do conhecimento. O conhecimento pode ser representado como uma combinação de estruturas de dados e procedimentos interpretativos que levam a um comportamento conhecido. Este comportamento fornece informações a um sistema que pode, então, planejar e decidir”* (REZENDE, 2003).

3.2.2 A aquisição do conhecimento

O processo de criação das bases de conhecimento é considerado, ainda hoje, a parte de um projeto que apresenta maior dificuldade na construção dos sistemas inteligentes. Vários métodos de aquisição do conhecimento, semi-automáticos e automáticos, vêm ganhando força pelo potencial de aperfeiçoar esse processo e também de diminuir o viés causado pelo observador humano, no caso o Engenheiro de Conhecimento em (GARCIA, VAREJÃO, FERRAZ, 2003).

Entretanto o termo **aquisição de conhecimento** possui um sentido mais vasto que apenas o de elicitação. É definido por (BUCHANAN, BARSTOW, BECHTEL, 1983) como sendo a transferência (ou transformação) do conhecimento especializado com potencial para resolução de problemas de alguma fonte de conhecimento para um programa de computador. Essa definição reforça a importância do papel do Engenheiro de Conhecimento no processo de aquisição do conhecimento. O engenheiro do

conhecimento não é apenas um extrator do conhecimento, mas é responsável também pela interpretação e representação do conhecimento do domínio em questão.

A aquisição de conhecimento pode ser pensada como um processo de modelagem de problemas e soluções pertinentes às tarefas em um domínio específico. Conhecimentos sobre o domínio do problema formam o material observado e interpretado pelo Engenheiro de Conhecimento para a criação do modelo computacional.

3.2.3 Técnicas para aquisição de conhecimento

Diversas técnicas de aquisição de conhecimento têm sido criadas na tentativa de sistematizar e facilitar essa tarefa. As técnicas de aquisição de conhecimento são classificadas em **manuais**, **semi-automáticas**, **automáticas** (REZENDE, 2003).

As técnicas **manuais** representam as diretrizes do processo conduzido pelos Engenheiros de Conhecimento. A maioria das técnicas manuais baseia-se na psicologia e na análise do sistema. O Engenheiro de Conhecimento é responsável por adquirir o conhecimento do especialista ou de outras fontes e, depois, codificá-lo em uma base de conhecimento. Técnicas manuais podem ser classificadas de acordo com a forma de obtenção do conhecimento, podendo ser baseadas em (GARCIA, VAREJÃO, FERRAZ, 2003):

- ↳ **descrição:** consiste em estudar e analisar textos de referência, como livros da área;
- ↳ **entrevistas:** nesta técnica são realizadas entrevistas com o especialista. As informações podem ser coletadas com o auxílio de gravadores, filmadoras, questionários, ou qualquer outro meio possível. Essas informações são posteriormente analisadas para se extrair o conhecimento desejado;
- ↳ **acompanhamento:** este método consiste em acompanhar a forma de raciocínio do especialista em casos reais com o objetivo de preencher lacunas no processo de aquisição do conhecimento. Assim, são pesquisados casos em prontuários ou antigos projetos resolvidos anteriormente pelo especialista. Isso estimula a descrição do especialista sobre o assunto em questão. Esta técnica, por utilizar casos reais, evita que o especialista seja direcionado a responder questões irrelevantes; no entanto, nem sempre se consegue uma

amostragem de casos realmente representativo, porém é de extrema utilidade para esclarecer dúvidas na construção do modelo; e

- ↪ **modelos:** essa técnica é fortemente baseada no uso e reuso de componentes do conhecimento, isto é, nas descrições estruturadas do conhecimento genérico envolvido na resolução do problema. Utilizam-se as fontes de conhecimento disponíveis para a formulação de um modelo geral do conhecimento de uma determinada aplicação.

As técnicas **semi-automáticas** têm como objetivo dar aos especialistas ferramentas que possibilitem a criação dos sistemas, minimizando a necessidade de um Engenheiro de Conhecimento. Estas ferramentas são classificadas como sendo baseadas:

- ↪ **no reuso da representação e dos mecanismos de inferência:** a forma de representação e o mecanismo de inferência utilizados por um determinado sistema baseado no conhecimento podem ser reusados em aplicações similares em outros domínios;
- ↪ **no reuso do conhecimento de domínio:** algumas ferramentas usam o conhecimento do domínio no qual são aplicadas para interrogar o engenheiro de conhecimento ou o especialista a respeito do conhecimento necessário para completar o sistema baseado no conhecimento;
- ↪ **no reuso do método de resolução de problemas:** reuso de métodos genéricos de resolução de problemas, oferecendo uma sequência abstrata de etapas que devem ser realizadas para resolver uma determinada classe de problemas;
- ↪ **no reuso de modelos:** diversas tentativas foram feitas para promover o compartilhamento e reuso de conhecimento. Um desses esforços foi a tentativa de criação de uma linguagem universal intermediária, denominada KIF (*Knowledge Interchange Format*), a partir da qual o conhecimento expresso em uma base, usando uma linguagem de representação, pode ser movido para uma outra base, eventualmente, usando outra linguagem de representação;
- ↪ **em ontologias reusáveis:** é possível criar componentes reusáveis por meio da confecção e disponibilização do universo de aplicação em caráter

genérico, descrevendo conceitos e relações que podem ser usados em diferentes bases de conhecimento; e

- ↪ **em técnicas provindas da psicologia:** o método mais conhecido é o AGR (Análise de Grades de Repertório) baseado em um modelo de raciocínio humano denominado “teoria de construção pessoal”. Cada pessoa é vista como um cientista, capaz de prever e controlar eventos, formando teorias, tentando hipóteses e analisando resultados de experimento. O conhecimento e a percepção sobre o mundo (um domínio ou problema) são classificados e categorizados para cada indivíduo, formando um modelo de percepção pessoal. Baseado nesse modelo, cada pessoa é capaz de antecipar situações e atuar sobre essas antecipações. O modelo pessoal descreve o desenvolvimento e o uso do conhecimento do especialista no trabalho e é passível de ser implementado em um sistema baseado no conhecimento.

Por fim, as técnicas **automáticas** visam extrair conhecimento de dados e/ou informações referentes ao domínio do problema através de sistemas computacionais, podendo ser de três tipos:

- ↪ **aprendizado de máquina:** tem como objetivo desenvolver técnicas computacionais sobre o aprendizado e a construção de sistemas capazes de adquirir conhecimentos de forma automática. Um sistema de aprendizado de máquina é um programa computacional que toma decisões baseado em experiências acumuladas por meio de soluções bem sucedidas de problemas anteriores;
- ↪ **mineração de dados:** é o processo de identificação de padrões válidos, novos, potencialmente úteis e compreensíveis embutidos nos dados, extraindo-se conhecimento embutido na base de dados; e
- ↪ **mineração de textos:** é o conjunto de técnicas e processos que descobre um conhecimento implícito nos textos.

A seguir será detalhada a técnica de aquisição de conhecimento baseada em entrevistas, que foi utilizada como processo de aquisição de conhecimento para a construção do modelo neste trabalho de pesquisa.

3.2.4 A técnica de aquisição de conhecimento baseada em entrevistas

Dentre as técnicas de aquisição do conhecimento classificadas como manuais, a mais difundida é a técnica **baseada em entrevistas**, que envolve um diálogo direto com os especialistas. Na aplicação desta técnica, gravadores e questionários auxiliam na coleta e no armazenamento da informação. O material gravado das entrevistas pode ser posteriormente transcrito e depois analisado e modelado. Dentre as diferentes técnicas existentes de entrevistas, podem ser citadas a entrevista não-estruturada e a entrevista estruturada (GARCIA, VAREJÃO, FERRAZ, 2003).

A entrevista não estruturada

A **entrevista não estruturada** pode ser utilizada na fase inicial de identificação do problema, na qual o escopo e o foco da aplicação são determinados. As entrevistas não-estruturadas são dirigidas de maneira informal, economizando tempo e possibilitando conhecer mais rapidamente o domínio do problema. Entretanto, dificilmente oferecem uma descrição completa e bem organizada do conhecimento do especialista, sendo a informação obtida, na maioria das vezes, desconexa e complexa, provocando dificuldades para revisá-la, interpretá-la e integrá-la.

Este tipo de entrevista consiste em descobrir os atributos do problema onde o especialista mais se detém e em trazer à tona o processo de raciocínio usado pelo especialista na interpretação desses atributos. Os produtos gerados destas entrevistas não-estruturadas formaram o escopo do domínio e a lista dos fatores que influenciam a recepção dos animais.

A entrevista estruturada

Esta abordagem da **entrevista estruturada** possui relação com o tipo anterior, a entrevista não estruturada, apesar de ser expressivamente mais produtiva. Esta abordagem fundamenta-se em um processo sistemático orientado a um objetivo que leva a uma comunicação organizada com o especialista. Isso ajuda a evitar distorções decorrentes da subjetividade. As entrevistas podem ser planejadas e estruturadas através de formulários. Deve-se ter a preocupação de não influenciar o especialista, o que produziria falsos resultados. Na entrevista estruturada, uma das formas de realizá-la é por meio da abordagem retrospectiva. Neste caso, o especialista é solicitado a revisar

casos antigos, explicando em retrospecto como o caso foi solucionado e que fatores influenciaram nesta solução. Os aspectos abaixo devem ser observados com atenção:

- ↪ Como o especialista observa o problema?
- ↪ Como ele emprega seu conhecimento para resolver o problema?
- ↪ Como as soluções são identificadas e classificadas pelo especialista?
- ↪ Quais são os conhecimentos importantes?
- ↪ Como é a abordagem da solução do problema?

3.3 Alguns Exemplos de Modelos Nebulosos Aplicados à Biologia

Os exemplos de modelos apresentados nesta seção foram desenvolvidos no centro ecológico da *University of Kiel* (Alemanha) usando o sistema de suporte à modelagem produzido na universidade, que emprega a lógica nebulosa para tratar o raciocínio aproximado e os conjuntos nebulosos para modelar a incerteza presentes nos dados, denominado FLECO.

No artigo “*A fuzzy knowledge-based model of population dynamics of the Yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) in a beech Forest*” (BOCK, SALSKI, 1998), os autores definiram, como variáveis de entrada de seu sistema nebuloso, os fatores que mais afetavam, ao longo do tempo, a quantidade de indivíduos na população do *rato de coleira amarela*, nas florestas de faia, isto é, o *peso* do animal, os *alimentos* disponíveis, a *umidade* da superfície do solo e a própria *abundância* do *rato de coleira amarela* que também é o resultado deste modelo apresentado na Figura 18.

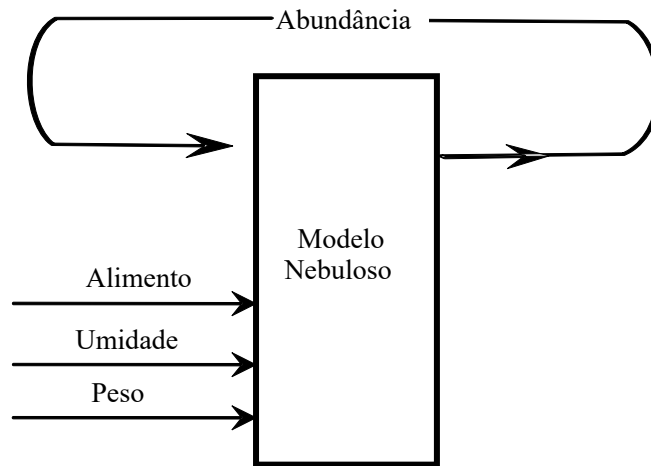


Figura 18 - A previsão da abundância do rato de coleira amarela.

No artigo, “*Fuzzy knowledge-based model of annual production of skylarks*”, Daunicht et. al (1996) apresentam um modelo que calcula o número de pares reprodutivos e a produção de novos ninhos de folhas da ave *skylarks* (*Alauda arvensis*) com base na avaliação da estrutura da vegetação do habitat natural da ave no começo do período da procriação. A diversidade de tipos de vegetação e o número de territórios também são avaliados. Na Figura 19 é apresentado o diagrama do modelo.

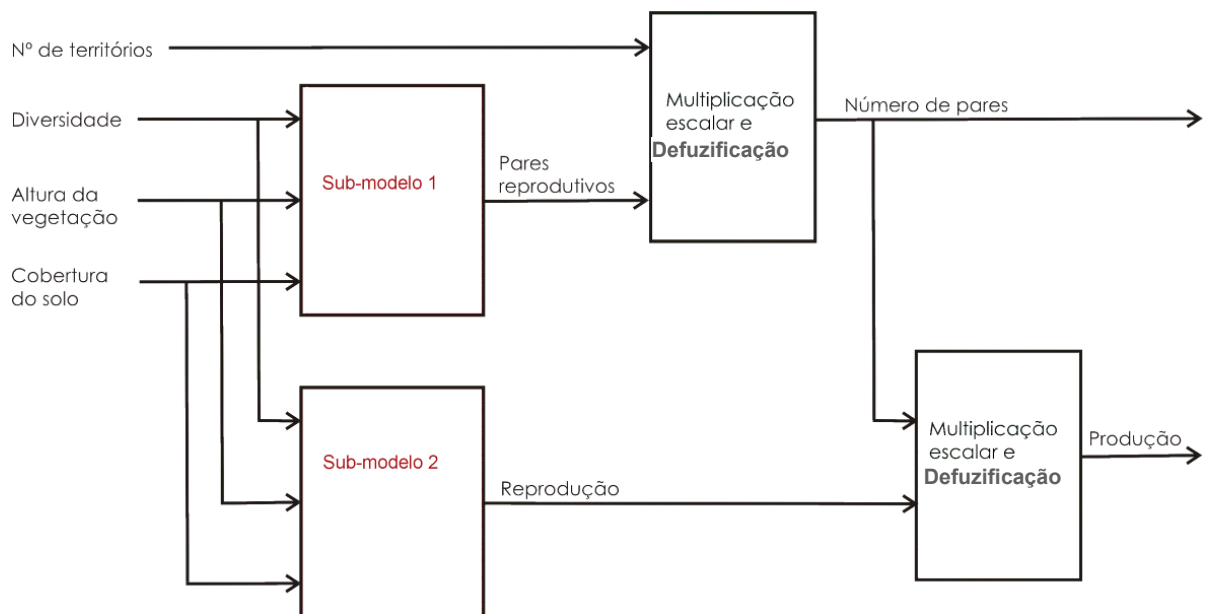


Figura 19 - Estrutura do Modelo Nebuloso da produção anual de *skylarks*.

3.4 Considerações Finais do Capítulo

Este Capítulo apresentou as etapas da construção de um modelo nebuloso de inferência, explicitando as diferentes técnicas de aquisição do conhecimento dos especialistas. Uma vez formalizada a estrutura do modelo nebuloso, no Capítulo 4 é apresentado o modelo proposto neste trabalho construído a partir de tais técnicas.

4 MODELO NEBULOSO PARA O PROCESSO DE RECEBIMENTO DE ANIMAIS NO ZOOLOGICO DE SÃO PAULO

O Zoológico de São Paulo possui, em seu acervo, mais de 3.200 animais, agrupados em 102 espécies de mamíferos, 216 espécies de aves, 95 espécies de répteis, 15 espécies de anfíbios e 16 espécies de invertebrados, em uma área de 824.529m² de Mata Atlântica original, na cidade de São Paulo. Uma das melhores partes da modelagem do sistema proposto foi a ida até o Zoológico para as entrevistas, um dos lugares mais bonitos da cidade.

4.1 Introdução

A Fundação Parque Zoológico do Estado de São Paulo – FPZSP, assim como os zoológicos mundiais, tem como um dos seus objetivos principais, o seu envolvimento, fundamentalmente, com a educação ambiental e com a pesquisa científica. Uma das maiores preocupações dos zoológicos é com a posse responsável¹, tanto dos animais domésticos como dos animais silvestres, sendo que estes últimos nunca deveriam ter sido tirados de seu habitat natural.

Assim como acontece com os animais domésticos, como cães e gatos, as espécies silvestres também são vítimas de abandono por parte da população. Entretanto, diferentemente dos animais domésticos, algumas espécies silvestres acabam tendo como destino final a doação para os zoológicos em geral. É o que ocorre, também, com o Zoológico de São Paulo. Normalmente esses animais são tirados do habitat natural em que vivem por pessoas inescrupulosas, que lucram com as suas vendas, acabando por serem comprados pela população pouco esclarecida, para pura diversão. No início, todos os animais parecem interessantes; entretanto, são poucas as pessoas com o conhecimento, o espaço e a paciência necessários para cuidar desses animais e, quando cessa o interesse, esses animais são descartados em centros de recuperação e zoológicos. No entanto, muitos zoológicos e centros de recuperação estão com sua capacidade quase esgotada. Os técnicos desses estabelecimentos têm, então, que decidir quais animais

¹ O termo **posse responsável** é definido como a condição na qual o guardião de um animal de companhia aceita e se compromete a assumir uma série de deveres centrados no atendimento das necessidades físicas, psicológicas e ambientais de seu animal, prevenir os riscos (potencial de agressão, transmissão de doenças ou danos a terceiros) que seu animal possa causar à comunidade ou ao ambiente, como interpretado pela legislação pertinente (WSPA, 2005).

possuem maior importância, para poderem ser acolhidos, segundo alguns critérios, na maioria das vezes subjetivos.

Considerando este cenário, torna-se importante a construção de um modelo para o processo de recebimento de animais no Zoológico de São Paulo, com o objetivo de auxiliar o técnico do estabelecimento a decidir se o zôo poderá, ou não, receber o animal, baseado na experiência do especialista do zôo, experiência esta a ser incorporada no modelo, durante o seu desenvolvimento.

4.2 O Processo de Recebimento de Animais do Zôo de São Paulo

Quando um animal chega ao Zoológico de São Paulo, ele é primeiro avaliado para verificar se há tanto algum interesse quanto infra-estrutura necessária para recebê-lo. Quando o zôo não tem interesse ou infra-estrutura para receber o animal, um técnico orienta a pessoa que está encaminhando o animal a levá-lo para algum outro centro de recuperação (por exemplo, o Centro de Triagem de Animais Silvestres – CETAS, que é municipal, ou o CEMAS – Centro de Estudos e Manejo de Animais Silvestres da Fundação Florestal, que é estadual).

Por não possuir infra-estrutura para abrigar todos os animais trazidos pela população, inicialmente o Zoológico tem como norma não receber nenhum espécime. Entretanto, os técnicos do Zoológico, seguindo alguns critérios pré-determinados, critérios esses nem sempre objetivos, podem receber, excepcionalmente, alguns animais.

Como exemplo de animais recebidos, citam-se dois mamíferos marsupiais brasileiros, uma cuíca e uma lutriolina, recebidos em 2002, que foram adquiridos para um projeto com apoio financeiro do Cartão de Crédito Visa que se destinava, inicialmente, a trazer um coala (*Phascolarctos cinereus*), marsupial australiano, para ser colocado em exposição em um recinto especial a ser construído e que, posteriormente, foi ampliado para divulgar também os marsupiais brasileiros. Neste caso, havia interesse do Zoológico de São Paulo em divulgar a fauna marsupial do Brasil e também havia verba para montar a infra-estrutura necessária para abrigá-los.

Em 2002 foi aceito, também, um macho de Araçari poca (*Selenidera maculirostris*) para palear com uma fêmea já existente. Neste caso, havia um interesse em pesquisar a reprodução desta espécie, que nunca foi reproduzida em cativeiro. Neste mesmo ano, uma jararaca (*Bothrops jararaca*) foi aceita porque o técnico percebeu que a pessoa que

a trazia poderia abandoná-la em um lugar não apropriado, por não estar disposto a levá-la para outra instituição, podendo o animal acarretar perigo à população.

4.3 O Processo de Aquisição de Conhecimento

Quando este trabalho teve início, uma das maiores dificuldades encontradas foi a de como obter o conhecimento dos especialistas do Zoológico de São Paulo a respeito do processo de recebimento de animais, conhecimento esse que, por não estar formalizado, é muito fluido, estando consciente ou inconscientemente nas mentes dos técnicos especialistas do zôo. Para a realização deste trabalho foram utilizadas, então, algumas formas de aquisição de conhecimento (elicitção), para sistemas especialistas de apoio à decisão.

Primeiramente, foi realizada uma reunião inicial de trabalho envolvendo os principais especialistas do Zoológico, que eram os chefes de cada um dos setores de animais, como uma tentativa de se captar o conhecimento especialista existente, considerando os diversos grupos de animais. Esta reunião, gravada para futuras consultas, mostrou-se pouco produtiva e objetiva, pois poucas informações puderam ser obtidas com sucesso, mas serviu para que se pudesse ter uma visão geral do processo de recebimento de novos espécimes.

Uma segunda etapa de entrevistas foi realizada com cada um dos chefes de setores, mudando-se o foco das mesmas. Diferentemente da etapa anterior, foi solicitado a cada especialista que descrevesse o motivo da aceitação de cada animal recebido no biênio de 2002/2003. O conjunto de motivos de aceitação dos animais relatados pelos especialistas representa parte do conhecimento a ser utilizado na modelagem. Este procedimento mostrou-se muito proveitoso para esse trabalho de pesquisa.

4.3.1 Os procedimentos adotados para a aquisição de conhecimento

Os procedimentos adotados para a aquisição do conhecimento do especialista podem ser formalmente descritos pelos seguintes passos:

- (1) Uma **entrevista não-estruturada**, no formato de uma entrevista coletiva, onde estavam presentes a chefe do Setor de Mamíferos, o chefe do Setor de Aves e o chefe do Setor de Répteis, que resultou em uma visão geral do domínio do problema

a ser resolvido. Foi disponibilizada a relação dos Termos de Entrega (lista de animais recebidos) para o biênio 2002/2003, presente no Anexo VII;

- (2) Foram feitos contatos individuais, nos moldes dos **acompanhamentos de caso**, onde cada chefe de setor detalhou os motivos da recepção do animal do setor de sua responsabilidade, presentes na lista de animais aceitos no biênio 2002/2003, permitindo que fosse possível a extração dos fatores que mais influenciaram na aceitação de cada animal;
- (3) Uma **entrevista estruturada**, feita com auxílio de um questionário gerado a partir dos principais fatores de aceitação ou rejeição de animais, extraídos dos **acompanhamentos de caso**. Assim, um **questionário** em forma de tabela foi aplicado (vide Anexo IV). Na tabela em questão, cada linha representa um animal já recebido e as colunas apresentam os principais fatores que poderiam influenciar, ou não, na recepção de cada animal. Foi solicitado ao especialista do zôo que cada fator fosse avaliado com notas de **0** a **5**, de acordo com a interferência do fator na recepção do animal, onde a nota **0** significa que não houve influência do fator na aceitação do animal e a nota **5** indica que houve plena influência do fator na aceitação do animal. Os resultados desta avaliação estão na tabela do Anexo V.

4.3.2 Construção do modelo

Com as informações presentes nos **acompanhamentos de caso** e nos **questionários**, foi possível verificar quais eram os principais fatores que influenciaram cada aceitação no zôo. Esses fatores, no modelo proposto, deram origem às variáveis linguísticas e, a interação entre estas variáveis, compuseram as regras linguísticas que foram usadas no modelo.

4.3.2.1 Os fatores que influenciam a recepção

Com base nas informações oriundas dos estudos de caso de cada setor do Zoológico de São Paulo, gerou-se uma lista contendo o nome de cada animal que foi aceito no biênio 2002/2003 e quais os motivos para que ele fosse aceito pelos técnicos (vide anexo V). Assim, foi possível perceber que vários fatores tinham grande influência na aceitação de um espécime. Por exemplo, o fato de um animal estar ameaçado de extinção ou se a espécie pode ser usada em alguma das atividades do programa de educação ambiental, como o Projeto Rapinantes e a Casa das Serpentes.

A seguir são listados e brevemente explicados os fatores que são de grande importância para estes especialistas, identificados a partir das **entrevistas** realizadas:

- (1) **Adaptação ao clima da cidade:** indica as facilidades que o animal possui em se adaptar ao clima de São Paulo, que é caracterizado por mudanças bruscas de temperatura e baixa umidade;
- (2) **Alimentação:** a princípio, este é um dos fatores mais importantes, pois alguns animais utilizam na sua alimentação itens peculiares, como espécies determinadas de insetos ou frutas da região de origem. Estas dietas dos animais podem ser difíceis de serem reproduzidas, podendo ser necessário, além de substituí-las por outros alimentos, também complementá-las com outros nutrientes, para evitar que o animal fique desnutrido;
- (3) **Alojamento:** o Zoológico mantém os seus animais em recintos e terrários amplos e semelhantes aos habitat naturais. A facilidade na reprodução do habitat natural de um espécime ou sua facilidade de adaptação a esses recintos pode representar a chance de sobrevivência do animal em cativeiro. A existência de um recinto já adaptado a uma espécie e com vaga disponível pode influenciar no recebimento de um espécime;
- (4) **“Trocável”:** alguns animais podem ser usados para “permuta” com outras instituições e zoológicos no país ou no mundo, ou até serem objetos de leilões;
- (5) **Recurso Financeiro:** se já existe recurso financeiro alocado no Zoológico e se este é suficiente para receber e manter este novo animal, as chances do mesmo ser aceito aumentam;
- (6) **Educação Ambiental:** vários animais são utilizados em atividades que direta ou indiretamente desenvolvem a educação ambiental, fazendo com que os visitantes tenham uma preocupação com a preservação do meio ambiente;
- (7) **Fatores Emocionais Envolvidos:** pode acontecer de o animal ser da espécie preferida pelo biólogo, estar machucado ou mexer com outros fatores emocionais do técnico do Zoológico (pena, afeição), influenciando uma possível aceitação;
- (8) **Pesquisa:** alguns tipos de animais estão envolvidos com programas de pesquisa do Zoológico, sendo de grande utilidade para a instituição;

- (9) **Programas de Conservação:** algumas espécies, por estarem ameaçadas de extinção, participam de programas nacionais de conservação e, por isso, devem ser protegidas;
- (10) **População:** o acervo da espécie a ser recebida pode estar completo ou não; caso não esteja, existe maior chance do animal ser aceito e, muitas vezes, existe o interesse em animais que ainda não fazem parte do acervo do zôo, para aumentar a sua diversificação; e
- (11) **Risco de Vida para Doador:** o animal pode ser peçonhento ou selvagem, podendo pôr em risco a vida do doador ou de outras pessoas, caso não seja aceito.

4.3.2.2 A avaliação dos dados coletados pelo questionário

Após análise do questionário, foi possível perceber como o especialista do zôo observa o problema da recepção de animais e quais são as informações mais relevantes para a análise de um possível caso de aceitação. Nesta análise dos dados coletados pelo questionário foi possível reavaliar e verificar quais fatores realmente são utilizados na recepção de um animal.

Então, dos fatores que inicialmente haviam sido listados, foram retirados os fatores **Alimentação, Recurso Financeiro e Fatores Emocionais Envolvidos** que, apesar de serem citados nas entrevistas como sendo fatores importantes para a aceitação dos animais, não são de fato muito considerados no processo de aceitação de animais e, portanto, têm pouca influência neste processo. Isso está previsto no “método do acompanhamento de casos”, onde embora o método evite que o especialista seja direcionado a responder questões irrelevantes, prevê que nem sempre se consegue uma amostragem de casos realmente representativo, sem descartar, no entanto, a eficácia do método (vide item 3.2.3).

Alguns fatores presentes no questionário de avaliação mostraram-se mais importantes para a análise do especialista, como por exemplo **Pesquisa, Educação Ambiental e Risco de Vida para o Doador**, que tiveram uma maior influência na confecção das regras nebulosas do modelo de aceitação de animais.

Com base nos questionários, foram identificados os principais padrões de respostas para os casos de aceitação, que foram mapeados em regras nebulosas do sistema. As

informações presentes nos questionários refletem os dados de aceitação de animais coletados no Zoológico de São Paulo nos últimos anos.

4.4 A Modelagem

O modelo do processo de recepção de animais leva em conta fatores financeiros, dados sobre a biologia do animal e informações sobre a sua importância para os programas desenvolvidos no Zoológico.

Conforme abordado no Capítulo 3 e apresentado na Figura 14, um sistema de inferência nebulosa é composto pelos seguintes blocos:

- ↪ *Fuzificação*;
- ↪ *Defuzificação*;
- ↪ Base de conhecimento (regras); e
- ↪ Lógica de tomada de decisões.

Na sequência, cada um desses blocos será descrito para o sistema baseado em conhecimento proposto para auxiliar no processo de recepção de animais no Zoológico de São Paulo.

4.4.1 Processo de *fuzificação*

No sistema de inferência nebulosa, utilizado neste trabalho, são utilizadas oito variáveis de entrada (vide Figura 20), que correspondem aos indicadores observados na tomada de decisão de aceitação ou rejeição de um animal no Zoológico de São Paulo. As variáveis utilizadas no processo de decisão são:

- ↪ Alojamento;
- ↪ Adaptação ao clima local;
- ↪ Trocável;
- ↪ Educação ambiental;
- ↪ Pesquisa;
- ↪ Programa de conservação;
- ↪ Risco de vida para o doador; e
- ↪ População.

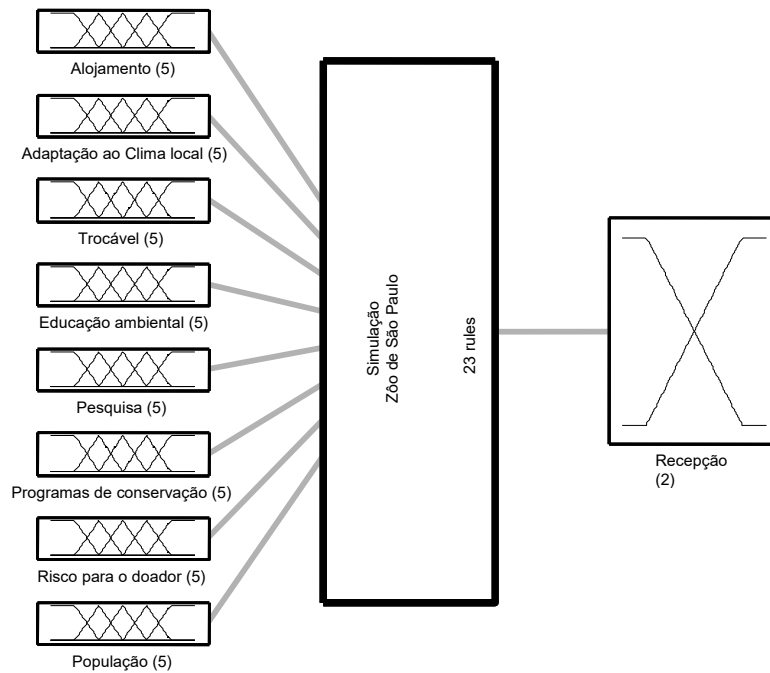


Figura 20 - Estrutura do modelo nebuloso para o recebimento de animais pelo Zoológico de São Paulo.

As variáveis de entrada podem assumir valores no intervalo de 0 a 5, que é o universo de discurso considerado para cada variável definida neste modelo. Tais valores representam a semântica de cada variável e indicam a importância relativa da mesma no processo de decisão de aceitação ou rejeição de um dado animal em avaliação. Dessa forma, para a *fuzificação* dos valores de entrada, foram empregados cinco termos linguísticos, para os quais foram definidas funções de pertinência específicas, através da regra semântica da variável.

As 8 variáveis de entrada, com seus respectivos termos linguísticos, são apresentadas no Anexo I. As funções de pertinência associadas aos termos linguísticos de cada variável foram definidas nas formas triangular e trapezoidal, de maneira que as funções triangulares estão associadas aos conceitos “valores próximos de 2”, “valores próximos de 3” e “valores próximos de 4”. Já as funções trapezoidais estão associadas aos conceitos “valores positivos próximos de 1 ou 0” e “valores próximos de 5 e não maiores do que 5”, relativos aos extremos inferior e superior, respectivamente, dos pesos atribuídos a cada variável.

Essas funções são adequadas, pois permitem que se tenha um grau de certeza absoluto ($\mu=1$) quando há convicção da contribuição do termo linguístico da variável na regra

nebulosa utilizada para a tomada de decisão. Em contrapartida, tais funções permitem representar possíveis incertezas ($\mu < 1$) sobre a importância relativa da contribuição do termo linguístico da variável na regra nebulosa em questão.

A título de exemplo, pode ser considerada a variável “Pesquisa” para elucidar a forma de representação das variáveis nebulosas utilizadas neste trabalho e o processo de *fuzificação*. Na Figura 21 observa-se para a variável linguística “Pesquisa” os seguintes termos linguísticos: “Insignificante” (1), “Quase Importante” (2), “Importante” (3), “Importantíssimo” (4) e “Fundamental” (5). Os números entre parênteses representam o valor relativo ao conceito de “números próximos de”, onde a função de pertinência associada a cada termo assume o valor máximo e igual a 1.

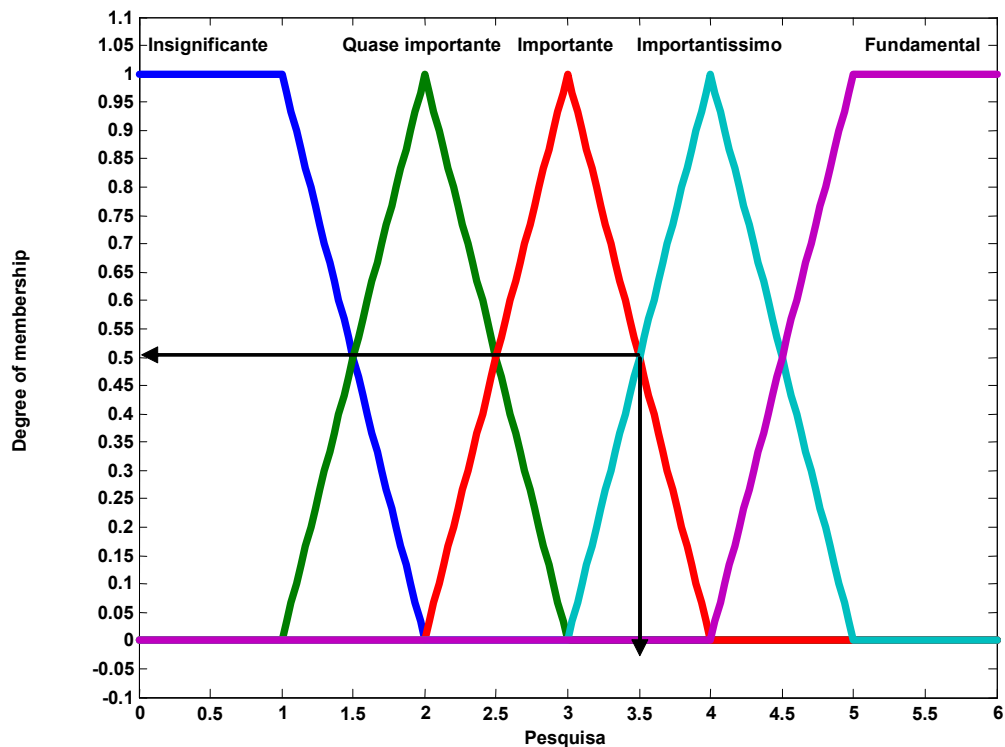


Figura 21 - Análise da variável de entrada “Pesquisa”.

Os termos linguísticos das extremidades, “Insignificante” e “Fundamental” são representados por funções de pertinência trapezoidais, enquanto os termos linguísticos centrais, “Quase Importante”, “Importante” e “Importantíssimo”, são representados por funções triangulares.

Através da Figura 21, verifica-se que, para os animais que possuem contribuição fundamental para a pesquisa (valores da variável linguística “Pesquisa” próximos de 5),

a função de pertinência relativa ao termo linguístico “Fundamental” assume valor de pertinência (μ) igual a 1 ou próximo de 1. No entanto, para um animal com contribuição mediana para pesquisa, quando à variável “Pesquisa” é atribuído o valor 3,5, por exemplo, é possível que haja dúvida sobre a classificação da importância desse animal para fins de pesquisa, pois para esse valor de entrada, as funções de pertinência dos termos linguísticos “Importante” e “Importantíssimo” assumem o valor 0,5, podendo ambas as classificações serem igualmente consideradas, com o mesmo peso, em regras nebulosas distintas para a tomada de decisão.

4.4.2 Processo de defuzificação

No sistema de inferência nebulosa, utilizado neste trabalho, a saída é representada por uma única variável (vide Figura 22), denominada “Recepção”, presente no Anexo II. Essa variável tem o objetivo de fornecer subsídios ao corpo técnico que trabalha no processo de decisão a respeito da aceitação ou rejeição de um animal conduzido para doação ao Zoológico de São Paulo.

A variável de saída pode assumir valores no intervalo de 0 a 5, que corresponde ao seu universo de discurso. Para a *defuzificação* dos valores de saída, foram utilizados dois termos linguísticos, com funções trapezoidais, denominados “Rejeita” e “Aceitar”, conforme é observado na Figura 22.

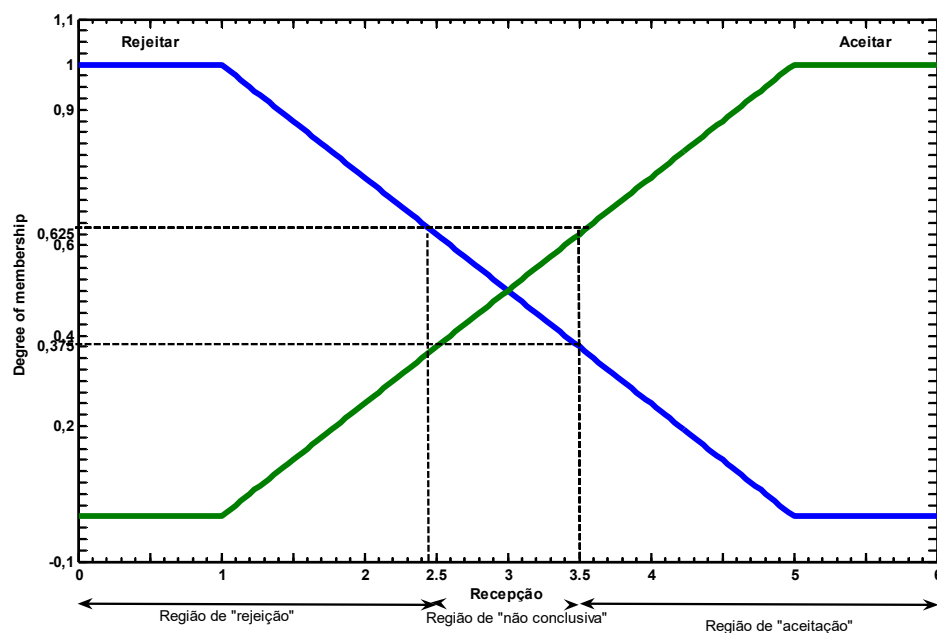


Figura 22 - Análise da variável de saída “Recepção”.

Essa variável foi modelada de forma a atender três requisitos desejáveis para o presente estudo:

- (1) Universo de discurso deve possuir 3 regiões:
 - (a) região de “rejeição” do animal;
 - (b) região de “aceitação” do animal; e
 - (c) região “não conclusiva”.
- (2) As funções de pertinência para os termos linguísticos “Rejeitar” e “Aceitar” devem ser simétricas; e
- (3) As funções de pertinência para os termos linguísticos “Rejeitar” e “Aceitar” devem se cruzar em um ponto onde o grau de pertinência seja 0,5, denominado ponto de *cross-point* (DRIANKOV, HELLENDORRN, REINFRANK, 1996);

Na Figura 22 podem ser observados as três regiões. A primeira região, entre os pontos 0 e 2,5, é denominada região de “rejeição” do animal; a segunda, entre os pontos 2,5 e 3,5, é denominada de região “não conclusiva”, onde a resposta do modelo proposto não fornece subsídios para uma decisão convicta a respeito da rejeição ou aceitação do animal; a terceira região, a partir do ponto 3,5, é a região de aceitação do animal. Observa-se que na região não conclusiva não existe um grau de pertinência para aceitação ou rejeição do animal acima de 62,5%, respectivamente. Tal região foi definida empiricamente através dos resultados apresentados pelo sistema de inferência nebulosa, para valores de entrada de casos típicos de rejeição ou aceitação fornecidos pelo corpo técnico (especialistas) do zôo de São Paulo.

O método de *defuzificação* utilizado no modelo de inferência nebulosa proposto é o método do Centro de Área, abordado no item 3.1.4 e disponível na ferramenta *Matlab*, empregada na modelagem e simulação do sistema apresentado neste trabalho. Tal método é dito contínuo, pois uma pequena mudança numa variável de entrada não causa uma mudança abrupta na saída do sistema (SHAW, SIMÕES, 1999), sendo, portanto, adequado ao modelo proposto.

4.4.3 Base de conhecimento (regras)

Para a elaboração da base de regras do sistema de inferência nebulosa proposto, foi utilizada a configuração “*default*” da ferramenta *Matlab*, cujas operações **E**, **OU**, **NÃO** utilizadas seguem as operações-padrão apresentadas no Capítulo 2, a saber:

- **Operação E:** para o operador nebuloso **E** é utilizada a função nebulosa de intersecção:

$$\mu_{(\tilde{A} \cap \tilde{B})}(x) = \min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)]$$

- **Operação OU:** para o operador nebuloso **OU** é utilizada a função nebulosa de união:

$$\mu_{(\tilde{A} \cup \tilde{B})}(x) = \max[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)]$$

- **Operação NÃO:** para o operador nebuloso **NÃO** é utilizada a função nebulosa de complemento:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

No presente trabalho as regras nebulosas foram geradas a partir de um questionário respondido por vários especialistas do Zoológico de São Paulo. Neste questionário, para cada item, o técnico entrevistado atribui valores de 0 a 5, de acordo com o significado do parâmetro (variáveis linguísticas) considerado, frente a um determinado animal apresentado. Dessa forma, conforme explicado no item 4.3, considerando as respostas obtidas, são elaboradas as regras nebulosas do modelo proposto neste trabalho, de acordo com os seguintes os passos:

- (1) A partir da tabela presente no Anexo V, que corresponde ao questionário respondido pelo especialista do zôo, foram extraídos os casos mais significativos em termos de diversidades de respostas e de animais avaliados para uma possível aceitação. Tais casos são apresentados na tabela do Anexo VI e correspondem a um subconjunto da tabela apresentada no Anexo V. Para permitir uma melhor visualização dos dados relevantes da tabela, os campos com os valores iguais a 0 foram apagados;

- (2) Na tabela do Anexo VI, foi realizada a substituição dos valores numéricos atribuídos a cada variável linguística (0 a 5) por seus correspondentes termos linguísticos, conforme apresentado nos gráficos das 8 variáveis linguísticas de entrada presentes no Anexo I;
- (3) Para cada linha da tabela do Anexo VI, os termos linguísticos de cada variável linguística são relacionados através dos operadores **E**, **OU** ou **NOT**, dependendo do caso analisado;
- (4) Após a associação de todos os termos linguísticos de todas variáveis linguísticas da tabela do Anexo VI, é indicado se se trata de uma regra nebulosa de aceitação ou rejeição, segundo os termos linguísticos da variável linguística de saída, através do operador **THEN**;
- (5) Os itens Alimentação, Recurso e Envolvimento Emocional aparecem em destaque nas tabelas dos Anexos V e VI para ressaltar que estes não foram considerados no processo de elaboração das regras nebulosas. Isso se deve ao fato de ter sido detectado que, embora fossem parâmetros que inicialmente eram considerados relevantes para os especialistas do zôo, na prática verificou-se que os mesmos praticamente não eram considerados no processo de aceitação ou rejeição do animal em avaliação; e
- (6) Como última consideração, visando salientar a adaptabilidade do sistema, foram geradas mais duas regras (que poderiam corresponder a novas necessidades do zôo) que correspondem as duas últimas regras da tabela do Anexo III (23 e 24). Tais regras diferem das demais regras elaboradas (extraídas do questionário), pois utilizam os operadores **OU**.

O procedimento descrito nos seis passos anteriores (1 a 6) é exemplificado considerando a linha número 016 da tabela do anexo V, apresentada na Figura 23.

Nº	Data d da entrega	Enviado para o setor de	Recebido por	Animal	Alimentação	Alojamento	Adaptação ao clima local	Trocável	Recurso	Educação ambiental	Envolvimento emocional	Pesquisa	Programas de conservação	Risco de vida para o doador	População
016	26.03.02	Aves	Cecília	Araçari poca	0	2	2	4	0	2	0	3	2	0	2

Figura 23 - Exemplo de atribuições de valores de entradas para a elaboração de uma regra nebulosa.

A partir da linha 016 da figura 23 foi elaborada a regra (1) do Anexo III, que é transcrita a seguir.

(1) **SE** (Alojamento é Simples) **E**

(Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**

(Trocável é Interessante) **E**

(Educação ambiental é Pouco interesse) **E**

(Pesquisa é Importante) **E**

(Programas de conservação é Quase importante) **E**

(População é Alto) **ENTÃO**

(Recepção é Aceitar)

4.4.4 Lógica de tomada de decisões

Com relação ao sistema de inferência nebulosa empregado neste trabalho, utilizou-se o método de inferência tipo *Mamdani*, disponível na ferramenta *Matlab* e típico das aplicações que envolvem a referida ferramenta, visto que este é seu método “*default*” (LIRA, CARVALHO JR, 1999). Conforme (ROMÃO et. al, 1999) a essência deste método pode ser descrita em três estágios:

- 1- Determinação do grau de pertinência (μ) da entrada na regra antecedente;
- 2- Cálculo das regras consequentes; e
- 3- Agregação das regras consequentes no conjunto nebuloso “ação”.

A fim de atingir o objetivo deste trabalho (sistema de suporte a decisão para a aceitação ou rejeição de um animal) outras configurações foram testadas no sistema de inferência nebulosa proposto. A configuração final do sistema, ou seja, a implementação que apresentou os melhores resultados, possui os seguintes ajustes:

- Sistema de Inferência tipo *Mamdani*;
- Lógica E = *Min*;
- Lógica OU = *Max*; e
- Método de *Defuzificação* = Centroide.

4.5 A ferramenta de simulação - *Matlab*

Dentre as possibilidades existentes para a implementação de um modelo nebuloso (*fuzzy tech*, desenvolvimento numa linguagem específica, etc.), o *software Matlab* e o seu *Toolbox* de Lógica Nebulosa foram selecionados. Esta opção se deve, em parte, a fatores como: interface amigável para o desenvolvimento do modelo nebuloso; ambiente propício para a manipulação de dados; facilidade na geração de casos de testes; facilidade para análise numérica ou gráfica dos resultados. Além desses fatores, a disponibilidade desse *software*, para os Laboratórios de Pesquisa, por parte da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, foi outro fator levado em consideração.

Neste aplicativo há um ambiente pré-definido para a geração das funções de pertinência, com comandos de: acrescentar funções de pertinência e escolher suas formas, alterar limites do universo de discurso, atribuir os rótulos linguísticos desejados, etc. Basicamente, este ambiente compõe as etapas de *fuzificação* e *defuzificação* do sistema baseado no modelo nebuloso proposto desenvolvido nessa ferramenta de forma a validá-lo.

Para a edição das regras nebulosas há um ambiente próprio, onde se encontram todos os rótulos linguísticos definidos na etapa de *fuzificação* e *defuzificação*, além da seleção do operador desejado **AND**, **OR** ou **NOT**. Para confeccionar a regra basta selecionar os rótulos e as conexões desejadas, além de informar a implicação desta regra, através do operador **THEN**.

Assim que o modelo é definido nos ambientes de edição supracitados, é possível definir, imediatamente, vetores de entrada sobre os universos de discurso existentes e verificar a saída emitida pelo sistema *fuzzy*. No caso da saída ser a esperada, para um grupo de entradas, o sistema está finalizado. Já no caso da saída discordar do valor esperado, basta retornar aos ambientes de edição (funções de pertinências ou regras) e realizar novos ajustes no sistema e, eventualmente, e reavaliar o sistema como um todo (variáveis linguísticas e regras nebulosas).

Por fim, para a realização das simulações apresentadas e para o funcionamento de um sistema baseado no modelo nebuloso proposto, necessita-se basicamente de uma plataforma computacional composta de um microcomputador do tipo PC com características padrão de mercado e sistema operacional *Windows*. É conveniente que o

microcomputador possua uma maior capacidade de memória e maior capacidade de processamento gráfico, acima do padrão de mercado, para que o uso da ferramenta *Matlab* seja mais eficiente.

4.6 Considerações Finais do Capítulo

Este Capítulo apresentou a modelagem nebulosa do sistema baseado em conhecimento para auxiliar o processo de recebimento de animais do Zoológico de São Paulo. Cada parte do modelo foi detalhada e as considerações adotadas durante o desenvolvimento do modelo foram descritas. O Capítulo a seguir apresenta os resultados obtidos e uma análise a respeito dos mesmos.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

A análise dos dados resultantes da aplicação do modelo nebuloso às condições iniciais do problema de aceitação de animais pelo Zoológico de São Paulo é uma importante ferramenta para a avaliação do modelo empregado.

5.1 Introdução

Neste capítulo será verificado o desempenho do sistema de inferência nebulosa proposto neste trabalho, diante de uma série de situações possíveis relativas ao processo de aceitação ou rejeição de um animal conduzido ao Zoológico de São Paulo. A resposta a cada caso considerado será confrontada com o resultado “esperado” e discutida, possibilitando avaliar o modelo nebuloso desenvolvido do ponto de vista de suporte às decisões tomadas pelo corpo técnico do Zoológico.

Para a análise dos resultados, foram efetuadas três tipos de simulação, a saber:

- a) **Cenário 1:** nesta simulação, foram utilizados somente os dados relativos à elaboração das regras nebulosas;
- b) **Cenário 2:** nesta segunda simulação, todos os casos de aceitação fornecidos pelo corpo técnico do Zoológico foram processados; e
- c) **Cenário 3:** em uma primeira etapa, foram criados novos casos fictícios para teste do modelo, com parâmetros ajustados para verificação da sua sensibilidade. Na segunda etapa, novas regras restritivas foram acrescentadas ao modelo para avaliação de sua extensibilidade.

5.2 Resposta do Modelo aos Casos Selecionados para a Elaboração das Regras Nebulosas

Neste cenário de simulação todos os dados da tabela do Anexo VI foram aplicados sequencialmente ao sistema desenvolvido. Para cada caso aplicado o sistema gerou uma resposta, que corresponde a aceitação ou rejeição do animal em avaliação. Dessa forma, 22 casos foram aplicados ao sistema proposto. As Figura 24 e Figura 25 apresentam as respostas do sistema frente aos dados de entrada utilizados. Através da Figura 24 pode-se observar os valores da saída nebulosa para cada um dos 22 casos numerados da

tabela do Anexo VI. A Figura 25 ilustra, por tipo de saída apresentada pelo sistema, a quantidade de casos classificados em cada tipo.

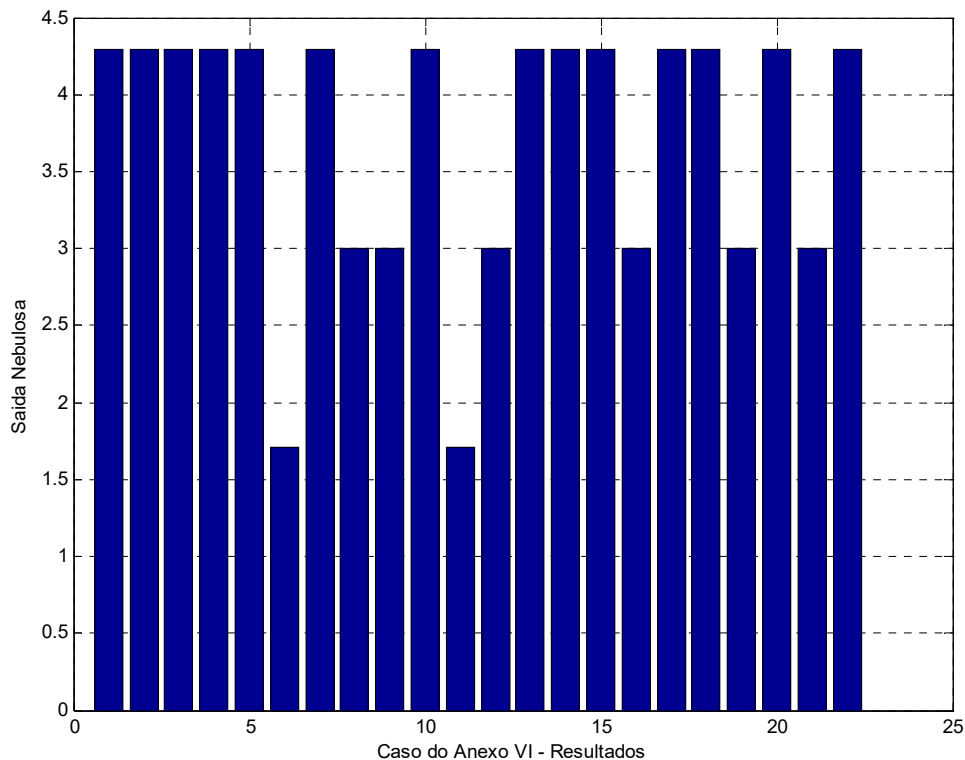


Figura 24 - Resposta do modelo a cada caso utilizado para a elaboração das regras nebulosas.

Através do gráfico de barras da Figura 24, nota-se que os casos de rejeição são os casos 6 e 11 da tabela do Anexo VI. Estes casos correspondem aos animais que não apresentam interesse, pois possuem poucos dados de entrada e não trazem benefícios ao zôo.

Casos que possuem poucos dados de entrada ou tem benefícios pouco significativos (pesquisa, conservação, etc.) e não trazem complicações adicionais (instalações, etc.), permanecem na região não conclusiva. São exemplos os casos dos animais 8, 9, 12, 16, 19 e 21). Nestes casos é conveniente uma nova análise do problema da aceitação, por parte do zôo, pois o modelo não fornece uma resposta conclusiva.

Os casos com benefícios aparente e sem demais complicações são prontamente aceitos pelo modelo. São exemplos os casos: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 13, 14, 15, 17, 18, 20 e 22.

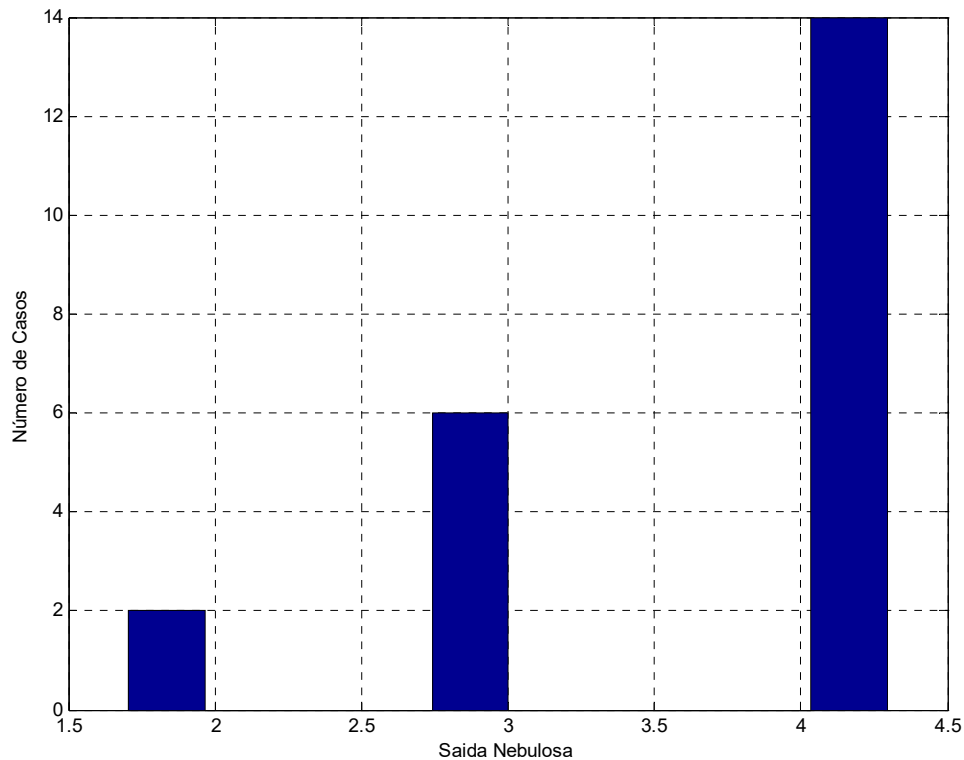


Figura 25 - Histograma da resposta do modelo aos casos utilizados para a elaboração das regras nebulosas.

Através do histograma da Figura 25 podem ser observados 2 casos de rejeição. Esses casos foram previstos durante a elaboração do conjunto de regras nebulosa. Outros 6 casos observados encontram-se na região não conclusiva, em função das regras adicionais; se não tivessem sido acrescentadas novas regras todos estes casos seriam aceitos. Ainda, outros 14 casos foram aceitos.

A partir desta simulação, percebe-se que o modelo tem um comportamento de acordo com o esperado, pois aceita a maioria dos casos a ele submetidos (63,6%) e rejeita uma minoria (9,1%). Da forma como o modelo foi concebido, esses casos de aceitação e rejeição serviram de base para a elaboração das regras nebulosas; logo, é de se esperar que os resultados obtidos estejam coerentes com as regras.

5.3 Resposta do Modelo a Todos os Casos

Neste segundo cenário de simulação foram inseridos no sistema em teste os 78 casos da tabela do Anexo V, correspondente a todos os casos fornecidos pelos especialistas do Zoológico de São Paulo. Tais casos representam possíveis situações do processo de

tomada decisão sobre a aceitação ou rejeição de um animal conduzido ao Zoológico de São Paulo. Dos 78 casos utilizados, 56 são novas situações não previstas na primeira simulação, representando novos casos para avaliação, que podem ajudar a validar as regras elaboradas e já testadas com os dados da primeira simulação. As Figura 26 e Figura 27 ilustram a resposta do sistema em questão diante dos 78 casos aplicados na sua entrada.

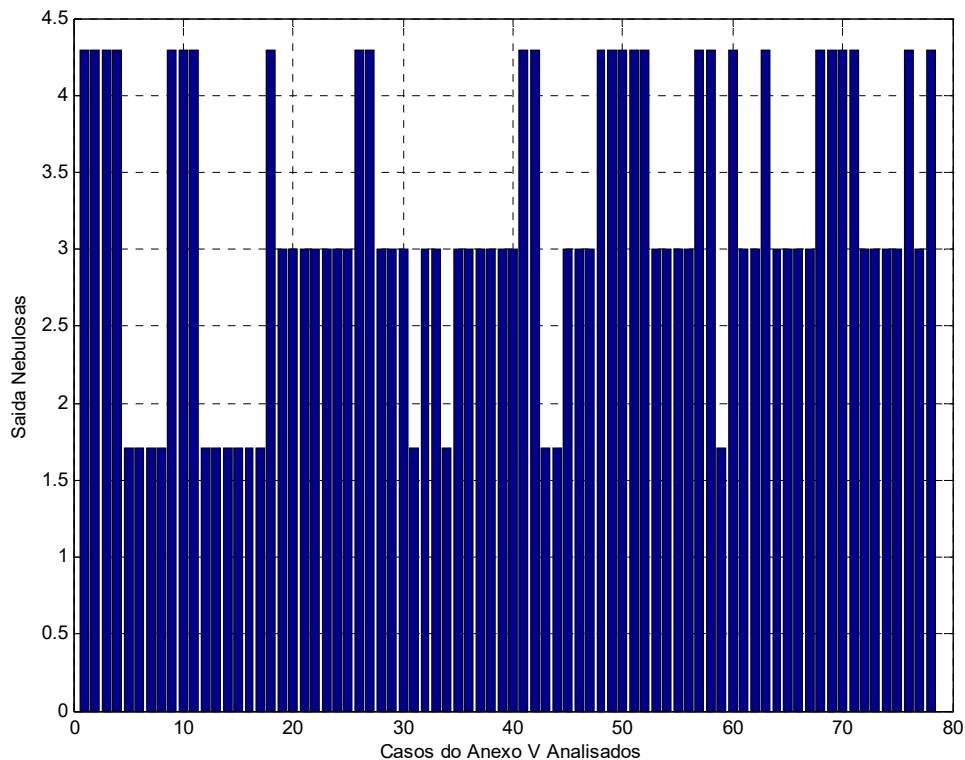


Figura 26 - Resposta do modelo a todos os casos fornecidos pelo zôo.

A partir desta simulação, percebe-se que houve 27 casos de aceitação (34,6%), 36 casos não conclusivos (46,2%) e 15 casos rejeitados (19,2%). Os casos da região não conclusiva ocorrem, na maioria das vezes, quando existem poucas informações no vetor de entrada, ou seja, quando o especialista responde a poucos itens solicitados. À medida que se aumenta o número de itens respondidos pelo especialista, a saída do sistema tende a sair da região não conclusiva e ir para uma região conclusiva de aceitação ou rejeição do animal, de acordo com o valor de entrada dos parâmetros mais relevantes para aceitação ou rejeição.

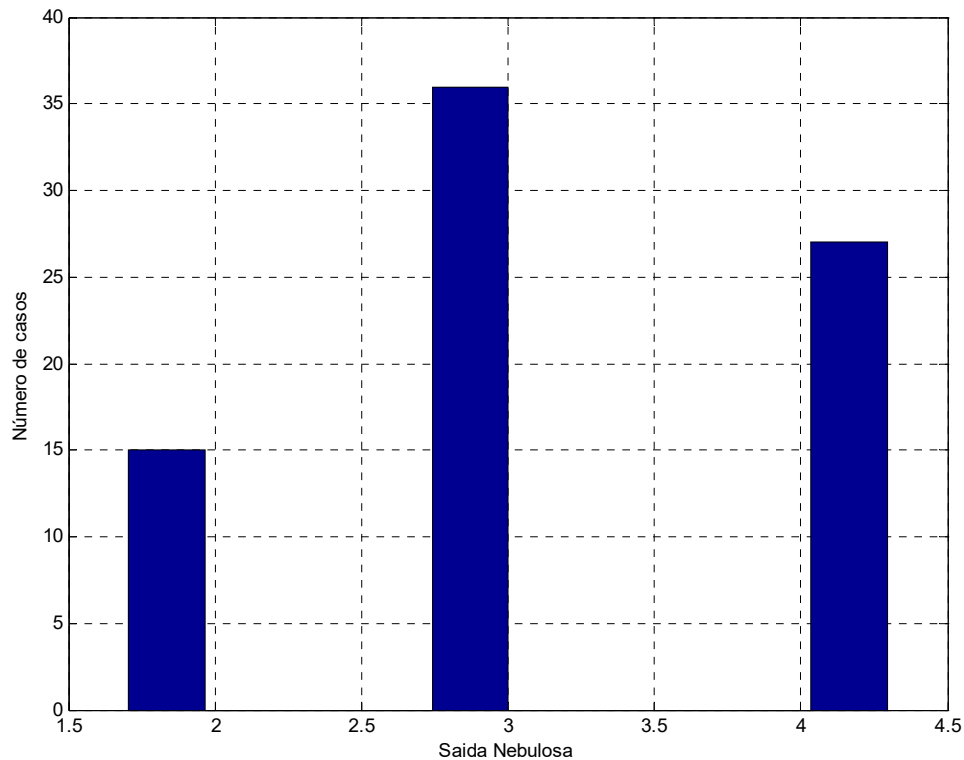


Figura 27 - Histograma da resposta do modelo a todos os casos fornecidos pelo zôo.

5.4 Resposta do Modelo aos Novos Casos Criados

Para este cenário, em uma primeira etapa foram criadas 10 novas situações para o processo de avaliação do animal, porém não presentes nos casos de recebimento de animais nos últimos anos no Zoológico de São Paulo. Neste caso, foram consideradas atribuições de valor para as variáveis de entrada não necessariamente inteiros, do tipo: Conservação=3,6 e Pesquisa=3,9, que é uma situação possível, dependendo do técnico que avalia o animal. Isso poderia ser especialmente útil quando o especialista tiver maior sensibilidade na atribuição de valores para os dados de entrada solicitados. As entradas consideradas para estes 10 casos a serem averiguados são apresentadas na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Novos casos criados para testes do modelo.

Caso	Alimentação	Alojamento	Adaptação ao clima local	Trocável	Recurso	Educação ambiental	Envolvimento emocional	Pesquisa
1	4,0	4,0	1,0	2,0	1,0	1,0	0	2,0
2	1,0	2,0	0	0	0	5,0	0	1,0
3	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0	0	0	4,0
4	1,0	1,0	2,0	2,0	4,0	4,0	0	4,0
5	5,0	2,0	0	2,0	0	0	1,0	0
6	3,8	3,9	0	0,5	1,7	0	0	0
7	1,5	1,5	0	1,0	3,9	3,6	0	3,0
8	3,0	0	2,0	4,7	1,0	4,8	0	0
9	4,8	0	0	1,7	2,9	1,0	0	0
10	1,0	1,0	5,0	1,0	3,0	1,0	0	3,0

As Figura 28 e Figura 29 a seguir mostram a saída do sistema para os 10 casos simulados com base nos dados da Tabela 1

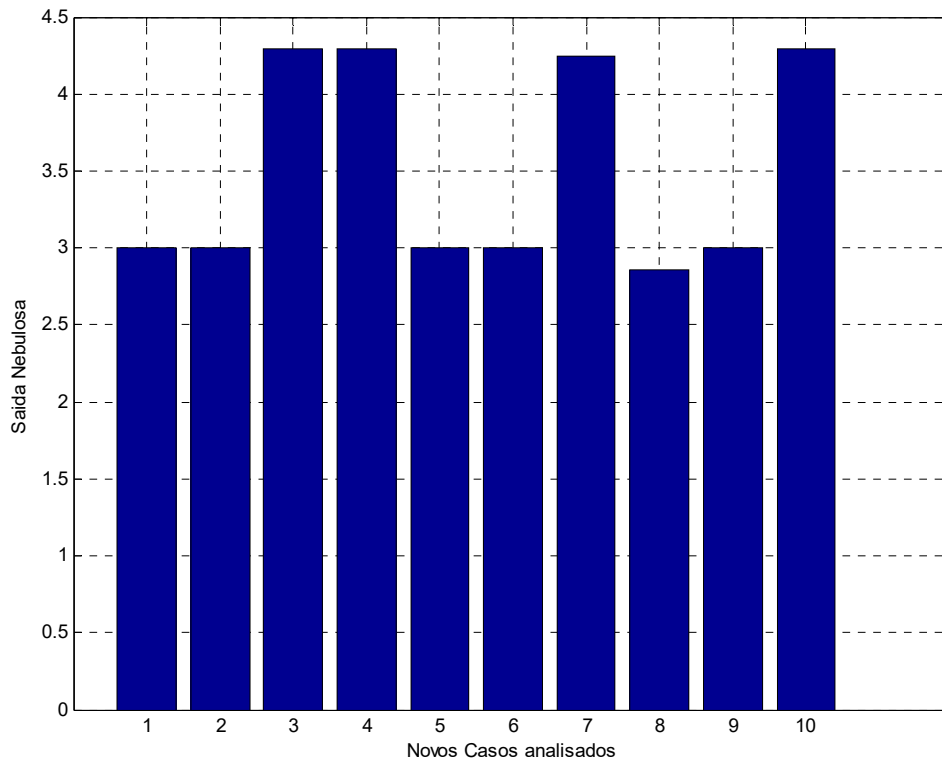


Figura 28 - Resposta do modelo aos 10 novos casos criados.

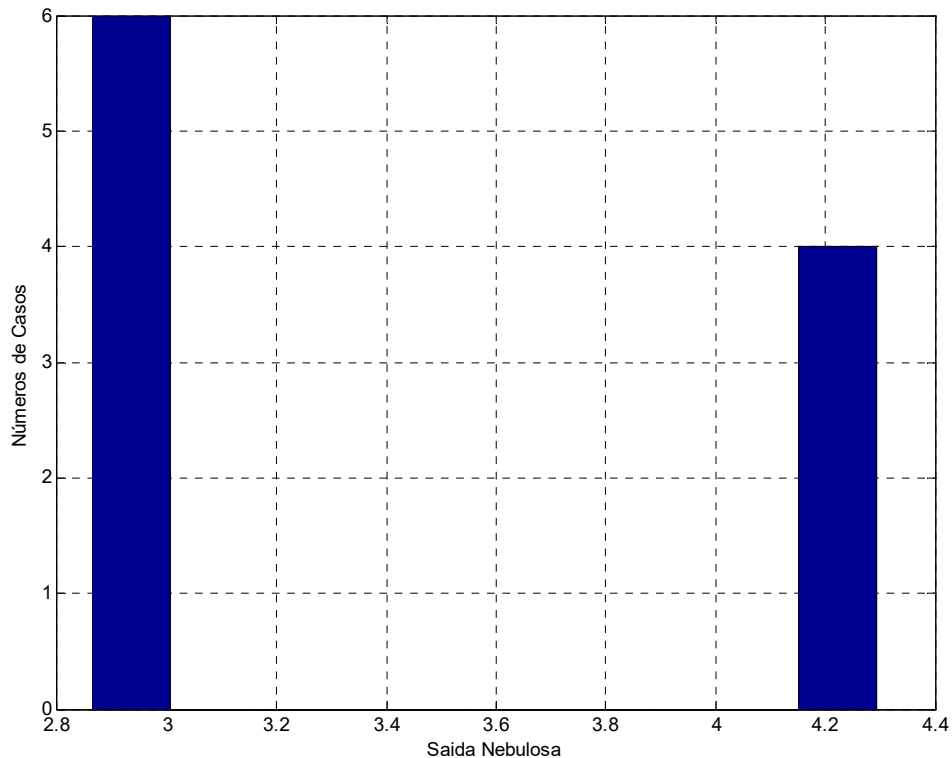


Figura 29 - Histograma da resposta do modelo aos 10 novos casos criados.

Neste cenário, observa-se através do histograma da Figura 29 que não ocorrem rejeições para os casos simulados, havendo 4 casos de aprovação (40%) e 6 casos não conclusivos (60%). Essas respostas estão de acordo com o esperado, pois este conjunto de dados de entrada foram concebidos para gerar casos típicos de aceitação ou casos não conclusivos.

Em uma segunda etapa deste terceiro cenário, pretende-se criar um mecanismo de ajuste para testar a sensibilidade do modelo proposto. Para isso, supõe-se que uma nova realidade técnica ou financeira possa vir a ser adotada no Zoológico de São Paulo, exigindo uma avaliação mais rigorosa no processo de aceitação de animais. Com o modelo proposto é possível facilmente elaborar novas regras para restringir o recebimento do animal.

Por exemplo, a seguir estão apresentadas novas regras elaboradas com caráter mais restritivos impostas ao modelo nebuloso (regras de números 25 e 26, acrescidas ao conjunto das 24 regras já existentes).

- (25) SE (Alojamento é Complicadíssimo) OU
(Adaptação ao Clima local é Dificílimo) ENTÃO
(Recepção é Rejeitar)
- (26) SE (Alojamento é Complicado) E
(Adaptação ao Clima local é Dificil) ENTÃO
(Recepção é Rejeitar)

As Figura 30 e Figura 31 a seguir ilustram a resposta do modelo considerando as duas novas regras citadas (25 e 26).

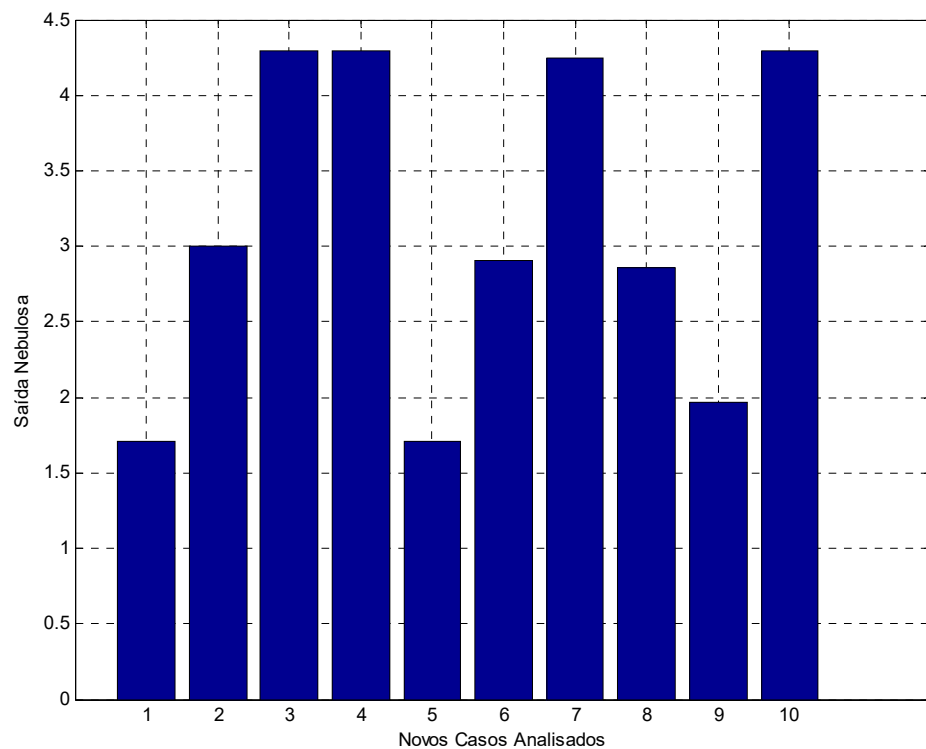


Figura 30 - Resposta do modelo aos 10 novos casos criados para o teste do sistema com as 2 novas regras.

Analisando-se as Figura 30 e Figura 31, nota-se que o índice de rejeição aumentou, passando de 0 para 3 casos, o que representa 30% dos casos; o número de casos de aceitação não sofreu alteração (4 casos ou 40%); já os casos na região não conclusiva passaram de 6 para 3 casos (30%). Isso mostra que o modelo ficou mais restritivo, sugerindo que mais casos não devam ser aceitos.

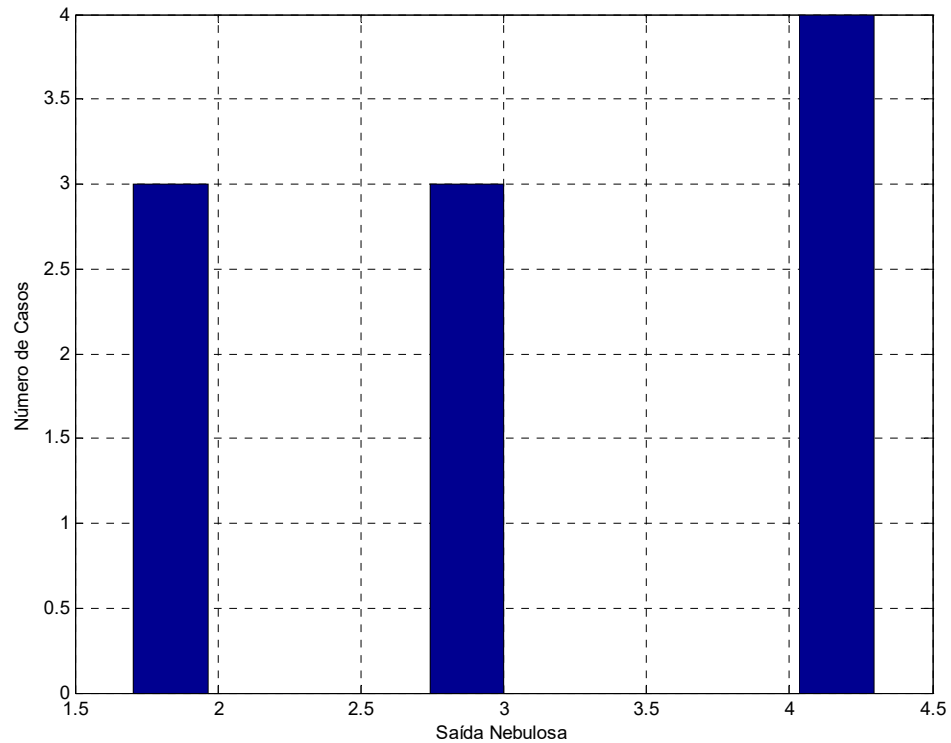


Figura 31 - Histograma da resposta do modelo aos 10 novos casos criados para o teste do sistema com as 2 novas regras.

Esses resultados demonstram, ainda, que diante de novas realidades, o sistema pode ser facilmente reconfigurado com a inclusão de novas regras, possibilitando a sua adaptabilidade a novas condições.

5.5 Análise do Modelo

Considerando o modelo nebuloso proposto para o processo de recepção de animais, modelo este implementado na ferramenta de simulação *Matlab*, pode-se estabelecer uma análise do mesmo sob diversos aspectos, a saber:

Usabilidade: o modelo implementado possui, no ambiente de teste e simulação, uma boa interface com o usuário para definição das variáveis linguísticas e estabelecimento de regras. Isso possibilita o teste de valores de entrada tanto na forma de vetores de dados como na forma de interação gráfica, propiciando com relativa facilidade a definição das formas das variáveis linguísticas, a alteração de regras, a variação dos parâmetros de entrada, sempre visando um ajuste rápido do modelo na busca de respostas coerentes com os resultados esperados;

Adaptabilidade: como o conjunto de regras implementadas no modelo reflete a grande maioria dos casos de aceitação registrados nos últimos anos no Zoológico de São Paulo, obtidos a partir do conhecimento dos especialistas, o modelo tende a ter uma boa adaptabilidade a novos casos nunca antes testados, devido ao grau de generalização das regras implementadas. Por outro lado, caso exista algum parâmetro não considerado pelas mais diversas razões ou ocorram mudanças na política de aceitação do Zoológico, ajustes no modelo devem ser considerados;

Extensibilidade: considerando a facilidade existente no processo de definição ou alteração de variáveis linguísticas de entrada e saída e a possibilidade de criação, alteração ou remoção de regras de forma interativa, o modelo pode ser estendido para atender às novas necessidades do Zoológico de São Paulo;

Grau de Generalidade: a generalidade do modelo proposto está diretamente relacionada com a vivência dos especialistas do Zoológico no processo de recepção de animais. É possível que alguns casos de doação de animais possam requerer outros parâmetros particulares a serem adotados (por exemplo, questões políticas) que não foram considerados neste modelo por não fazerem parte da análise corriqueira realizada pelos técnicos do Zoológico. À medida que novas necessidades surjam ou casos mais raros a serem submetidos ocorram, o ajuste do modelo pode lhe atribuir um maior grau de generalidade;

Limitações: o modelo proposto e simulado apresenta algumas limitações, pois as variáveis linguísticas e as regras nebulosas do modelo foram criadas com base em algumas simplificações, como por exemplo, a exclusão de 3 parâmetros de entrada, que foram desconsiderados na modelagem por influírem muito pouco nos resultados por eles produzidos. Desta forma, casos pouco comuns de doação podem não ser perfeitamente avaliados, bem como casos não previstos pelo modelo;

Possibilidade de Inspeção: o modelo concebido permite que seja inspecionada com facilidade a ativação de cada uma das suas regras implementadas, bem como o peso que cada uma possui no resultado para um determinado padrão de dados de entrada. Ainda, com a facilidade de se modificar graficamente os valores dos parâmetros de entrada, pode-se avaliar o comportamento interno do modelo à medida que os dados de entrada são alterados;

Consistência: a consistência do modelo tende a ser maior que a consistência das avaliações do especialista do Zoológico, pois para um determinado padrão de dados de entrada, o modelo sempre fornece a mesma saída na forma de conselho para “aceitar” ou “rejeitar” um animal. Já o especialista humano, pode ter variações nas suas ponderações, de acordo com o momento em que ocorre o evento de recebimento, bem como existe a variação de avaliação quando diferentes técnicos realizam esta função;

Fechado: o modelo proposto é um modelo fechado, pois presta-se a resolver o problema de um domínio restrito no âmbito da avaliação da aceitação ou rejeição de animais para o Zoológico de São Paulo (animais silvestres, animais previstos para aceitação no zôo, etc.). Em um diferente domínio onde os parâmetros de entrada necessários sejam outros, o modelo poderá não ter um comportamento adequado;

Completeza: no momento não é possível afirmar o grau de completeza do modelo pois o número de casos existentes para testes nos últimos anos é pequeno e, além disso, não existe histórico para os casos não aceitos (rejeitados), o que prejudica uma avaliação mais apurada da sua completeza;

Representatividade: esta característica também é de difícil avaliação, já que o domínio do problema não é definido de forma completa, pois não se sabe com exatidão quais são todas as possibilidades de tipos de doação que possam ocorrer;

Adequação: o modelo mostra-se, considerando os casos de teste empregados, apto a aconselhar o técnico sobre a aceitação ou rejeição de um animal encaminhado para o Zoológico de São Paulo. Isso se deve ao fato de os casos recomendados fortemente para aceitação pelo modelo terem sido aceitos efetivamente pelo Zoológico, enquanto os casos típicos de rejeição foram adequadamente classificados com tal. Os casos classificados pelo modelo como “não conclusivos” sugerem uma melhor avaliação por parte do técnico do Zoológico, que poderá utilizar, eventualmente, variáveis particulares não consideradas no modelo proposto, de caráter mais geral;

Granularidade: o modelo concebido não apresenta alto grau de granularidade pois, como o objetivo do trabalho é a concepção de um modelo genérico de aceitação de animais para o Zoológico de São Paulo, os parâmetros considerados devem ser aderentes a todas as espécies de animais. Eventualmente, a composição geral de parâmetros poderia ser diferente se tais parâmetros pudessem ser escolhidos de forma independente para cada classe animal (por exemplo, mamíferos, répteis e aves); e

Usuário: para o modelo proposto, os especialistas e suas equipes técnicas seriam os usuários em potencial de um sistema concebido com estas características. Entretanto, as respostas fornecidas pelo modelo são sugestões para a aceitação ou não de um animal, cabendo em última análise ao especialista a decisão final, principalmente para os casos classificados como não conclusivos pelo modelo.

5.6 Considerações Finais do Capítulo

Este Capítulo apresentou os resultados das simulações efetuadas a partir do modelo concebido neste trabalho de pesquisa, validando-o com base em diversos cenários. Foi apresentado, também, uma avaliação qualitativa da potencialidade do modelo, possibilitando a identificação de melhorias, bem como de futuros trabalhos de pesquisa, a serem propostos no próximo capítulo.

6 CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões a respeito da aplicação da lógica nebulosa para modelar o processo de recepção de animais do Zoológico de São Paulo. Seguem-se sugestões para a continuidade da pesquisa, um resumo das principais contribuições e as considerações finais do trabalho.

6.1 A Aplicação da Lógica Nebulosa na Modelagem do Processo de Recepção de Animais do Zoológico de São Paulo

Este trabalho de pesquisa teve como objetivo propor um modelo de tratamento de incertezas, utilizando como ferramenta a Teoria Nebulosa, para servir de base para um sistema baseado em conhecimento, visando auxiliar o Zoológico de São Paulo no processo de recepção de animais.

Atualmente, o processo de análise de aceitação de um animal passa pela avaliação de um membro da equipe técnica do Zoológico, que a partir de critérios subjetivos, decide pela aceitação ou rejeição do animal. Tem sido uma preocupação frequente do corpo técnico do Zoológico limitar a aceitação de recebimentos, por motivo de falta de infraestrutura, restringindo-os a casos onde o interesse da instituição seja altamente favorável.

A necessidade de melhorar o processo de recepção de animais no Zoológico e a característica subjetiva das análises efetuadas pelos seus técnicos vêm ao encontro do que um sistema baseado no conhecimento pode resolver. Em particular, dadas as características subjetivas das variáveis envolvidas nas avaliações de recebimento, isso faz com que a Lógica Nebulosa seja uma boa alternativa para modelar a forma de raciocinar do especialista. Considerando estes aspectos, o modelo proposto neste trabalho se propõe a contribuir para a resolução deste problema.

Através de técnicas apropriadas de aquisição do conhecimento do especialista, envolvendo entrevistas não-estruturadas, entrevistas estruturadas e acompanhamentos de casos, foi possível a obtenção de dados preliminares para serem utilizados nas simulações do modelo proposto.

Embora inúmeros casos significativos tenham sido obtidos para ilustrar situações onde animais tenham sido aceitos, o inverso não é verdadeiro. Isso se deve ao fato dos casos

de recepção com avaliação negativa não serem usualmente registrados pelo Zoológico, o que acarreta a inexistência de um banco de dados histórico das rejeições. Face a esta situação, e considerando o conhecimento dos especialistas do Zoológico, pôde-se mesmo assim construir a base de regras do modelo, que foi validado posteriormente através de diversos cenários de simulação.

No processo de aquisição de dados, as entrevistas não-estruturadas foram importantes para o dimensionamento do domínio do problema a ser resolvido, redirecionado a própria idéia previamente concebida do processo de aquisição do conhecimento.

A fase de acompanhamento de casos já ocorridos de aceitação propiciou, através de conversas individuais com os chefes das diversas áreas do Zoológico, a identificação dos fatores candidatos a parâmetros de entrada do sistema. A técnica de acompanhamento de casos, por utilizar casos reais, evita que o especialista seja direcionado a responder questões irrelevantes; no entanto, nem sempre se consegue uma amostragem de casos realmente representativa, porém esta técnica é de extrema utilidade para esclarecer dúvidas na construção do modelo.

Em uma terceira etapa, através de entrevistas estruturadas, foi possível atribuir números aos parâmetros de entrada definidos na etapa anterior, para um conjunto significativo e variado de casos de recebimento ocorridos em anos anteriores. A entrevista estruturada permitiu a obtenção de respostas para as seguintes questões, essenciais para a concepção do modelo nebuloso: a) Como o especialista observa o problema?; b) Como ele emprega seu conhecimento para resolver o problema?; c) Como as soluções são identificadas e classificadas pelo especialista?; d) Quais são os conhecimentos importantes?; e e) Como é a abordagem da solução do problema?

Com base nas informações completas a respeito de todos os casos de recebimentos dos últimos anos, consegue-se simular diversos cenários de recepção, o que possibilitou a avaliação pormenorizada do modelo.

Desta forma, conclui-se que a proposta do modelo nebuloso atingiu os objetivos previstos para esta dissertação, sendo viável a construção de um sistema baseando em conhecimento para auxiliar o Zoológico de São Paulo no processo de recepção de animais. A implementação de um sistema com estas características é relativamente simples, necessitando de um equipamento computacional padrão de mercado, de uma base de dados com o histórico dos recebimentos (contendo informações sobre os casos

aceitos e recusados), de um modelo de inferência nebulosa baseada na proposta deste trabalho e de uma interface homem-computador adequada.

Por fim, o modelo proposto apresenta qualidades por ser adaptável a novas realidades técnicas, financeiras, políticas e culturais, desde que todo o ciclo de aquisição e modelagem do conhecimento seja novamente empregado.

6.2 Principais Contribuições do Trabalho

A contribuição central deste trabalho é a proposição de um modelo para o tratamento de incertezas, utilizando a lógica nebulosa, visando a avaliação da viabilidade da concepção de um sistema baseado em conhecimento para o auxílio do processo de recebimento de animais no Zoológico de São Paulo.

Outra contribuição deste trabalho foi a identificação de um segmento da área Biológica para a realização de uma pesquisa multidisciplinar, envolvendo a Engenharia de Computação e a Zoologia. Dentro deste foco, pelo lado da Engenharia de Computação, pôde-se realizar uma pesquisa acadêmica que traz resultados para a área Biológica. Pelo lado da Zoologia, identificou-se mais uma área de aplicação da Engenharia de Computação.

6.3 Perspectivas Futuras

Devido aos resultados promissores apresentados neste trabalho, o modelo pode ser refinado para apresentar resultados mais próximos da realidade, visando a sua implantação no ambiente do Zoológico de São Paulo. Os resultados preliminares das simulações devem ser objeto de reavaliação, após uma nova interação com os técnicos do Zoológico de São Paulo. Ainda, os valores atribuídos pelos especialistas para as entradas do modelo podem ser não inteiros, o que permite um maior refinamento dos resultados apresentados. No entanto, isso só é possível após um trabalho de divulgação do modo de funcionamento do modelo junto aos especialistas para, numa segunda versão, haver uma maior participação dos mesmos na modelagem das variáveis linguísticas e na elaboração de regras.

Como futuros trabalhos de pesquisa correlatos, sugere-se:

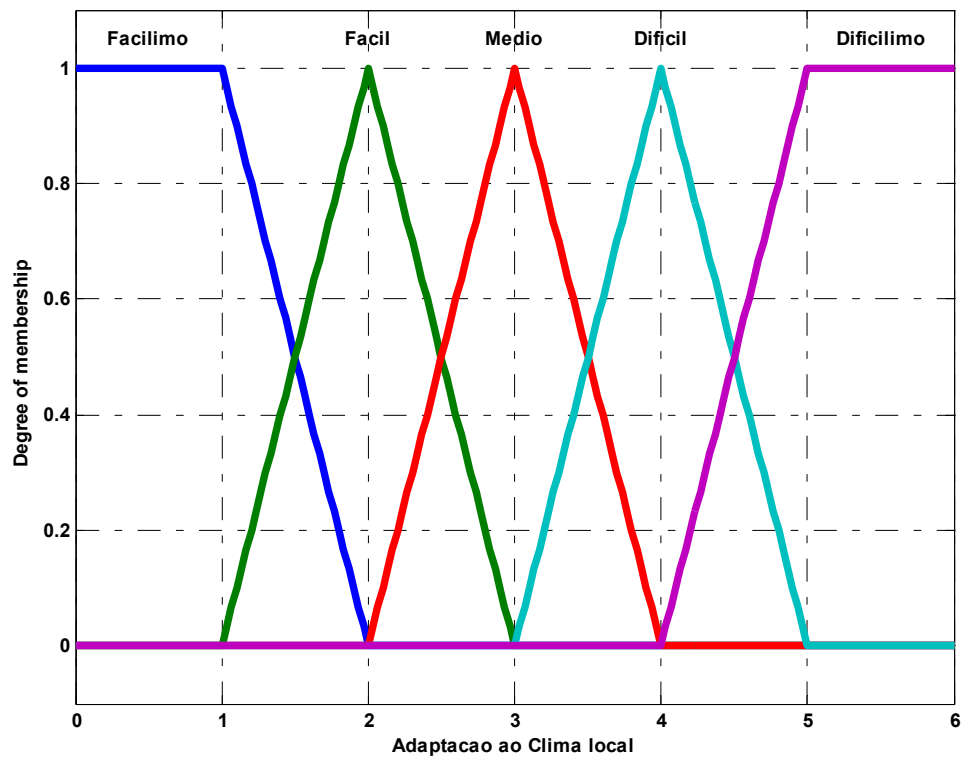
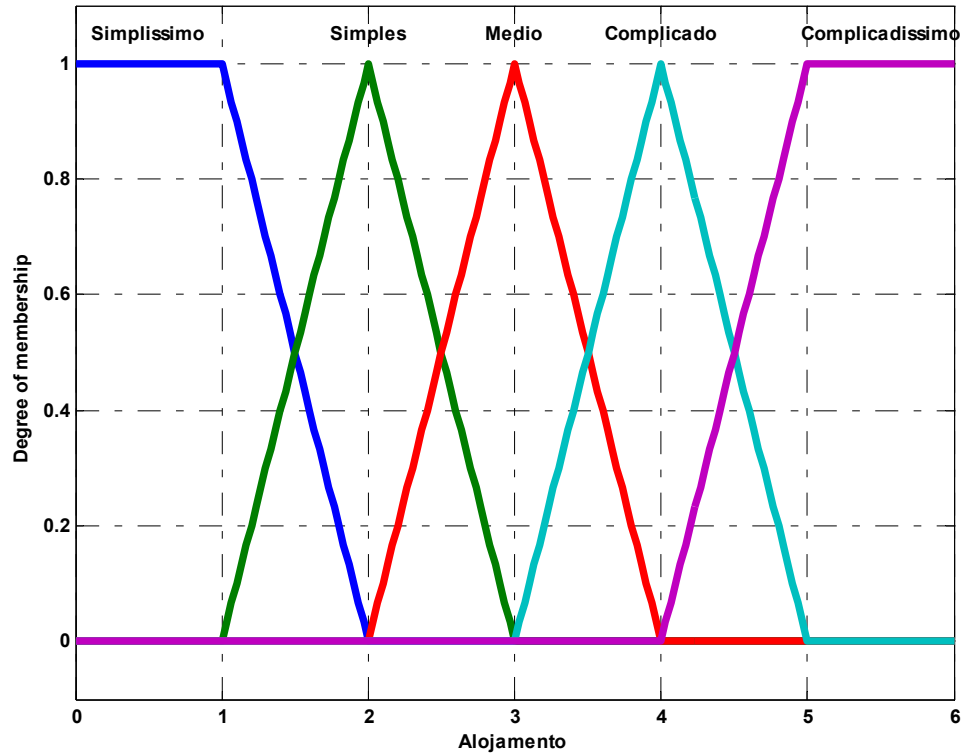
- a) **Modelo de Auxílio à Posse Responsável de Animais:** este modelo visa, através de um processo semelhante ao desenvolvido neste trabalho, fornecer ao usuário um conselho para que este reflita sobre as suas condições em adquirir ou não um determinado animal, a partir de dados de entrada fornecidos pelo mesmo a respeito de aspectos relacionados com: alimentação do animal, cuidados essenciais, espaço físico, aclimatação, expectativa de vida do animal, etc. Um sistema baseado em tal modelo poderia, por exemplo, estar disponíveis em locais públicos próximos a locais onde, costumeiramente, indivíduos adquirem animais; e
- b) **Modelo de Auxílio ao Pareamento de Animais Silvestres Ameaçados de Extinção:** este modelo, com a mesma base estrutural do modelo proposto neste trabalho, poderia auxiliar os zoológicos de diversas localidades do Brasil ou do mundo no intercâmbio de animais, visando a preservação de espécies ameaçadas de extinção e buscando, dentre outras coisas, uma maior variabilidade genética e uma maior probabilidade de sucesso em tais tentativas de cruzamentos. Este tema foi discutido no artigo “*Sistematização da seleção de espécimes de *saguinus bicolor* para reprodução em cativeiro utilizando lógica fuzzy*” (MACIEL, CUGNASCA, 2003).

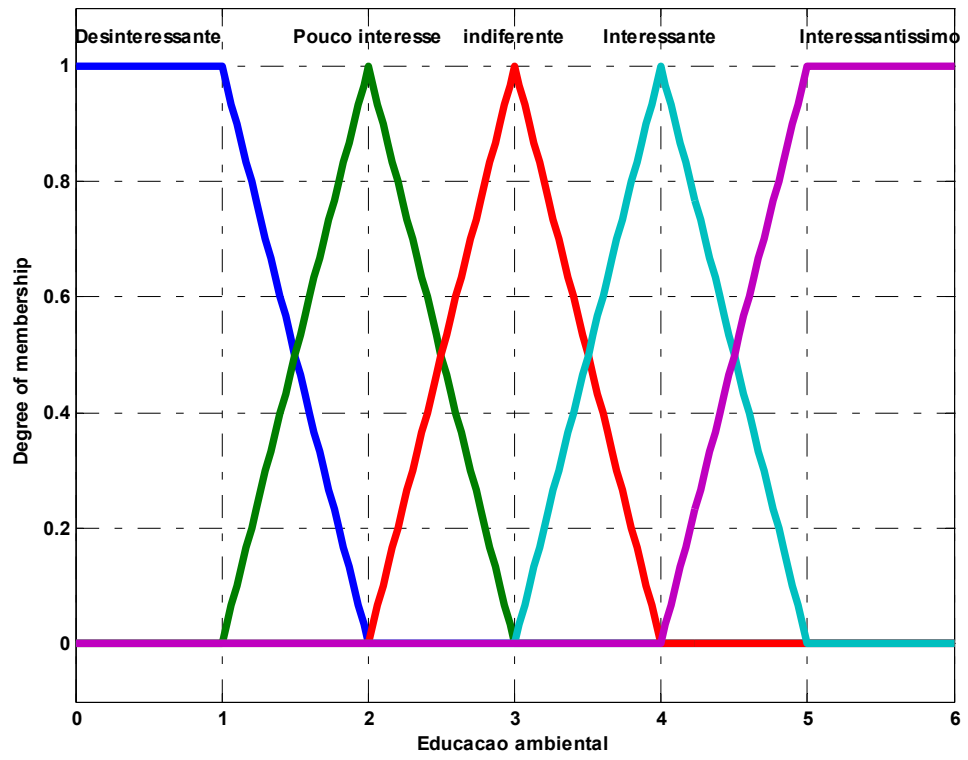
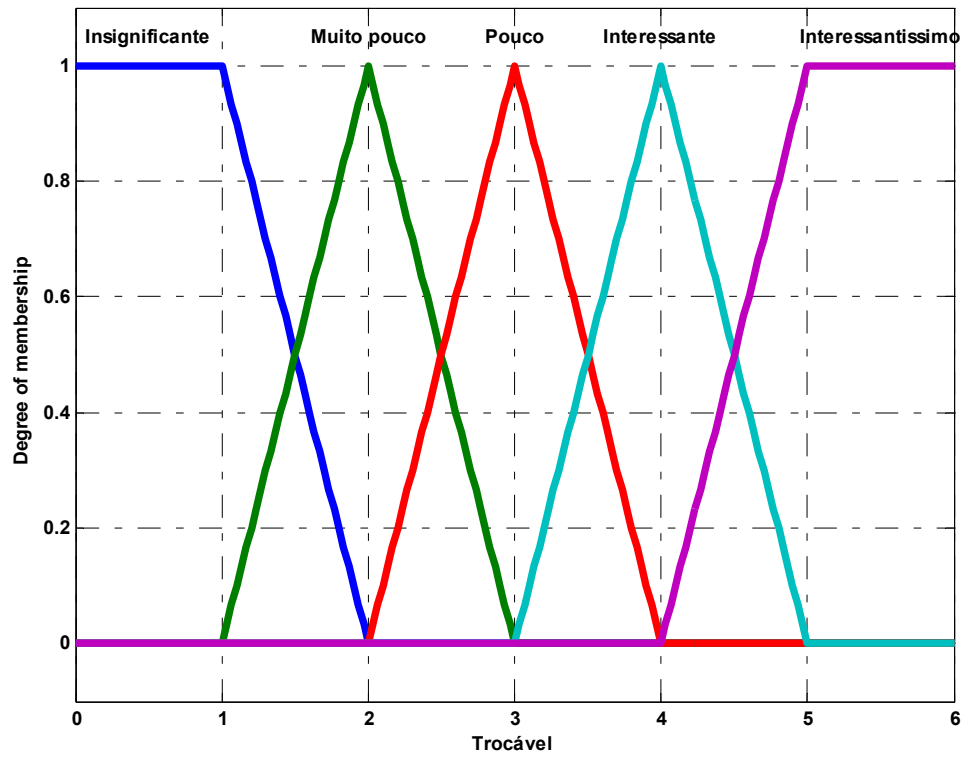
6.4 Considerações Finais

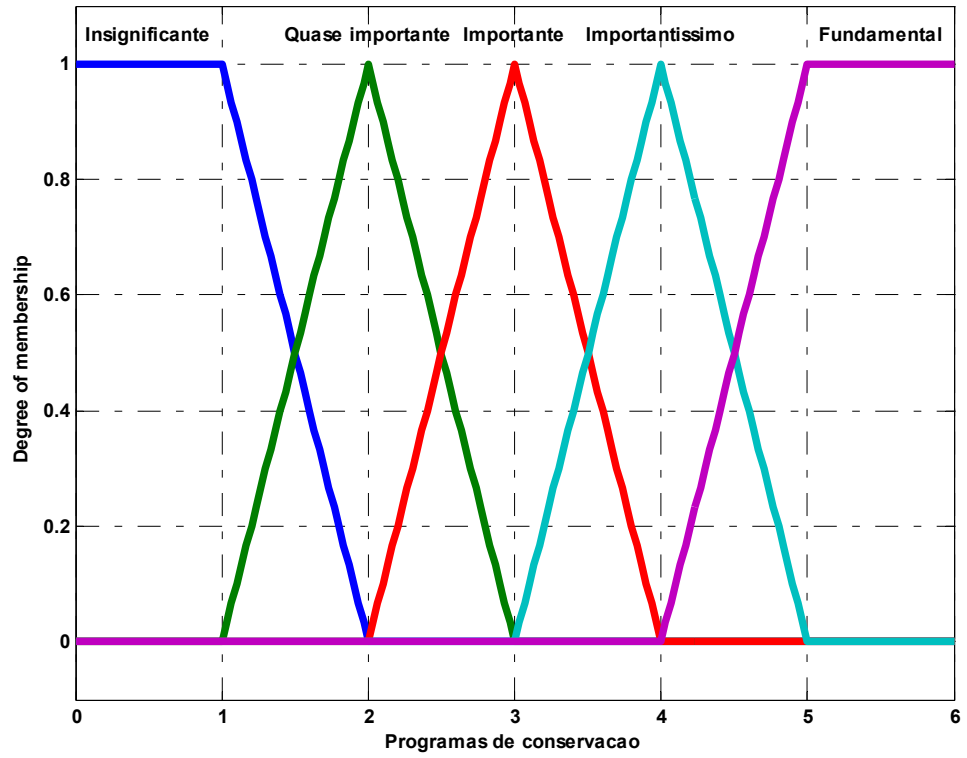
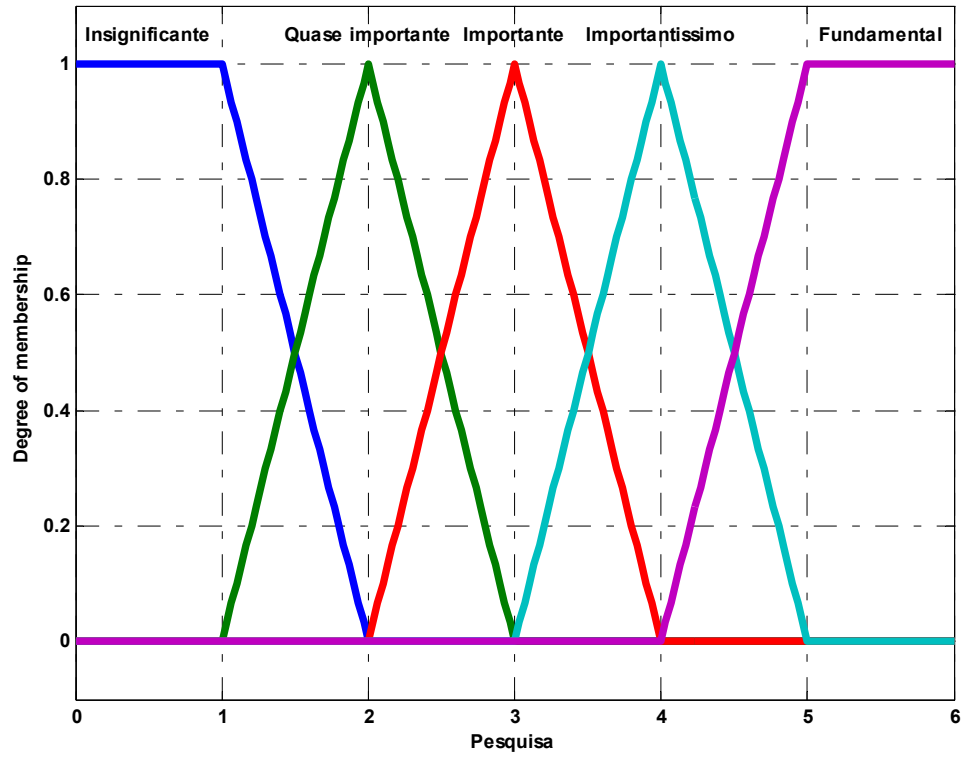
Um número crescente de aplicações Biológicas tem sido resolvidas através da Computação, que alavancou sobremaneira o desenvolvimento nas áreas de genética e diagnósticos médicos nos últimos anos. Técnicas de Inteligência Artificial têm sido cada vez mais utilizadas para a resolução de problemas tipicamente solucionados por especialistas humanos, como programas de diagnósticos médicos e de decodificação de material genético de espécies animais. Este trabalho espera ter contribuído em uma nova aplicação de técnicas de inteligência artificial para a solução de um problema tipicamente humano.

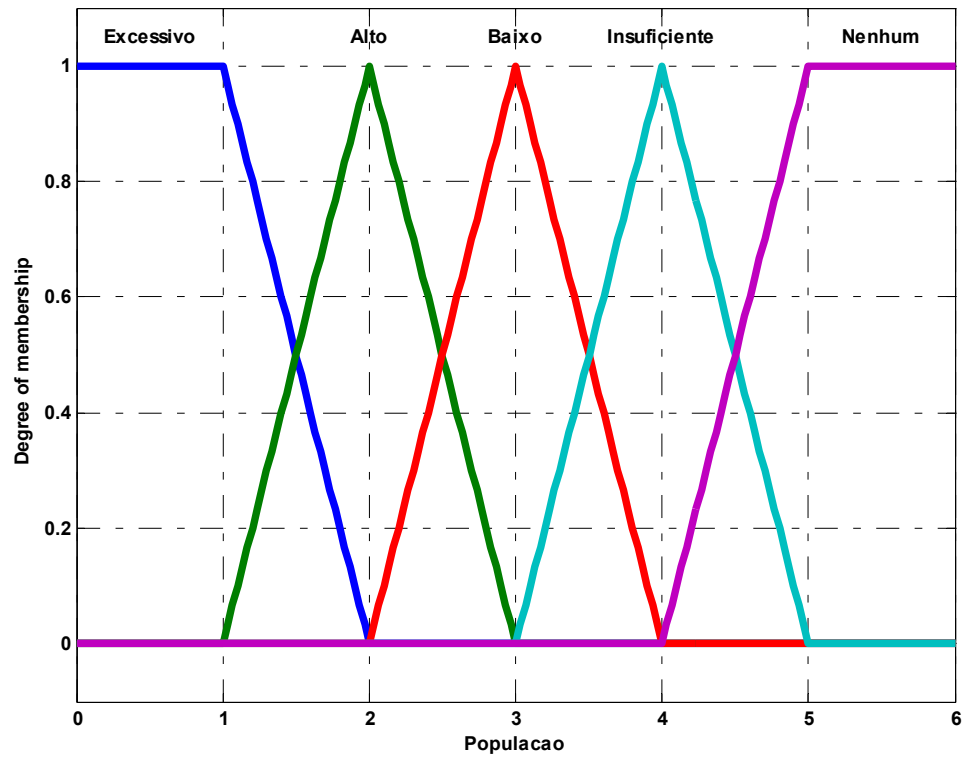
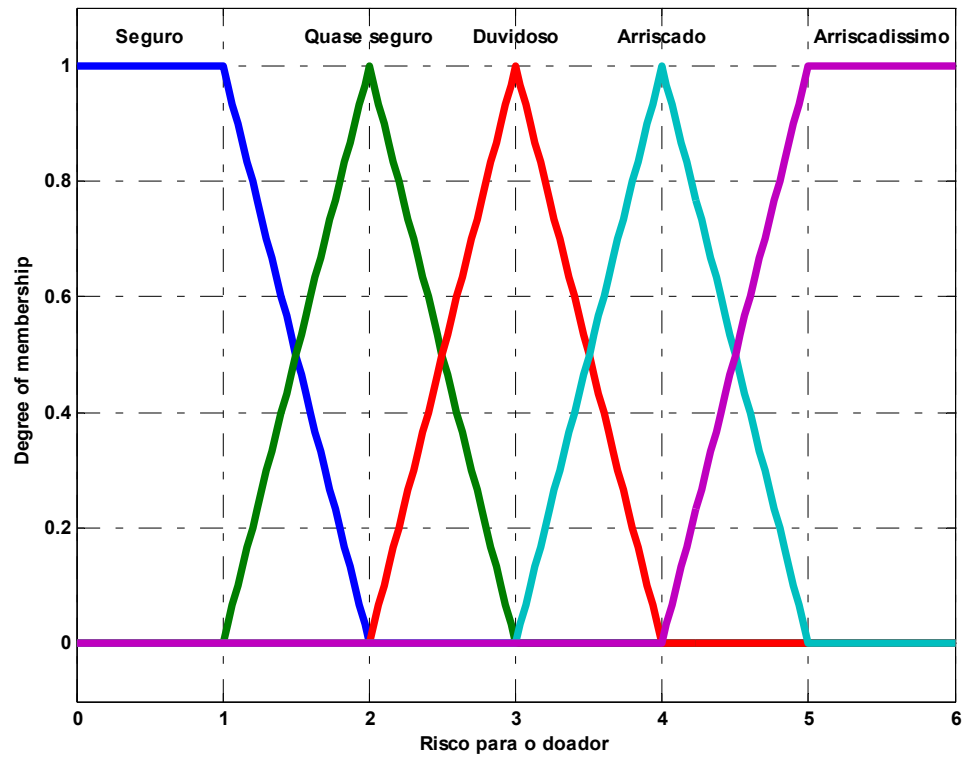
ANEXOS

ANEXO I – Funções de pertinência das Variáveis de Entrada do modelo proposto

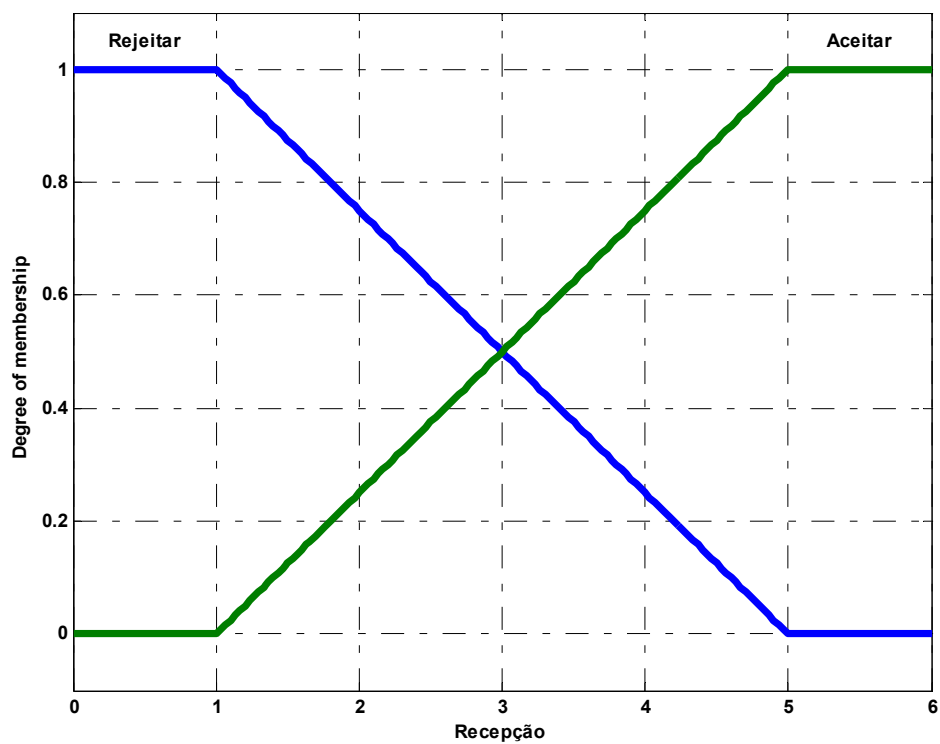








ANEXO II – Funções de pertinência da Variável de Saída do modelo proposto



ANEXO III – Regras Linguísticas do modelo proposto

(1) SE (Alojamento é Simples) E

(Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**

(Trocável é Interessante) **E**

(Educação ambiental é Pouco interesse) **E**

(Pesquisa é Importante) **E**

(Programas de conservação é Quase importante) **E**

(População é Alto) **ENTÃO**

(Recepção é Aceitar)

(2) SE (Alojamento é Médio) E

(Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**

(Trocável é Interessante) **E**

(Educação ambiental é Interessante) **E**

(Pesquisa é Importantíssimo) **E**

(População é Insuficiente) **ENTÃO**

(Recepção é Aceitar)

(3) SE (Alojamento é Médio) E

(Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**

(Trocável é Interessante) **E**

(Educação ambiental é Interessante) **E**

(Pesquisa é Importantíssimo) **E**

(População é Insuficiente) **ENTÃO**

(Recepção é Aceitar)

(4) SE (Alojamento é Médio) E

(Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**

(Trocável é Pouco) **E**

(Educação ambiental é indiferente) **E**

(Pesquisa é Importantíssimo) **E**

(Programas de conservação é Importante) **ENTÃO**

(Recepção é Aceitar)

- (5) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
 (Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**
 (Trocável é Interessante) **E**
 (Educação ambiental é indiferente) **E**
 (Pesquisa é Importantíssimo) **E**
 (Programas de conservação é Fundamental) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)
- (6) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
 (Pesquisa é Insignificante) **ENTÃO**
 (Recepção é Rejeitar)
- (7) **SE** (Adaptação ao Clima local é Fácilimo) **E**
 (Educação ambiental é Desinteressante) **E**
 (Pesquisa é Importante) **E**
 (Programas de conservação é Importante) **E**
 (População é Baixo) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)
- (8) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
 (Trocável é Muito pouco) **E**
 (Educação ambiental é Interessante) **E**
 (Pesquisa é Insignificante) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)
- (9) **SE** (Alojamento é Complicado) **E**
 (Educação ambiental é Desinteressante) **E**
 (Pesquisa é Quase importante) **E**
 (Programas de conservação é Insignificante) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)

- (10) **SE** (Alojamento é Simplíssimo) **E**
 (Adaptação ao Clima local é Fácilimo) **E**
 (Trocável é Interessantíssimo) **E**
 (Educação ambiental é Desinteressante) **E**
 (Pesquisa é Importante) **E**
 (Programas de conservação é Insignificante) **E**
 (População é Baixo) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)
- (11) **SE** (Alojamento é Simplíssimo) **E**
 (Educação ambiental é Desinteressante) **E**
 (Pesquisa é Insignificante) **E**
 (População é Excessivo) **ENTÃO**
 (Recepção é Rejeitar)
- (12) **SE** (Alojamento é Complicado) **E**
 (Educação ambiental é Desinteressante) **E**
 (Pesquisa é Quase importante) **E**
 (Programas de conservação é Insignificante) **ENTÃO**
 (Recepção é Rejeitar)
- (13) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
 (Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**
 (Trocável é Interessantíssimo) **E**
 (Educação ambiental é Interessantíssimo) **E**
 (Pesquisa é Fundamental) **E**
 (Programas de conservação é Fundamental) **E**
 (População é Nenhum) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)
- (14) **SE** (Alojamento é Simples) **E**
 (Adaptação ao Clima local é Fácil) **E**
 (Trocável é Muito pouco) **E**
 (Educação ambiental é Interessantíssimo) **E**
 (Pesquisa é Insignificante) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)

- (15) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
(Trocável é Muito pouco) **E**
(Educação ambiental é Interessante) **E**
(Pesquisa é Importante) **ENTÃO**
(Recepção é Aceitar)
- (16) **SE** (Alojamento é Simplíssimo) **E**
(Risco para o doador é Arriscadíssimo) **ENTÃO**
(Recepção é Aceitar)
- (17) **SE** (Alojamento é Simplíssimo) **E**
(Adaptação ao Clima local é Fácilimo) **E**
(Trocável é Interessantíssimo) **E**
(Educação ambiental é Desinteressante) **E**
(Pesquisa é Importante) **E**
(Programas de conservação é Insignificante) **E**
(População é Baixo) **ENTÃO**
(Recepção é Aceitar)
- (18) **SE** (Alojamento é Complicadíssimo) **E**
(Adaptação ao Clima local é Médio) **E**
(Educação ambiental é Desinteressante) **E**
(Pesquisa é Importantíssimo) **E**
(Programas de conservação é Importantíssimo) **E**
(População é Baixo) **ENTÃO**
(Recepção é Aceitar)
- (19) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
(Adaptação ao Clima local é Médio) **E**
(Trocável é Muito pouco) **E**
(Educação ambiental é Pouco interesse) **ENTÃO**
(Recepção é Aceitar)

- (20) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
 (Trocável é Pouco) **E**
 (Educação ambiental é Interessante) **E**
 (Pesquisa é Importantíssimo) **E**
 (Programas de conservação é Quase importante) **ENTÃO**
 (Recepção é Todos)
- (21) **SE** (Alojamento é Médio) **E**
 (Adaptação ao Clima local é Fácilimo) **E**
 (Educação ambiental é Pouco interesse) **E**
 (Pesquisa é Insignificante) **ENTÃO**
 (Recepção é Todos)
- (22) **SE** (Alojamento é Complicado) **E**
 (Adaptação ao Clima local é Difícil) **E**
 (Trocável é Muito pouco) **E**
 (Educação ambiental é Interessante) **E**
 (Pesquisa é Importante) **E**
 (Programas de conservação é Quase importante) **E**
 (População é Insuficiente) **ENTÃO**
 (Recepção é Todos)
- (23) **SE** (Educação ambiental é Interessantíssimo) **OU**
 (Pesquisa é Fundamental) **OU**
 (Programas de conservação é Fundamental) **OU**
 (Risco para o doador é Arriscadíssimo) **OU**
 (População é Nenhum) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)
- (24) **SE** (Educação ambiental é Interessante) **OU**
 (Pesquisa é Importantíssimo) **OU**
 (Programas de conservação é Importantíssimo) **ENTÃO**
 (Recepção é Aceitar)

076	19.09.03	Mamíferos	Resp11	Macaco-barrigudo														
077	06.10.03	Mamíferos	Resp04	Tatú														
078	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
079	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
080	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
081	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
082	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
083	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
084	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
085	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
086	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
087	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
088	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
089	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
090	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)														
091	12.11.03	Mamíferos	Resp15	Ouriço-Cacheiro														
092	17.11.03	Aves	Resp08	Coruja														
093	12.12.03	Aves	Resp01	Beija-flor														
094	14.03.04	Aves	Resp02	Araçari-banana														
095	22.03.04	Répteis	Resp03	Cobra-capim														
096	14.04.04	Répteis	Resp09	Cobra-d'água														
097	14.04.04	Répteis	Resp09	Jararacussu														
Doação	16.06.04	Mamíferos	Resp14	Macaco-prego														
Doação	22.06.04	Mamíferos	Resp14	Urso-de-óculos														
Doação	07.08.04	Aves	Resp09	Gavião-pombo														

1) Adaptação ao clima da cidade: as facilidades que o animal possui em se adaptar ao clima de São Paulo;

- 2) Alimentação: O fato de alguns animais utilizarem na sua alimentação itens peculiares, como espécies específicas de insetos ou frutas da região de origem. Podem dificultar que estas dietas dos animais sejam reproduzidas ou de ser substituída por outros alimentos;
- 3) Alojamento: o zoológico mantém os seus animais em recintos e terrários amplos e semelhantes aos habitat naturais. A facilidade na reprodução do habitat natural de um espécime ou sua facilidade de adaptação a esses recintos pode representar a chance de sobrevivência do animal em cativeiro. A existência de um recinto já adaptado a uma espécie e com vaga disponível pode influenciar no recebimento de um espécime;
- 4) “Trocável”: alguns animais podem ser usados para troca com outras instituições e zoológicos no país ou no mundo;
- 5) Recurso Financeiro: se já existe recurso financeiro alocado no zoológico e se este é suficiente para receber e manter este animal, as chances do animal ser aceito aumentam;
- 6) Atividades para Educação Ambiental: vários animais são utilizados em atividades que direta ou indiretamente desenvolvem a educação ambiental, fazendo com que os visitantes tenham uma preocupação com a preservação do meio ambiente;
- 7) Fatores Emocionais Envolvidos: por pena, o animal pode estar machucado ou mexerem com outros fatores emocionais (pena, afeição);
- 8) Pesquisa: alguns tipos de animais estão envolvidos com programas de pesquisa do zoológico, sendo de grande interesse para a instituição;
- 9) Programas de Conservação: algumas espécies, por estarem ameaçadas de extinção, participam de programas nacionais de conservação e, por isso, devem ser protegidas;

- 10) Risco de Vida para o Doador: o animal por ser peçonhento ou selvagem, podendo pôr em risco a vida do doador ou de outras pessoas, caso não seja aceito; e
- 11) Diversifica a Coleção: muitas vezes existe interesse em animais que ainda não fazem parte do acervo do zôo ou que tem poucos exemplares.

ANEXO V – Questionário preenchido

RELAÇÃO DOS TERMOS DE ENTREGA ENVIADOS AOS SETORES DA DCB 2002-2005

Dar notas de **0** a **5** de acordo com a interferência do fator na recepção do animal. A nota 0 (zero) significa que não houve influência.

DADOS						FATORES										
Casos	Nº	Data d da entrega	Enviado para o setor de	Recebido por	Animal	Alimentação	Alojamento	Adaptação ao clima local	Trocável	Recurso	Educação ambiental	Envolvimento emocional	Pesquisa	Programas de conservação	Risco de vida	Diversifica a coleção
1	016	26.03.02	Aves	Resp01	Araçari poca	0	2	2	4	0	2	0	3	2	0	2
2	094	14.03.04	Aves	Resp02	Araçari-banana	0	2	2	4	0	4	0	4	1	0	0
3	065	08.04.03	Aves	Resp01	Araçari-de-faixa	0	3	2	4	0	4	0	4	0	0	4
4	066	08.04.03	Aves	Resp01	Araçari-de-faixa	0	3	2	4	0	4	0	4	0	0	4
5	021	16.09.02	Répteis	Resp03	Aranha	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
6	053	26.12.02	Répteis	Resp04	Aranha	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0
7	062	26.02.03	Répteis	Resp04	Aranha	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0
8	018	02.04.02	Répteis	Resp03	Aranha Armadeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1
9	026	16.08.02	Aves	Resp01	Arara	0	3	2	3	0	3	0	4	3	0	0
10	027	16.08.02	Aves	Resp01	Arara	0	3	2	3	0	3	0	4	3	0	0
11	028	16.08.02	Aves	Resp01	Arara	0	3	2	3	0	3	0	4	3	0	0
12	029	16.08.02	Aves	Resp01	Arara	0	3	2	3	0	3	0	4	3	0	0
13	015	20.03.02	Aves	Resp02	Arara-azul	0	3	2	4	0	3	0	4	5	0	0
14	048	21.11.02	Répteis	Resp04	Aruá do brejo	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
15	023	24.07.02	Aves	Resp01	Beija-flor	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0

16	025	12.08.02	Aves	Resp01	Beija-flor	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	064	08.04.03	Aves	Resp05	Beija-flor	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
18	072	12.08.03	Aves	Resp05	Beija-flor	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
19	075	12.09.03	Aves	Resp02	Beija-flor	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
20	093	12.12.03	Aves	Resp01	Beija-flor	1	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0
21	003	25.01.02	Répteis	Resp06	Cágado	0	0	1	0	0	1	0	3	3	0	3
22	006	04.03.02	Répteis	Resp04	Cágado	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	1
23	007	04.03.02	Répteis	Resp04	Cágado	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	1
24	024	26.07.02	Répteis	Resp03	Cágado	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1
25	037	28.09.02	Répteis	Resp07	Cágado	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1
26	042	22.10.02	Répteis	Resp07	Cágado	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1
27	050	23.12.02	Répteis	Resp04	Cágado	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1
28	052	18.12.02	Répteis	Resp04	Cágado listrado	0	1	1	0	0	0	0	2	0	0	1
29	004	05.02.02	Répteis	Resp03	Caninana	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
30	008	09.03.02	Répteis	Resp04	Caracol	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
31	009	09.03.02	Répteis	Resp04	Caracol	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
32	010	09.03.02	Répteis	Resp04	Caracol	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
33	011	09.03.02	Répteis	Resp04	Caracol	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
34	012	09.03.02	Répteis	Resp04	Caracol	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
35	013	09.03.02	Répteis	Resp04	Caracol	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
36	049	25.11.02	Répteis	Resp07	Caracol Mata atlântica	0	0	0	0	0	4	0	3	0	0	0
37	039	10.10.02	Aves	Resp08	Carcará	0	3	0	2	0	4	0	1	0	0	0
38	014	19.03.02	Répteis	Resp03	Cobra	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	0
39	canc	06.05.02	Répteis	Resp03	Cobra	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	0
40	040	18.10.02	Répteis	Resp03	Cobra d' água	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
41	002	30.01.02	Répteis	Resp03	Cobra d' água	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
42	054	22.01.03	Répteis	Resp03	Cobra de duas cabeças	1	1	0	0	0	2	0	1	0	0	2
43	043	25.10.02	Répteis	Resp03	Cobra de vidro	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
44	095	22.03.04	Répteis	Resp03	Cobra-capim	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2

45	096	14.04.04	Répteis	Resp09	Cobra-d'água	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
46	047	19.11.02	Répteis	Resp04	Cobra-espada	0	1	0	0	0	0	0	2	0	1	1
47	033	29.08.02	Aves	Resp01	Coruja	0	4	0	0	0	1	1	2	1	0	0
48	063	20.03.03	Aves	Resp08	Coruja	0	4	0	0	0	1	1	2	0	0	0
49	092	17.11.03	Aves	Resp08	Coruja	0	4	0	0	0	1	1	2	0	0	0
50	017	26.03.02	Mamíferos	Resp10	Cuíca	1	1	1	5	1	1	0	3	1	0	3
51	060	11.02.03	Mamíferos	Resp11	Cuíca	1	1	1	5	1	1	0	3	1	0	3
52	001	02.01.02	Répteis	Resp03	Dormideira	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2
53	041	18.10.02	Répteis	Resp03	Dormideira	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
54	044	30.10.02	Répteis	Resp07	Dormideira	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
55	032	29.08.02	Aves	Resp02	Gavião	0	4	0	0	0	1	1	2	1	0	0
56	074	27.08.03	Aves	Resp01	Gavião	2	3	0	0	0	1	1	2	1	0	0
57	061	11.02.03	Aves	Resp02	Gavião-pega-macaco	0	3	2	5	0	5	2	5	5	0	5
58	069	02.07.03	Aves	Resp12	Gavião-peneira	0	2	2	2	0	5	0	1	0	0	0
59	Doa ção 067	07.08.04	Aves	Resp09	Gavião-pombo	0	3	1	5	0	5	0	5	5	0	0
60	067	30.05.03	Aves	Resp13	Gralha-de-topete	0	3	0	2	0	4	0	3	0	0	0
61	068	30.05.03	Aves	Resp05	Gralha-de-topete	0	3	0	2	0	4	0	3	0	0	0
62	078	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
63	079	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
64	080	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
65	081	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
66	082	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
67	083	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
68	084	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
69	085	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
70	086	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
71	087	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
72	088	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3
73	089	28.10.03	Répteis	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	1	2	1	0	0	0	0	4	4	0	3

ANEXO VI – Questionário preenchido e reduzido

RELAÇÃO DOS TERMOS DE ENTREGA ENVIADOS AOS SETORES DA DCB 2002-2005

Casos	Id Zoo	Data d da entrega	Enviado para o setor de	Recebido por	Animal	Alimentação	Alojamento	Adaptação ao clima local	Trocável	Recurso	Educação ambiental	Envolvimento emocional	Pesquisa	Programas de conservação	Risco de vida	População
1	16	26/3/02	Aves	Resp01	Araçari poca		2	2	4		2		3	2		2
2	65	8/4/03	Aves	Resp01	Araçari-de-faixa		3	2	4		4		4			4
3	66	8/4/03	Aves	Resp01	Araçari-de-faixa		3	2	4		4		4			4
4	26	16/8/02	Aves	Resp01	Arara (4)		3	2	3		3		4	3		
5	15	20/3/02	Aves	Resp02	Arara-azul		3	2	4		3		4	5		
6	23	24/7/02	Aves	Resp01	Beija-flor	1	3						1			
7	3	25/1/02	Répteis	Resp06	Cágado			1			1		3	3		3
8	39	10/10/02	Aves	Resp08	Carcará		3		2		4		1			
9	33	29/8/02	Aves	Resp01	Coruja		4				1	1	2	1		
10	17	26/3/02	Mamíferos	Resp10	Cuíca	1	1	1	5	1	1		3	1		3
11	41	18/10/02	Répteis	Resp03	Dormideira	1	1				1		1			1
12	32	29/8/02	Aves	Resp02	Gavião		4				1	1	2	1		
13	61	11/2/03	Aves	Resp02	Gavião-pega-macaco		3	2	5		5	2	5	5		5
14	69	2/7/03	Aves	Resp12	Gavião-peneira		2	2	2		5		1			
15	67	30/5/03	Aves	Resp13	Gralha-de-topete		3		2		4		3			
16	19	20/4/02	Répteis	Resp04	Jararaca		1								5	
17	34	3/9/02	Mamíferos	Resp11	Lutriolina	1	1	1	5	1	1		3	1		3

Casos	Id Zoo	Data d da entrega	Enviado para o setor de	Recebido por	Animal	Alimentação	Alojamento	Adaptação ao clima local	Trocável	Recurso	Educação ambiental	Envolvimento emocional	Pesquisa	Programas de conservação	Risco de vida	População
18	76	19/9/03	Mamíferos	Resp11	Macaco-barrigudo	1	5	3		1	1		4	4		3
19	73	25/8/03	Aves	Resp01	Pavão		3	3	2		2					
20	38	7/10/02	Aves	Resp02	Pavó	1	3		3		4		4	2		
21	45	4/11/02	Aves	Resp01	Periquito		3	1			2		1			
22	51	10/12/02	Aves	Resp02	Pingüim	2	4	4	2	1	4		3	2		4

ANEXO VII – Animais recebidos – 2002/2005

RELAÇÃO DOS TERMOS DE ENTREGA ENVIADOS AOS SETORES DA DCB 2002

Nº	Data Da Entrega	Enviado para o setor de	Funcionário da Segurança	Recebido Por	Animal	Observações
001	02.01.02	Répteis		Resp03	Dormideira	
002	30.01.02	Répteis		Resp03	Cobra d'água	
003	25.01.02	Répteis		Resp06	Cágado	
004	05.02.02	Répteis		Resp03	Caninana	
005	24.02.02	DED	Guarda1			CANCELADA
006	04.03.02	Répteis	Guarda2	Resp04	Cágado	
007	04.03.02	Répteis	Guarda2	Resp04	Cágado	
008	09.03.02	Répteis		Resp04	Caracol	
009	09.03.02	Répteis		Resp04	Caracol	
010	09.03.02	Répteis		Resp04	Caracol	
011	09.03.02	Répteis		Resp04	Caracol	
012	09.03.02	Répteis		Resp04	Caracol	
013	09.03.02	Répteis		Resp04	Caracol	
014	19.03.02	Répteis	Guarda2	Resp03	Cobra	
015	20.03.02	Aves	Guarda1	Resp02	Arara-azul	
016	26.03.02	Aves	Guarda3	Resp01	Araçari	
017	26.03.02	Mamíferos	Guarda3	Resp10	Cuíca	
018	02.04.02	Répteis	Guarda2	Resp03	Aranha Armadeira	
019	20.04.02	Répteis	Guarda3	Resp04	Jararaca	
020	06.05.02	Répteis	Guarda4	Resp03	Cobra	CANCELADA
021	16.09.02	Répteis	Guarda5	Resp03	Aranha	
022	18.07.02	Répteis	Guarda4	Resp07	Muçuã	
023	24.07.02	Aves	Guarda4	Resp01	Beija-flor	
024	26.07.02	Répteis	Guarda1	Resp03	Cágado	
025	12.08.02	Aves	Guarda6	Resp01	Beija-flor	
026	16.08.02	Aves	Guarda4	Resp01	Arara	
027	16.08.02	Aves	Guarda4	Resp01	Arara	
028	16.08.02	Aves	Guarda4	Resp01	Arara	
029	16.08.02	Aves	Guarda4	Resp01	Arara	
030	24.08.02	Aves	Guarda5	Resp05	Pingüins	
031	27.08.02	Aves	Guarda4	Resp01	Pingüins	
032	29.08.02	Aves	Guarda6	Resp02	Gavião	
033	29.08.02	Aves	Guarda6	Resp01	Coruja	
034	03.09.02	Mamíferos	Guarda6	Resp11	Lutiolina	
035	22.09.02	Répteis	Guarda5	Resp07	Tartaruga	
036	24.09.02	Aves	Guarda5	Resp01	Pingüins	

037	28.09.02	Répteis	Guarda4	Resp07	Cágado	
038	07.10.02	Aves	Guarda6	Resp02	Pavó	
039	10.10.02	Aves	Guarda5	Resp08	Carcará	
040	18.10.02	Répteis	Guarda5	Resp03	Cobra d' água	
041	18.10.02	Répteis	Guarda5	Resp03	Dormideira	
042	22.10.02	Répteis	Guarda4	Resp07	Cágado	
043	25.10.02	Répteis	Guarda1	Resp03	Cobra de vidro	
044	30.10.02	Répteis	Guarda5	Resp07	Dormideira	
045	04.11.02	Aves	Guarda5	Resp01	Periquito	
046	12.11.02	Répteis	Guarda5	Resp07	Jararaca	
047	19.11.02	Répteis	Guarda4	Resp04	Cobra-espada	
048	21.11.02	Répteis	Guarda6	Resp04	Aruá do brejo	
049	25.11.02	Répteis	Guarda6	Resp07	Caracol Mata atlântica	
050	23.12.02	Répteis	Guarda7	Resp04	Cágado	
051	10.12.02	Aves	Guarda6	Resp02	Pingüim	
052	18.12.02	Répteis	Guarda6	Resp04	Cágado listrado	
053	26.12.02	Répteis	Guarda6	Resp04	Aranha	

2003

054	22.01.03	Répteis	Guarda6	Resp03	Cobra de duas cabeças	
055	23.01.03	Répteis	Guarda6	Resp03	Jararaca	
056	27.01.03	Répteis	Guarda6	Resp04	Rã-parda	
057	27.01.03	Répteis	Guarda6	Resp04	Perereca do cerrado	
058	27.01.03	Répteis	Guarda6	Resp04	Perereca-malhada	
059	27.01.03	Répteis	Guarda6	Resp04	Perereca-verde	
060	11.02.03	Mamíferos	Guarda5	Resp11	Cuíca	
061	11.02.03	Aves	Guarda5	Resp02	Gavião-pega-macaco	
062	26.02.03	Répteis	Guarda6	Resp04	Aranha	
063	20.03.03	Aves	Guarda5	Resp08	Coruja	
064	08.04.03	Aves	Guarda6	Resp05	Beija-flor	
065	08.04.03	Aves	Guarda5	Resp01	Araçari-de-faixa	
066	08.04.03	Aves	Guarda5	Resp01	Araçari-de-faixa	
067	30.05.03	Aves	Guarda4	Resp13	Gralha-de-topete	
068	30.05.03	Aves	Guarda4	Resp05	Gralha-de-topete	
069	02.07.03	Aves	Guarda4	Resp12	Gavião-peneira	
070	30.07.03	DED	Guarda1	Resp16	Piton-burmesa	
071	30.07.03	DED	Guarda1	Resp16	Piton-burmesa	
072	12.08.03	Aves	Guarda2	Resp05	Beija-flor	
073	25.08.03	Aves	Guarda1	Resp01	Pavão	
074	27.08.03	Aves	Guarda1	Resp01	Gavião	
075	12.09.03	Aves		Resp02	Beija-flor	
076	19.09.03	Mamíferos	Guarda6	Resp11	Macaco-barrigudo	
077	06.10.03	Mamíferos	Guarda4	Resp04	Tatú	
078	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
079	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
080	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
081	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	

082	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
083	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
084	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
085	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
086	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
087	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
088	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
089	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
090	28.10.03	Répteis	Guarda1	Resp04	Irapuca (Tartaruga)	
091	12.11.03	Mamíferos	Guarda6	Resp15	Ouriço-Cacheiro	
092	17.11.03	Aves	Guarda6	Resp08	Coruja	
093	12.12.03	Aves	Guarda5	Resp01	Beija-flor	

2004

094	14.03.04	Aves	Guarda6	Resp02	Araçari-banana	
095	22.03.04	Répteis	Guarda6	Resp03	Cobra-capim	
096	14.04.04	Répteis	Guarda6	Resp09	Cobra-d'água	
097	14.04.04	Répteis	Guarda8	Resp09	Jararacussu	
098	16.06.04	Mamíferos	Guarda8	Resp14	Macaco-prego	Virou doação
099	22.06.04	Mamíferos	Guarda6	-	Urso-de-óculos	Virou doação
100	07.08.04	Aves	Guarda6	Resp09	Gavião-pombo	Virou doação

2005

101						
102						
103						
104						
105						
106						
107						
108						
109						
110						

LISTA DE REFERÊNCIAS

AKAY, M.; COHEN, M.; HUDSON, D. Fuzzy sets in life sciences. **Fuzzy Sets and Systems**, v.90, n.2, p.219-24, 1997.

ANDRADE, M.T.C. **Controlador Borroso Universal Distribuido: Base de Conocimientos, Modelo Computacional y Herramientas de Software**, 1995, 326p. Tesis (Doctoral) - Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 1995.

BARROS, L. C. **Introdução à teoria fuzzy – aplicações em biomatemática**. Campinas, 2002. Apostila do minicurso apresentado no congresso latino-americano de biomatemática. Disponível em: < <http://www.ime.usp.br/~tonelli/verao-fuzzy/material.html> > . Acesso em: 24 de abr.2003.

BOCK,W.; SALSKI, A. A fuzzy knowledge-based model of population dynamics of the Yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) in a beech forest. **Ecological Modelling**, v.108, n.1-3, p155-61, 1998.

BOGON, K. Tier – und Naturfotografie, Apresenta foto de *Apodemus flavicollis*. Kassel, Germany. Disponível em: < <http://www.bogon-naturfoto.de/Fotogalerie/Kleinsauger/ FKL0104/fkl0104.html> > . Acesso em: 24 de abr. 2003.

BSA PLANT IMAGES ONLINE – St. Louis. Apresenta banco de imagens botânicas. Disponível em: <<http://www.botany.org/PlantImages/ImageData.asp?IDN=abot84-2&IS=700>>. Acesso em: 25 de jan. 2004.

BUCHANAN, B., BARSTOW, D., BECHTEL, R. *Constructing an Expert System*. In: Waterman, D., Lenat, D. (eds.). **Building Expert Systems**. Reading, MA: Addison-Wesley. p.127-69, 1983.

BULTE, E. H.; KOOTENG, C. Harvesting and conserving a species when numbers are low: population viability and gambler's ruin in bioeconomic models, **Ecological Economics**, V.37, Issue 1, p.87-100, 2001. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VDY-42P525V-8/2/597e8eec91ccc5c5e191c21f29a71a2a>> Acesso em: 20 de fev. 2004.

CFSP – Cronologias Folha de São Paulo, São Paulo 07/09/2004. Banco de dados Folha – ciência disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/almanaque/ciencia90.htm>>. Acesso em: 07 de set. 2004.

CUGNASCA, P.S. **Modelos baseados em lógica nebulosa para avaliação de sistemas tolerantes a defeitos**, 1999. 236p. Tese de doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

DAUNICHT, W.; SALSKI A.; NÖHR, P.; NEUBERT, C. A fuzzy knowledge-based model of annual production of skylarks, **Ecological Modelling**, v.85, n.1, p.67-73, 1996.

DRIANKOV, D.; HELLENDORF, H.; REINFRANK, M. **An Introduction to Fuzzy Control**. USA. Springer-Verlag, 1996.

DUBOIS, D.; PRADÉ, H. **Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications**. USA: Academic Press Inc., 1980.

FLEISCHMANN, R.D., et al. Whole-genome random sequencing and assembly of **Haemophilus influenzae** Rd. **Science**. 269, p.496-512, 1995.

FCPFESP – Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo - Fundação Florestal. São Paulo. Disponível em: <<http://www.fflorestal.sp.gov.br/>> acesso em: 27 de jun. 2003.

GARCIA, A. C. B. ; VAREJÃO, F. M. ; FERRAZ, I. N. Aquisição de Conhecimento. In: Solange Rezende. (Org.). **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. 1ª ed. Barueri - São Paulo, 2003, p.51-87.

GEUS A. **The Living Company**. Boston: Harvard Business School Press, 1997.

GIARRATANO, J.C.; RILEY, G. **Expert Systems - Principles and Programming**. 2.ed. Boston, USA, PWS - Kent Publishing, 1989.

GONZALEZ, A.J.; DANKEL, D.D. **The Engineering of Knowledge-Based Systems**. Englewood Cliffs, USA, Prentice Hall, 1993.

HLASEK, J.; HLASEK, L. Photo Gallery wildlife pictures Czech Republic . Apresenta fotos. Disponível em: <http://www.hlasek.com/alauda_arvensis_2295.html>. Acesso em: 10 de fev. 2004.

KLIR, G.J.; FOLGER, T.A. **Fuzzy Sets, Uncertainty and Information**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1988.

KLIR, G.J.; YUAN, B. **Fuzzy Sets and Fuzzy Logic – Theory and Applications**. New Jersey, USA: Prentice Hall PTR, 1995.

LEDLEY, R. S., LUSTED, L. B. Medical diagnosis and modern decision making. In: *Mathematical Problems in the Biological Sciences, Proceedings of SYMPOSIA IN APPLIED MATHEMATICS*, 14, p.117-58, American Mathematical Society, Providence, R.I., 1962.

LEDLEY, R. S.; LUSTED, L. B. Reasoning foundations of medical diagnosis. **Science**, v.130, n.3366, p.9-21, 1959.

LEDLEY, R. S.; LUSTED, L. B. The use of electronic computers to aid in medical diagnosis source, proceedings of the IRE, v.47, n.4, p.1970-7, 1959.

LEDLEY, R.S. **Digital computer and control engineering**. New York: McGraw-Hill, 1960.

LEDLEY, R.S. **Use computers in biology and medicine**. New York: McGraw-Hill, 1965.

LEE, C.C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller - part I. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v.20, n.2, p.404-18, 1990.

LEE, C.C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller – part II. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v.20, n.2, p.419-35, 1990.

LIRA, M.M.S.; CARVALHO JR, M.A. Sistemas Híbridos Aplicados a Filtragem de Sinais de Alarmes de Proteção de uma Subestação Telecomandada. In: *IV CONGRESSO BRASILEIRO DE REDES NEURAIAS*, São José dos Campos - SP. 1999. **Anais**. São José dos Campos - SP. ITA. p. 215-219, 1999

MACIEL, E. M. B.; CUGNASCA, P. S.. Sistematização da seleção de espécimes de *saguinus bicolor bicolor* para reprodução em cativeiro utilizando lógica fuzzy. In: *X CONGRESSO BRASILEIRO DE PRIMATOLOGIA*, 2002, Belém- PA. Resumos v. 1. p. 135-135.

MAMDANI, E.H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers. In Mamdani, E.H.; Gaines, B.R. **Fuzzy reasoning and it's applications**. London: Academic Press, 1981. p. 325-34

MAMDANI, E.H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. **International Journal of Man Machine Studies**, v.7, n.1, p.1-13, 1975.

PATTEN B.C. (Ed.), **Systems Analysis and Simulation in Ecology**. New York, NY: Academic Press, 1971. v.I

PEARL, J. **Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Networks of Plausible Inference**. 2.ed. Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Mateo, California, USA, 1988

PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo. São Paulo, Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/>>. Acesso em: 05 de abr. 2003

REZENDE, S. O. (org.) **Sistemas Inteligentes: Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2003. 525p.

ROMÃO W., NIEDERAUER , C.A.P., MARTINS, A., TCHOLAKIAN, A., PACHECO, R.C.S. Algoritmos Genéticos e Conjuntos Difusos Aplicados ao Controle de um Processo Térmico. **Revista Tecnológica**. Centro de Tecnologia. Universidade Estadual de Maringá, Número 8, p. 7-21, 1999.

SALSKI, A. Fuzzy logic approach to data analysis and **Ecological Modelling**. In: EUROPEAN SYMPOSIUM ON INTELLIGENT TECHNIQUES (ESIT'99), Greece, 1999. **Proceedings**. Greece: Orthodox Academy of Create, 1999.1 CD-ROM.

SATTLER, R., Classical morphology and continuum morphology: opposition and continuum, **Annals of Botany**, v.78, n.5, p.577-81, 1996.

SEISING, R.; SCHUH, C.; ADLASSNIG, K. P. Medical knowledge, fuzzy sets, and expert systems. In: THIRD EUROPEAN SYMPOSIUM ON INTELLIGENT TECHNOLOGIES, HYBRID SYSTEMS AND THEIR IMPLEMENTATION ON SMART ADAPTIVE SYSTEMS, Finland, 2003. **Annals**, Finland: 2003.

SHAFER, G.; PEARL, J.; ed; Non-Numerical Approaches To Plausible Inference In: Shafer, G.; Pearl, J., ed. **Readings in Uncertain Reasoning**.. San Mateo, USA, Morgan Kaufmann Publishers Inc, 1990. Chapter 8, p.625-8.

SHAW, I. S.; SIMÕES M. G. *Controle e Modelagem Fuzzy*. FAPESP, Editora Edgard Blücher LTDA. 1999.

WSPA – World Society for the Protection of Animals) Disponível em: <<http://www.wspa.org.uk/index.php?page=868>>. Acesso em: 05 de jun. 2005

YAGER, R.R. On a general class of fuzzy connectives. **Fuzzy Sets and Systems**, v.4, n.3, p.235-42, 1980.

ZADEH, L.A. Fuzzy Logic. **IEEE Computer**, v.21, n.4, p.83-93, Apr. 1988.

ZADEH, L.A. A theory of approximate reasoning. **Machine Intelligence**, n.9, cap.7, p.149-94. Hayes, J.E; Michie, D.; Mikulich, L.I. ed. John Wiley & Sons, Inc., 1979.

ZADEH, L.A. Fuzzy Sets. **Information and Control**, v.8, p.338-53, 1965.

ZADEH, L.A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v.3, n.1, p.28-44, 1973.

ZADEH, L.A. Probability measures of fuzzy events. **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, n.23, p.421-7, 1968.

ZIMMERMANN, H. J. **Fuzzy Set Theory and Its Applications**. 3.ed. Boston/Dordrecht/London: Kluwer Academic Publishers, 1996.

OUTRAS REFERÊNCIAS CONSULTADAS

CASTANHO, M. J. P.; MAGNAGO, K. F.; BASSANEZI, R. C. Abordagem fuzzy na dinâmica de populações de Dípteros Califorídeos. **Biomatemática**, Campinas, SP, v. 13, p. 55-65, 2003.

CORDINGLEY, E. S. Knowledge elicitation techniques for knowledge-based systems. In D. Diaper (Ed.), **Knowledge elicitation: Principles, techniques and applications**. Chichester, England: Ellis Horwood Ltd., 1989.

DE COCK M., CORNELIS C., KERRE, E. E. Elicitation of Fuzzy Association Rules from Positive and Negative Examples **Fuzzy Sets and Systems** 149(1), p. 73-85, 2005
Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V05-4D4CVWK-3/2/0f9edd92a160ad88357c5158366e1410> > Acesso em 15 de abr. 2005.

ENEA M.; SALEMI G., Fuzzy approach to the environmental impact evaluation **Ecological Modelling**, v.135, Issues 2-3, 20 January 2001, Pages 131-147, Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-42NH38K-3/2/7701ce360b2b2fe4050bc68380bf3294>>. Acesso em: 05 de abr. 2003.

FPZSP - Fundação Parque Zoológico de São Paulo. São Paulo. Disponível em: <<http://www.zoologico.sp.gov.br/>>. Acesso em: 05 de abr. 2003.

GUPTA, M.M.; QI, J. Theory of T-Norms and Fuzzy Inference Methods. **Fuzzy Sets and Systems**, v.40, n.3, p.431-50, Apr. 1991.

HABERLANDT, U., KRYSANOVA, V.; BÁRDOSSY, A., Assessment of nitrogen leaching from arable land in large river basins: Part II: regionalisation using fuzzy rule based modelling, **Ecological Modelling**, v.150, Issue 3, 1 May 2002, Pages 277-294. , Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-45FYMSH-1/2/bc84a06483d311d3cb75b63ba8c535e3>> Acesso em: 05 de abr. 2003.

KAMPICHLER, C., JUTTA B.; WIELAND, R., Species density of foliage-dwelling spiders in field margins: a simple, fuzzy rule-based model, **Ecological Modelling**, v.129, Issue 1, 3 May 2000, Pages 87-99. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-40SFFYR-5/2/3500cf0ab20f56dd75681ebd6ff3b33b>> Acesso em: 05 de abr. 2003.

MACKINSON, S., An adaptive fuzzy expert system for predicting structure, dynamics and distribution of herring shoals, **Ecological Modelling**, v.126, Issues 2-3, 2000, Pages 155-178. , Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-40N7B10-5/2/36a3b32e39ba2643edd88c4567cd172d>>. Acesso em: 05 de abr. 2003.

METTERNICHT, G. I. Categorical fuzziness: a comparison between crisp and fuzzy class boundary modelling for mapping salt-affected soils using Landsat TM data and a classification based on anion ratios, **Ecological Modelling**, v.,168, Issue 3, 15 October 2003, Pages 371-389. , Disponível em: < (<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-490RFVC-2/2/24b3ef52e08ddcf3fcd2890859ef4b71>)>. Acesso em 25 de nov. 2003.

OLSON, J. E. and REUTER, H. H.. Extracting expertise from experts: methods for knowledge acquisition. **Expert Systems**, v.4, n.84, p.231-59, 1997.

PHUONG, N. H. KREINOVICH, V., Fuzzy logic and its applications in medicine, **International Journal of Medical Informatics**, v.62, Iss. 2-3, p.165-73, 2001.

R. PONGRACZ, I. BOGARDI AND L. DUCKSTEIN, Application of fuzzy rule-based modeling technique to regional drought **Journal of Hydrology**, v.224, Issues 3-4, p.100-14, nov.1999,

ROBERTSON, M. P.; PETER, C. I.; VILLET M. H.; RIPLEY, B. S., Comparing models for predicting species potential distributions: a case study using correlative and mechanistic predictive modelling techniques, **Ecological Modelling**, v.164, Issues 2-3, 15 June 2003, Pages 153-167. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-48D3B76-1/2/e57f02183b9af01587ac166d7306465f>> Acesso em 25 de jul. 2003.

SHORTLIFFE E.H. Computer-Based Medical Consultations: MYCIN. **American Elsevier**, New York, 1976.

SILVERT, W., Fuzzy indices of environmental conditions, **Ecological Modelling**, v.130, Issues 1-3, 1 June 2000, Pages 111-119. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-40WDR9R-Y/2/0d6e203c7e4c3cc1995efc15f26b4596>>. Acesso em: 05 de abr. 2003.

TRON, E., MARGALOT, M. Mathematical modeling of observed natural behavior: a fuzzy logic approach, **Fuzzy Sets and Systems**, Fuzzy Sets and Systems, v.146, Issue 3,

2004, Pages 437-450. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V05-49NV92H-1/2/1a60967e208299f51c7ff3162914d016>> Acesso em 20 de nov. 2004.

TRON, E., MARGALLOT, M., How does the *Dendrocoleum lacteum* orient to light? A fuzzy modeling approach, **Fuzzy Sets and Systems**, In Press, Corrected Proof, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V05-4FWS4T6-2/2/dade9ca26674811cbfeac54f0d491db4>> Acesso em 26 de abr. 2005.

WAN-XIONG, W.; YI-MIN L.; ZI-ZHEN, L.; FENGXIANG, Y., A fuzzy description on some ecological concept, **Ecological Modelling**, v.169, Issues 2-3, 15 November 2003, Pages 361-366. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-49JX91S-6/2/be75d9e8ae7bf0dc3d1038efc2ebb533>> Acesso em 03 de mai. 2004.

YAMADA, K., ELITH, J., MCCARTHY, M., ZADEH, A. L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – II. **Information Sciences**, v.8, n.4, p.301-57, 1975.

ZADEH, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – III. **Information Sciences**, v.9, n.1, p.43-80, 1975.

ZADEH, L.A. The concept. of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I. **Information Sciences**, v.8, n.3, p.199-249, 1975.

ZERGER, Eliciting and integrating expert knowledge for wildlife habitat modelling, **Ecological Modelling**, v.165, Issues 2-3, 15 July 2003, Pages 251-264. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-48TMFDJ-1/2/549423f9bcf42978236384986341218a>>. Acesso em 03 de mai. 2004.