

**CONJUNTOS FUZZY NA AVALIAÇÃO DO  
ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE SISTEMAS  
DE USO DA TERRA NA AMAZÔNIA  
OCIDENTAL, USANDO BESOUROS  
(Scarabaeidae) COMO BIOINDICADORES**

**ELISA TOSHIE URUSHIMA NAVARES**

**2007**

**ELISA TOSHIE URUSHIMA NAVARES**

**CONJUNTOS FUZZY NA AVALIAÇÃO DO ESTADO DE  
CONSERVAÇÃO DE SISTEMAS DE USO DA TERRA NA  
AMAZÔNIA OCIDENTAL, USANDO BESOUROS  
(Scarabaeidae) COMO BIOINDICADORES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Sergio Martins de Souza

LAVRAS  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos  
Técnicos da Biblioteca Central da UFLA**

Navares, Elisa Toshie Urushima.

Conjuntos fuzzy na avaliação do estado de conservação de sistemas de uso da terra na Amazônia Ocidental, usando besouros (Scarabaeidae) como bioindicadores/ Elisa Toshie Urushima Navares. - Lavras: UFLA, 2007.

69p. : il.

Orientador: Sergio Martins de Souza.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Lógica Fuzzy. 2. Scarabaeidae. 3. Uso da terra.  
4. Conservação ambiental. 5. Bioindicadores. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-519.52

**ELISA TOSHIE URUSHIMA NAVARES**

**CONJUNTOS FUZZY NA AVALIAÇÃO DO ESTADO DE  
CONSERVAÇÃO DE SISTEMAS DE USO DA TERRA NA  
AMAZÔNIA OCIDENTAL, USANDO BESOUROS  
(Scarabaeidae) COMO BIOINDICADORES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Estatística e Experimentação Agropecuária, para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 4 de abril de 2007

Prof. Dr. Ronald Zanetti Bonetti Filho                      UFLA

Profa. Dra. Solange Gomes Faria Martins                      UFLA

Prof. Dr. Sergio Martins de Souza

UFLA  
(Orientador)

LAVRAS  
MINAS GERAIS-BRASIL

## AGRADECIMENTOS

O ser humano, diferente de outros animais, é um ser social que interage com os elementos que fazem parte do seu convívio social e é por meio desse convívio que ele consegue aprender, crescer, evoluir ...

Agradeço a todos que me auxiliaram neste crescimento, principalmente meus amigos, professores e funcionários do Departamento de Exatas (DEX) da UFLA.

Meu orientador, Sergio Martins de Souza, que me incentivou, principalmente nos momentos difíceis e mostrou um caminho novo, que é a Teoria dos Conjuntos Fuzzy e forneceu alternativas para resolver os problemas que foram surgindo durante o trabalho.

A professora Solange Gomes Faria Martins que, com carinho, me ajudou de diversas formas (estágio, artigo, etc.).

Meu esposo, Julio e meus filhos, Sandra, Andrea e Otavio, que, em nenhum momento, duvidaram da minha capacidade e me auxiliaram de várias maneiras na conclusão do mestrado.

O professor Julio N. C. Louzada, que foi muito solícito e atencioso e forneceu o material necessário (dados, livros, artigos, questionários) para a conclusão do meu trabalho e auxiliou na análise dos resultados obtidos.

À CAPES que forneceu a bolsa necessária para a conclusão do trabalho.

Enfim, a todos aqueles que não citei aqui, mas pertencem ao grupo que esteve presente no dia-a-dia incentivando e apoiando de diferentes maneiras, fazendo parte da conclusão deste mestrado.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> . . . . .	i
<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	ii
<b>RESUMO</b> . . . . .	iv
<b>ABSTRACT</b> . . . . .	v
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	1
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> . . . . .	4
2.1 O Problema da Complexidade . . . . .	4
2.2 Conservação . . . . .	5
2.3 Bioindicadores . . . . .	12
2.3.1 Besouros . . . . .	14
2.4 Teoria dos Conjuntos Fuzzy . . . . .	16
2.4.1 Conjuntos Fuzzy . . . . .	16
2.4.2 Operações com Subconjuntos Fuzzy . . . . .	23
2.4.3 Variáveis Lingüísticas . . . . .	27
2.4.4 Relações Fuzzy . . . . .	28
2.4.5 Lógica Fuzzy . . . . .	31
2.5 Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (SBRF) . . . . .	32
2.5.1 Módulo de Fuzzificação ou Processador de Entrada . . . . .	33
2.5.2 Base de Regras . . . . .	33
2.5.3 Módulo de Inferência Fuzzy . . . . .	34

2.5.4 Módulo de Defuzzificação. . . . .	36
2.6 Aplicações da Lógica Fuzzy . . . . .	38
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS. . . . .</b>	<b>41</b>
3.1 Material. . . . .	41
3.2 Métodos. . . . .	42
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. . . . .</b>	<b>49</b>
<b>5 CONCLUSÃO. . . . .</b>	<b>54</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. . . . .</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICES. . . . .</b>	<b>61</b>

## LISTA DE TABELAS

- 1 Inventários de espécies conhecidas por grupos taxonômicos e avaliação do número potencial de espécies em cada um dos grupos. Modificado de Lévêque (1999). . . . . 9
- 2 Estimativa da superfície das florestas e outras terras cobertas por árvores e da taxa de transformação anual, entre 1980 e 1990, por região geográfica. Modificado de Lévêque (1999). . . . . 10
- 3 Valores médios de cada sistema de uso da terra obtidos por meio de **NI**, **NE** e **AR**, usando os dados de Louzada. . . . . 44
- 4 Valores de conservação ambiental de diversos especialistas, para diferentes sistemas de uso da terra. . . . . 49
- 5 Valores de conservação ambiental - resultado final das discussões. . . 51

## LISTA DE FIGURAS

1	Trapezoidal. . . . .	22
2	Triangular. . . . .	22
3	Gamma. . . . .	22
4	União. . . . .	25
5	Intersecção. . . . .	25
6	Complementar. . . . .	26
7	Variável lingüística. . . . .	28
8	Controlador fuzzy. . . . .	33
9	Método de inferência de Mamdani. Modificado de Peixoto (2005). . .	35
10	Método do centro de gravidade. . . . .	37
11	Método do centro dos máximos. . . . .	38
12	Armadilha pitfall usada na coleta dos besouros (Louzada, 2000). . .	41
13	Função de pertinência de <b>NI</b> . . . . .	45
14	Função de pertinência de <b>NE</b> . . . . .	45
15	Função de pertinência de <b>AR</b> . . . . .	45
16	Função de pertinência de <b>CA</b> . . . . .	46
17	Modelo. . . . .	48
18	Conservação. . . . .	52
19	Função de pertinência de <b>NI</b> - exemplo. . . . .	61
20	Função de pertinência de <b>NE</b> - exemplo. . . . .	62

21	Função de pertinência de <b>AR</b> - exemplo. . . . .	62
22	Função de pertinência de <b>CA</b> - exemplo. . . . .	63
23	Exemplo. . . . .	64

## RESUMO

NAVARES, Elisa Toshie Urushima. **Conjuntos fuzzy na avaliação do estado de conservação de sistemas de uso da terra na Amazonia Ocidental, usando besouros (Scarabaeidae) como bioindicadores.** Lavras: UFLA, 2007. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG\*.

Atualmente, a Terra está perdendo espécies muito mais rapidamente do que há algumas décadas e o ser humano é o principal causador desta extinção. A biodiversidade está na base de toda a sobrevivência humana, pois ela é indispensável para manter os processos de evolução do mundo vivo, atuando na regulação dos grandes equilíbrios físico-químicos da biosfera, além de fornecer produtos alimentares e matérias-primas. O conhecimento acerca das mudanças dos ecossistemas devido aos diferentes padrões de uso da terra é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de sustentabilidade dos agro-sistemas e permite o estabelecimento de normas baseadas em informações ecológicas que poderão aumentar grandemente a conservação da biodiversidade. Mas, o grande problema enfrentado pelos pesquisadores para a avaliação dos impactos causados pelo homem está na complexidade dos sistemas ambientais, agravada pela falta de conhecimento e pela escassez de pesquisas. Esta complexidade ecológica não pode ser tratada e analisada somente por ferramentas matemáticas que não trabalham com subjetividade, pois os modelos criados para outros sistemas mais simplificados não se ajustam ou fornecem poucos subsídios para análise dos sistemas humanos ou biológicos, quando o conhecimento subjetivo é relevante. Uma nova metodologia criada por Zadeh, a Teoria dos Conjuntos Fuzzy, permite lidar com sistemas complexos e a subjetividade inerente a eles, por meio de variáveis lingüísticas e algoritmos fuzzy que incorporam a visão humana, fruto de suas percepções. Por meio do aplicativo gerado pelo Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) foi feito um estudo comparativo entre sistemas naturais e sistemas que sofreram a influência humana, usando como indicador da conservação de florestas tropicais os besouros da família Scarabaeidae, devido a sua sensibilidade a mudanças ambientais e abundância. Esta é mais uma ferramenta que, juntamente com outras tecnologias, poderá auxiliar a entender como espécies florestais reagem à pressão antrópica e quais os ecossistemas menos corrompidos pelas tecnologias agrícolas usadas pelo homem.

---

\* **Comitê Orientador:** Sergio Martins de Souza (Orientador) - UFLA, Júlio Neil Cassa Louzada - UFLA, Onofre Rojas Santos - UFLA

## ABSTRACT

NAVARES, Elisa Toshie Urushima. **Fuzzy set in the evaluation of the conservation state of the land use systems in the Occidental Amazonia, using beetles (Scarabaeidae) as bioindicators.** Lavras: UFLA, 2007. 69 p. Dissertation (Master in Agronomy/ Statistics and Agricultural Experimentation) - Federal University of Lavras, Lavras, MG\* .

Currently the land is losing species much more quickly than it was some decades ago, and the human being is the main causer of this extinguishing. Biodiversity is in the basis of all survival human being, therefore it is indispensable to keep the evolution processes of the alive world acting in the regulation of the great physico-chemical equilibrium of the biosphere, beyond supplying to alimentary products and raw material. The knowledge concerning the changes of ecosystems due to the different standards of land use is basic for the development of sustainability strategies of the agro-systems and it allows the establishment of norms based on ecological information which will be able to greatly increase the conservation of biodiversity. But the great problem faced by researchers for the evaluation of impacts caused by man is in the complexity of the ambient systems aggravated by lack of knowledge and scarcity of research. This ecological complexity can not only be treated and be analyzed by mathematical tools that do not work with subjectivity, because the models created for other more simplified systems do not adjust or supply few subsidies to analyse the human or biological systems, when the subjective knowledge is relevant. A new methodology created by Zadeh, the Theory of the Fuzzy Sets, allows to deal with complex systems and the subjectivity inherent to them, through linguistic variables and fuzzy algorithms which incorporate the human vision, fruit of its perceptions. Through the application generated for the Fuzzy rules-based system (FRBS), a comparative study between natural systems and systems which suffered the human being influence was made, using as indicator of the tropical forests conservation the beetles of the Scarabaeidae family (dung beetle) due to its sensitivity to ambient changes and abundance. This is another tool that, together with other technologies, may assist to understand how forest species react to the anthropic pressure and which ecosystems are less corrupted by the used agricultural technologies by man.

---

\***Guidance Committee:** Sergio Martins de Souza - UFLA. (Adviser), Júlio Neil Cassa Louzada - UFLA, Onofre Rojas Santos - UFLA

# 1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre teve que tratar com dois tipos de conhecimento:

- o objetivo, que lida com números e fórmulas matemáticas. Este envolve precisão, certeza e rigor, propiciando avaliações com limites claros e muito bem definidos;
- o subjetivo, que não pode ser quantificado matematicamente e que é expresso por outros meios (imagens, fala, escrita, etc.). Envolve aspectos, como percepção, sentimentos e intuição, propiciando avaliações de certa forma fluidas, imprecisas, com limites envolvendo diversos graus de tolerância.

O conhecimento subjetivo sempre foi um problema para a Ciência, entretanto, já desde há algum tempo ela está aceitando a idéia de que há muitos aspectos do mundo exterior e interior ao ser humano que são complexos demais para serem tratados com precisão e rigor. Assim, para que a complexidade possa ser devidamente tratada, é necessário reunir esses dois conhecimentos.

Com o advento do computador houve uma expansão rápida de técnicas quantitativas, permitindo o sucesso da teoria de controle no projeto de sistemas de alta precisão. Isso inspirou uma profunda crença de que as mesmas técnicas (ou similares) poderiam ser aplicadas com eficácia comparável à dos sistemas humanísticos<sup>1</sup> e biológicos. Mas, as técnicas de análise de sistemas são intrinsicamente inadequadas para lidar com sistemas humanísticos ou qualquer um cuja complexidade seja comparável aos sistemas humanos.

Um desses sistemas altamente complexos refere-se à relação do ser humano com a natureza e, na atualidade, o desafio é como produzir alimentos e explorar os recursos naturais de maneira a agredir menos possível o ambiente natural.

---

<sup>1</sup>Sistemas humanísticos são aqueles cujo comportamento é fortemente influenciado por julgamento humano, percepções ou emoções (Zadeh, 1975).

Os seres humanos têm ameaçado diretamente a biodiversidade, diminuindo os estoques de recursos naturais, como solo, madeira e pescados, e também, indiretamente, usando recursos como carvão e petróleo, ocasionando aumento da temperatura e liberação de poluentes tóxicos (Dobson, 1995). A transformação das terras, que ocorre, em grande parte, devido ao crescimento demográfico, o qual obriga as sociedades a buscarem novas terras agricultáveis (Lévêque, 1999).

Governos, ONGs, meios de comunicação, etc. estão preocupados com este tema, mas é importante observá-lo sob um enfoque científico. O consenso geral é de que necessitamos, urgentemente, de muito mais informações ambientais e de como utilizá-las na conservação da biodiversidade, já que as causas principais do seu empobrecimento residem na maneira pela qual o homem utiliza o ambiente.

A ênfase urgente atual é para o desenvolvimento sustentável e não a expansão destrutiva, não planejada. Portanto, informações sobre como as mudanças ambientais antropogênicas afetam a biodiversidade são muito importantes para definir estratégias de manejo e gestão de recursos naturais (Samways, 1994).

Dentre os componentes da biodiversidade, os insetos ocupam um lugar de destaque, pois eles atuam nas funções essenciais de um ecossistema, reciclando nutrientes, recompondo áreas improdutivas, fazendo polinização, conservando solos e recursos aquíferos e, em ambientes agrícolas, protegendo safras e criações do ataque de pragas. Em particular, os impactos ambientais têm efeito muito prejudicial nos invertebrados do solo que, atualmente, são considerados de suma importância nos processos dinâmicos (Samways, 1994).

A interação entre centenas de espécies que permitem que um ecossistema funcione é complexo e não pode ser descrita por modelos matemáticos simples. Por isso, são necessárias novas ferramentas que auxiliem nesta questão.

Uma destas ferramentas é a Teoria dos Conjuntos Fuzzy que, por meio da utilização de variáveis lingüísticas e relações fuzzy, permite lidar com sistemas complexos, como o educacional, o social, o político e o ambiental entre outros, pois possui características diferentes das ferramentas tradicionais, que trabalham com o conhecimento objetivo, permitindo avaliar situações que lidam com parâmetros subjetivos. A lógica fuzzy (um dos componentes da teoria) permite que tanto o conhecimento objetivo quanto o subjetivo possam ser coordenados de forma lógica para resolver problemas reais.

Utilizando a Teoria dos Conjuntos Fuzzy, este trabalho teve como objetivo criar um modelo usando o chamado Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF) para a avaliação de diferentes sistemas de uso da terra na Amazônia, tais como: capoeira nova, capoeira velha, agrofloresta, roça e pastagem e compará-los com a floresta primária natural. Um segundo objetivo é comparar os resultados com aqueles obtidos por Louzada (2006).

Na seção 2 é apresentado o referencial teórico no qual são tratados os aspectos relativos à conservação, bioindicadores e teoria dos conjuntos fuzzy; na seção 3 é apresentada a metodologia; na seção 4 são apresentados os resultados e discussão e, finalmente, na seção 5, são apresentadas as conclusões e futuros trabalhos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O Problema da Complexidade

A necessidade de quantificar os fenômenos para serem entendidos é um dos dogmas da ciência moderna, havendo uma veneração pelo que é preciso, rigoroso e quantitativo, em oposição ao que é impreciso e qualitativo (Zadeh, 1975).

Por este ponto de vista, todo o conhecimento pode ser estruturado em equações matemáticas, conceitos e técnicas, que são utilizados na construção de vários modelos matemáticos para diferentes sistemas, obtendo-se, como resultado, um número para o seu comportamento.

Assim, o desenvolvimento de técnicas computacionais para auxiliar nos cálculos desses sistemas teve um grande avanço em todas as áreas do conhecimento humano.

É evidente que o computador é eficiente em lidar com problemas mecânicos como leis rígidas da física, química e engenharia, mas, nas questões humanas que exigem julgamento, percepção e emoção, as análises matemáticas e as simulações computacionais não conseguem compor modelos que se aproximam da complexidade do raciocínio humano, tais como sistemas políticos, educacionais e econômicos.

O fato de o computador não conseguir lidar com sistemas humanos está de acordo com o princípio da incompatibilidade, que diz que a alta complexidade existente nas ciências humanas (sociologia, história, filosofia, psicologia, etc.) é incompatível com a alta precisão das ciências exatas (matemática, física e química) (Zadeh, 1976).

Conforme a complexidade de um sistema aumenta, nossa habilidade de fazer afirmações precisas e significativas sobre seu comportamento diminui, até um limiar em que a precisão e relevância tornam-se praticamente características mutuamente exclusivas (Princípio da Incompatibilidade - Loft A. Zadeh) (Barros, 2006, p. 243).

Ou seja, a complexidade de um sistema e a precisão com o qual ele pode ser analisado estão, aproximadamente, numa relação inversa um com o outro. Por isso, as técnicas de análise convencionais e as manipulações de dados numéricos são incompatíveis com a grande complexidade dos processos do pensamento humano e a tomada de decisão. Se aceita-se a premissa anterior, tem-se que abandonar o rigor da precisão matemática, para que se possa lidar com o comportamento dos sistemas humanos (Zadeh, 1973).

A Teoria dos Conjuntos Fuzzy e, principalmente, a lógica fuzzy permite lidar com sistemas humanísticos que incorporam a fluidez do pensamento humano e seu comportamento, por meio de uma estrutura metodológica, que é tolerante com a imprecisão. A questão do meio ambiente está inserida neste contexto.

## **2.2 Conservação**

O ser humano, como todos os seres vivos, depende do mundo natural. No entanto, ele molda e usa esse mundo de acordo com seus desejos. Assim, para ele, tudo que existe na natureza são recursos naturais. Portanto, o seu bem-estar depende de outras criaturas vivas e das substâncias inorgânicas presentes na natureza. No entanto, este uso afeta todos os processos de vida, inclusive ele próprio (FBCN, 1976).

Uma maneira de encarar a relação do ser humano com a natureza é tratar cada um deles como um subsistema, de tal modo que ele a explore e provoca a sua regressão. Nesta situação, mudando as regras que regem os ecossistemas (pela sua ação) - quando não destruindo por completo - , acaba favorecendo as espécies oportunistas em detrimento das outras próprias do ecossistema primitivo, acarretando, com isso, uma diminuição da diversidade, ou seja, uma regressão que com frequência é catastrófica (Margalef, 1989).

De acordo com a Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza ( FBCN):

A constância ou a repetição rítmica das condições ambientais são indispensáveis à sobrevivência de qualquer comunidade biológica em seu próprio habitat. Qualquer alteração sensível no ambiente natural será benéfica para certas espécies e maléfica a outras ... (FBCN, 1976, p. 71)

De fato, é isso o que tem ocorrido, pois o ser humano tem atuado “... *no sentido de realçar estas variações no equilíbrio, a um grau de violência além do limite de resistência da comunidade biológica animal e vegetal*” (FBCN, 1976, p. 72).

Estas questões começaram a tornar-se mais evidentes há alguns anos e, como conseqüência, começou-se a tomar consciência de que é necessário conservar estes recursos, pois a matéria do planeta é limitada, a população humana tem aumentado de forma quase explosiva e existe um consumo excessivo de recursos, em função do tipo de sociedade humana existente (FBCN, 1976).

O que significa então conservar?

A palavra ‘conservação’ significou, originariamente, apenas preservar e evitar desperdícios. Infelizmente, este significado ficou associado à noção de guardar os recursos e evitar seu uso. Hoje em dia, a conservação tem sentido mais amplo. É o esforço para aumentar e manter o suprimento de recursos de que necessitamos agora e de que vamos precisar no futuro. (FBCN, 1976, p. 7-8)

## **Biodiversidade**

Biodiversidade (contração de diversidade biológica), esse termo relativamente recente, que é amplamente utilizado em todos os meios, sejam científicos ou extra-científicos provoca problemas, sendo que para alguns, é um não-conceito, uma sigla de marketing científico (Lewinsohn, 2001); para

outros, um cesto vazio no qual se coloca o que se quer; para outros ainda, um conceito referente à enormidade de aspectos da vida, incluindo os usos que o ser humano faz dela (Lévêque, 1999).

O termo, introduzido em meados da década de 1980 teve a sua definição estabelecida na época da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro em 1992.

... significa a variabilidade de organismos vivos de todas as origens, compreendendo, dentre outros, os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos de que fazem parte; compreendendo ainda a diversidade dentro de espécies, entre espécies e de ecossistemas. (BRASIL, 2000, p. 9)

Assim, a biodiversidade não é simplesmente a diversidade de espécies mas envolve também os seus aspectos genéticos e os complexos ecológicos de que fazem parte (Lévêque, 1999, Lewinsohn, 2001). Ou seja, “*diz respeito tanto a genes, espécies, ecossistemas, como a funções, e coloca problemas de gestão muito diferenciados ... envolve, pois, diferentes funções que, por sua vez, induzem a diferentes formas de uso*” (Becker, 2001, p. 93).

São assim, conforme Lévêque (1999), três níveis interligados

- A diversidade das espécies

A identificação e o inventário como formas de avaliar a diversidade biológica de uma região.

- A diversidade genética

A constituição genética (genes, cromossomos) diferenciando umas espécies de outras.

- A diversidade ecológica

Distinção de numerosos tipos de ecossistemas naturais (florestas tropicais, recifes de coral, manguezais, savanas, tundras, etc.), assim como ecossistemas agrícolas, cada qual com seu conjunto de plantas e animais.

Desse modo, é necessário reconhecer a complexidade da biodiversidade, entender que, além de um conceito abstrato e físico-biológico, é também humano, o que a torna mediadora de sistemas ecológicos e sociais, exigindo, portanto, modos de desenvolvimento que a respeitem (Becker, 2001). Ela “*tem que ser tratada mais seriamente como um recurso global, para ser registrada, usada e, acima de tudo, preservada*” (Wilson, 1997, p. 3). E isto pelos seguintes motivos: desgaste acelerado do meio ambiente, especialmente nos países tropicais, descoberta de novos usos para a diversidade biológica que podem aliviar tanto o sofrimento humano quanto a destruição ambiental e perda irreversível da diversidade via extinção, devido à destruição de habitats naturais (Wilson, 1997).

Ora, um desenvolvimento que respeite a biodiversidade exige que se avance no conhecimento dos processos biológicos, conhecimento até hoje reconhecidamente insuficiente (Becker, 2001), pois o inventário da biodiversidade é freqüentemente incompleto e as avaliações dos impactos são raras (Lévêque, 1999).

Além disso, é difícil medir os processos biológicos e, segundo a escala observada (genes, espécies, ecossistemas, país, mundo), os conceitos de biodiversidade são diferentes (Becker, 2001). Desse modo

Embora a maioria dos pesquisadores dê maior atenção à diversidade de espécies do que aos outros componentes de biodiversidade, essa pode ser entendida e mensurada de diferentes maneiras: riqueza de espécies, diferentes índices sintéticos de diversidade, parâmetros derivados de modelos matemáticos ou biológicos de distribuição de abundância compõem um repertório de medidas que têm sido propostas e empregadas. (Lewinsohn, 2001, p. 377)

A dificuldade desta medição pode ser avaliada considerando-se a questão do número de espécies, pois, apesar de muitos cientistas dedicarem a vida à sua identificação e catalogação, é um trabalho que está longe de terminar. Na metade do século XVIII, existiam 9 mil espécies indexadas; hoje, existem perto de 1,7 milhão e, no entanto, se estima que existam entre 7 e 20

milhões, e alguns falam até mesmo em 100 milhões de espécies. Alguns grupos são mais bem estudados, como os vertebrados, os moluscos, as orquídeas e as borboletas, enquanto outros, em contrapartida, não o são tanto. Este é, principalmente, o caso dos insetos, que têm numerosas espécies (Tabela 1).

TABELA 1 - Inventários de espécies conhecidas por grupos taxonômicos e avaliação do número potencial de espécies em cada um dos grupos. Modificado de Lévêque (1999)

Grupos taxonômicos	Número aproximado de espécies recenseadas	Número potencial de espécies
Virus	4 mil	500 mil?
Bactérias	4 mil	1,0 milhão?
Fungos	72 mil	1 a 2 milhões?
Protozoários	40 mil	200 mil
“Algas”	40 mil	400 mil?
Plantas	270 mil	320 mil
Animais invertebrados	1,4 milhão	
Aracnídeos	75 mil	750 mil
Crustáceos	40 mil	150 mil
Insetos	950 mil	8 milhões
Outros artrópodes	125 mil	
Moluscos	70 mil	200 mil
Pneumatóides	25 mil	400 mil
Outros	115 mil	250 mil
Vertebrados		
Peixes	19 mil	21 mil
Anfíbios	4200	4500
Répteis	6300	6500
Pássaros	9000 - 9200	9200
Mamíferos	4000 - 4200	4200

## Florestas

As florestas, como recurso, fornecem madeira, combustível e outros produtos, mas, além disso, nas encostas, cobrem o solo e evitam o rápido escoamento da água da chuva; nas vertentes, reduzem o dano de enchentes e erosão do solo; plantadas como quebra-vento, as árvores defletem o vento e diminuem seu impacto erosivo (FBCN, 1976) e, principalmente, formam um ambiente de grande biodiversidade.

No entanto, um dos principais fatores de desflorestamento é a expansão das atividades agrícolas, de modo que:

De 1700 a 1980, calcula-se que ao redor de 12 milhões de quilômetros quadrados (ou seja, 20 % das florestas) desapareceram em benefício de terras cultivadas, e esta erosão acelerou-se após 1980. Os solos das florestas tropicais úmidas não representavam mais do que 8 milhões de quilômetros quadrados, em 1990, ou seja, a metade da superfície que elas ocupavam na pré-história. No Brasil, não resta mais do que 2 % da Mata Atlântica que cobria antes uma boa parte do Estado de São Paulo e Madagascar não tem mais do que 17 % das suas florestas primitivas. (Lévêque, 1999, p. 150-151)

Dados sobre a redução das florestas em todo o mundo podem ser verificados na Tabela 2.

TABELA 2 - Estimativa da superfície das florestas e outras terras cobertas por árvores e da taxa de transformação anual, entre 1980 e 1990, por região geográfica. Modificado de Lévêque (1999)

Regiões	Estado em 1990	Mudanças anuais 1980-1990	
	10 <sup>3</sup> ha	10 <sup>3</sup> ha	% anual
Europa	194 943	0,8	0,13
Ex-URSS	941 530	51,3	0,01
América do Norte	749 289	-316,5	-0,11
África	1 136 676	-2828	-0,26
Ásia-Pacífico	660 270	-999	-0,6
América Latina	1 259 717	-6047	-0,5

Entre os diversos tipos de florestas, as tropicais têm merecido atenção redobrada nos últimos anos por duas razões (Wilson, 1997):

- apesar de cobrirem apenas 7% da superfície terrestre, contêm mais da metade da biota mundial;
- a destruição é tão acelerada que, provavelmente, desaparecerão no próximo século e, com elas, centenas de milhares de espécies.

Isto, tem um impacto maior se considerarmos que:

... as florestas tropicais estão entre os mais frágeis dos habitats. Elas crescem nos chamados desertos úmidos - um solo de base frágil castigado por muita chuva. O equivalente a dois terços da área da superfície da floresta consiste de terra tropical vermelha e amarela, que são tipicamente acídicas e pobres em nutrientes. (Wilson, 1997, p. 11)

E, é claro, que a destruição da floresta traz como conseqüência a extinção de espécies e, apesar de não termos meios de “*saber a taxa atual de extinção, nem tão pouco chegar perto de estimativas exatas*”, é possível avaliar que “*quando um habitat perde 90% de sua extensão, perderá eventualmente metade de suas espécies*” (Myers, 1997, p. 38).

### **Extinção e fragmentação**

Apesar da extinção ocorrer desde a emergência das espécies, hoje ela é muito superior à que acontecia no passado (cem vezes ou até mesmo milhares de vezes), onde as extinções eram naturais, enquanto hoje, são causadas, exclusivamente, pelo ser humano “*que elimina habitats inteiros e comunidades completas de espécies de maneira ultra-rápida*” (Myers, 1997, p. 36). Mas, existe um problema adicional, que é a fragmentação de habitats, pois isto causa, por um lado, a redução da riqueza específica devido à diminuição da superfície do habitat e, por outro lado, “*certas espécies têm necessidade de domínios vitais importantes que não são sempre compatíveis com a fragmentação dos habitats*” (Lévêque, 1999, p. 153).

A extinção é particularmente danosa porque existem organismos extremamente importantes para o futuro da humanidade, como plantas e insetos que estão sendo destruídos e o fato de se perder “... *populações geneticamente distintas dentro de espécies é, no momento, pelo menos tão importante quanto o problema da perda de toda a espécie*” pois se a espécie for “*reduzida a um resto, sua capacidade de beneficiar a humanidade diminui bastante, e sua extinção total, em um futuro próximo, torna-se muito mais provável*” (Ehrlich, 1997, p. 28).

Falando especificamente das florestas tropicais, Wilson (1997) afirma que elas estão sendo fragmentadas e reduzidas ao extremo, trazendo, como consequência, a extinção em massa das espécies. Isto ocorre porque, sendo as espécies tropicais mais localizadas do que as de zonas temperadas, uma redução significativa da floresta, além de causar uma redução em grau semelhante nas espécies que ali vivem, deixa-as mais vulneráveis à extinção e espécies inteiras podem ser eliminadas porque estavam restritas à parte da floresta que foi devastada.

Sendo assim, é necessário obter mais conhecimento para entender de que maneira as espécies florestais reagem à pressão e ao tipo de hábitat matriz, permitindo prever quais espécies serão vulneráveis à extinção em fragmentos isolados. Com o conhecimento sobre as mudanças que o uso da terra provoca nos ecossistemas será possível estabelecer normas para o manejo de paisagens fragmentadas ou intactas (Gascon, 2001).

## **2.3 Bioindicadores**

### **Indicadores**

A noção de desenvolvimento sustentável é motivo de muita controvérsia mas, apesar de tudo, ela é referencia para políticas públicas em todos os níveis. Entretanto, são relativamente poucos os instrumentos e mecanismos de auxílio à decisão para orientar atividades sustentáveis, devido à multi-

plicidade de fatores envolvidos. A crescente conscientização sobre a questão ambiental exige um sistema de informações que auxilie o planejamento e a formulação de políticas ambientais. Neste contexto, foram desenvolvidos vários indicadores (econômicos, sociais, etc.) e, recentemente, indicadores de sustentabilidade ambiental (Tolmasquim, 2001).

No sentido de verificar o grau de conservação dos ecossistemas e fornecer subsídios visando o seu monitoramento, os estudiosos fazem uso de indicadores biológicos.

Em termos gerais, um indicador

... é um meio encontrado para reduzir uma ampla quantidade de dados à sua forma mais simples, retendo o significado essencial do que esta sendo perguntado sobre o dado ... De maneira geral, os indicadores e índices são elaborados para cumprir as funções de: simplificação, quantificação, análise e comunicação, permitindo entender fenômenos complexos, tornando-os quantificáveis e compreensíveis em um dado contexto e comunicação com os diferentes níveis da sociedade (Tolmasquim, 2001).

Ou seja, o conceito de indicador diz respeito a condensar ou agregar informações de processos complexos, de tal maneira que possam ser representados por modelos de forma esquemática e simplificada, que forneçam informações concisas, claras e não ambíguas.

Insetos, em geral, são particularmente apropriados para monitorar mudanças da paisagem, por causa da sua abundância, riqueza de espécies, ocorrência em qualquer lugar e importância no funcionamento dos ecossistemas naturais, o que tem feito deles bons indicadores biológicos. Há muitas variáveis e possibilidades quando escolhemos indicadores para monitoramento ambiental. Por isso é importante definir claramente as questões de conservação a serem inquiridas e, então, escolher objetivamente o grupo de insetos mais apropriado. A escolha de uma espécie indicadora em particular junto com outros aspectos do inseto e avaliação da conservação da paisagem depende do preciso objetivo, da escala da avaliação e da disponibilidade dos recursos humanos e materiais. Para a determinação do impacto

num único local, uma espécie endêmica pode ser apropriada mas, para uma visão em larga escala, uma espécie abundante mas com biotopo restrito pode ser a melhor ferramenta. O objetivo determinará a seleção da espécie com uma tabela de características adequadas para atingir o objetivo. Tais características podem incluir o modo de vida, a abundância local ou espalhada, a distribuição, a disponibilidade e a sazonalidade, a sensibilidade aos distúrbios e a possível raridade genética (Samways, 1994).

### 2.3.1 Besouros

Os besouros são muito versáteis em relação à hábitat, sendo encontrados em ambientes diversos, incluindo desertos, sítios, florestas e pastos. Eles ocorrem em todos os continentes, exceto na Antártica. No Brasil, podem ser encontrados na Caatinga, no Cerrado, na Mata Atlântica, nos Campos Sulinos e na Amazônia. São bons indicadores da diversidade.

Besouros da família Scarabaeidae são utilizados como grupo indicador em estudo sobre diversidade de insetos ou artrópodes. O alimento deles é produzido por organismos de grande porte, como mamíferos e aves, que são fortemente afetados pela fragmentação florestal.

Por meio de sua alimentação pode-se, de acordo com Halffter (1966), determinar características de seu comportamento, distribuição, morfologia e desenvolvimento. Eles podem, então ser divididos em

1. Coprófagos: alimentam-se de fezes.

A coprofagia determina a sua abundância em vários biomas. Embora a floresta tropical seja, sem dúvida, muito rica em espécies, possuindo a maior variedade morfológica e ecológica de Scarabaeidae, é nas pastagens, savanas e outros ambientes de gramíneas associadas que o papel deste besouro é de maior importância e o número de indivíduos é maior.

2. Necrófagos: alimentam-se de carcaças e cadáveres.

Dentro de um mesmo gênero existem espécies com dietas coprofági-

cas e necrofágicas ou ambas, mostrando que a diferença entre as duas alimentações é, talvez, o resultado de fatores ecológicos locais ou regionais.

3. Saprófagos: alimentam-se de matéria em decomposição.  
Algumas espécies habitam em folhas caídas e outros detritos vegetais; outros mais freqüentes são habitantes de florestas tropicais e consomem frutas em decomposição e outros materiais vegetais moles e existem espécies coletadas embaixo de cascas de árvores ou madeira podre que se alimentam de fungos.
4. Predadores: atacam outros insetos e mamíferos vivos.
5. Micetófagos: alimentam-se de fungos em decomposição (Halffter et al., 1992).
6. Generalistas: são os copro-necrófagos e demais combinações possíveis (Halffter et al., 1992).

Quando larvas e adultos de besouros coprófagos se instalam, constroem seus ninhos e alimentam-se na porção de excrementos, são chamados endocoprídeos (ou residentes). Caso contrário, podem construir seus ninhos em túneis embaixo ou ao redor da massa de esterco, para onde o alimento é levado, sendo chamados paracoprídeos (ou escavadores), ou podem separar um pedaço do excremento, confeccionando uma bolota e rolando a uma determinada distância do ponto de origem a qual, depois, é enterrada ou coberta com grama, sendo nesse caso chamados roladores (rola-bosta) ou telecoprídeos. Pouco citados são os cleptoparasitas, que utilizam esterco que já foi enterrado por outros coprófagos.

Os rola-bosta rolam e enterram as bolas fecais para se alimentarem ou para fazerem nidificação nelas. Estes besouros desempenham um papel importante nos ecossistemas, trazendo muitos benefícios, como aumento do ciclo de nutrientes, estruturação dos solos, enterrando e consumindo fezes,

assim como protegem as criações (como o gado) por meio da dispersão dos excrementos de bovinos e outros animais, processando, assim, as matérias orgânicas em decomposição e reduzindo as populações de ovos e larvas de moscas (Halffter, 1966).

São indicadores para levantamento da biodiversidade pois são abundantes e sensíveis a mudanças ambientais e possuem variabilidade morfológica, taxonomica, comportamental e ecológica (Thomazini, 2002).

## 2.4 Teoria dos Conjuntos Fuzzy

### 2.4.1 Conjuntos Fuzzy

Foi o matemático Lotfi A. Zadeh que introduziu, oficialmente, a Teoria dos Conjuntos Fuzzy, por meio de um artigo publicado em 1965 (Zadeh, 1965). O termo *fuzzy*, de origem inglesa, significa: incerto, vago, impreciso, subjetivo, nebuloso, difuso, etc. (Barros, 2006).

Essa teoria tem como base a utilização de variáveis lingüísticas, cujos valores não são números e, sim, palavras ou sentenças na linguagem natural ou artificial, as quais desempenham papel importante no tratamento da imprecisão (Zadeh, 1975). Um bom exemplo da variável lingüística é a altura, conforme se pode ver abaixo.

Exemplo:

A variável lingüística *altura*, cujos valores lingüísticos são: baixa, média, alta, muito baixa.

Assim, a teoria dos conjuntos fuzzy utiliza

... certos termos lingüísticos subjetivos, como '*aproximadamente*', '*em torno de*' dentre outros. Esse seria um primeiro passo no sentido de se programar e armazenar conceitos vagos em computadores, tornando possível a produção de cálculos com informações imprecisas, a exemplo do que faz o ser humano (Barros, 2006, p. 12).

Um outro ponto interessante é o fato de a teoria dos conjuntos fuzzy ser uma forma de generalização da teoria dos conjuntos clássicos (algumas vezes, os conjuntos desta teoria são chamados conjuntos crisp).

### Conjuntos clássicos (crisp)

Faz parte do ser humano organizar, arrumar e sistematizar informações, em quaisquer situações de que participe. Nesse contexto surge a noção de conjuntos: time, escola, conjunto de figurinhas, carros, selos, etc., ou seja, esta noção de conjuntos leva à caracterização dicotômica de pertencer ou não a uma coleção ou categoria.

Existem três métodos básicos para definir um conjunto de um dado conjunto universo  $U$  (Klir, 1995).

- Para conjuntos finitos, podemos enumerar seus membros

$$A = \{a_1, a_2 \dots a_n\}$$

- Por uma propriedade satisfeita por seus membros

$$A = \{ x \mid P(x) \}$$

ou seja, os elementos  $x$  tal que,  $x$  possui a propriedade  $P$ .

- O conjunto  $A$  é caracterizado por uma função chamada *função característica* ( $\varphi_A$ ), que mostra quais os elementos de  $U$  são membros do conjunto  $A$ .

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases}$$

Isto é, a função característica mapeia elementos de  $U$  para o conjunto  $\{0, 1\}$ , como expresso abaixo:

$$\varphi_A(x) : U \rightarrow \{0, 1\} \quad (1)$$

para cada  $x \in U$ ,  $x$  é um membro de  $A$  quando  $\varphi_A(x) = 1$ . Se  $\varphi_A(x) = 0$ ,  $x$  é declarado não membro de  $A$ .

Exemplo:

O conjunto de frutas  $A$  pode ser representado por:

1.  $A = \{banana, pera, uva, \dots\}$
2.  $A = \{x \mid x \text{ é fruta}\}$
- 3.

$$\varphi_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \text{ for fruta} \\ 0 & \text{se } x \text{ não é fruta} \end{cases}$$

### Conjuntos fuzzy

Existem muitos conjuntos cujos elementos não possuem critérios bem definidos quanto a sua pertinência, como por exemplo o conjunto dos animais.

Claramente, cachorro, cavalo e pássaros pertencem a este conjunto e outros elementos, como pedra, água e flor, não pertencem. Entretanto, existem outros elementos, como bactérias e estrela do mar, que possuem um status ambíguo (Zadeh, 1965).

Outros conjuntos não possuem contornos bem definidos, como por exemplo, o conjunto dos números próximos a 5.

$$A = \{x \in R \text{ tal que } x \text{ é próximo de } 5\}$$

Os números 5,001 e 4,999 podem estar próximos quando exigimos exatidão, mas, se considerarmos grandes distâncias, podemos dizer que 50 e 80 são números próximos.

Para dar uma solução para os problemas do tipo acima, Zadeh criou os conjuntos fuzzy, que expressam uma gradual transição entre elementos pertencentes ou não a certos conjuntos, fornecendo uma ferramenta poderosa para a representação da medida de incerteza e conceitos vagos da linguagem natural.

### Função de pertinência

Na teoria tradicional dos conjuntos (crisp), os valores assumidos pela função característica podem ser 0 ou 1, ou seja: pertencem ou não pertencem ao conjunto, como pode ser visto na equação (1).

Um conjunto fuzzy  $A$  no universo  $U$  é caracterizado por uma função  $\chi_A(x)$ , a qual associa, a cada ponto em  $U$ , um número real no intervalo  $[0, 1]$ .

Pode-se dizer, de outra maneira, que  $\chi_A(x) \in [0, 1]$  e isto indica o grau com que o elemento  $x$  de  $U$  pertence ao conjunto fuzzy  $A$ , isto é, o *grau de pertinência* de  $x$  em  $A$ . Assim,  $\chi_A(x) = 0$  e  $\chi_A(x) = 1$  indicam, respectivamente, a não pertinência e a pertinência completa de  $x$  ao conjunto fuzzy  $A$ .

As duas maneiras mais utilizadas na literatura para representar a função de pertinência de um conjunto  $A$  são:

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

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

Dito de outra forma, pode-se caracterizar o conjunto  $A$  como um conjunto de pares ordenados (Ortega, 2001):

$$A = \{ (x, \chi_A(x)) \mid x \in X \}.$$

Retornando ao conjunto dos números próximos a 5, pode-se definir a função  $\chi_A : R \rightarrow [0, 1]$ , que associa cada  $x$  real ao valor de proximidade ao

ponto 5, pela expressão:

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 - |x - 5| & \text{se } 4 \leq x \leq 6 \\ 0 & \text{se } x \notin [4, 6]. \end{cases}$$

Tem-se então, que:

$$\chi_A(5,001) = 0,999$$

$$\chi_A(8) = 0$$

e diz-se que  $x = 5,001$  é um ponto próximo de 5 com grau de proximidade 0,999 e  $x = 8$  não é próximo de 5. Deve-se observar que, dependendo do contexto, podem ser construídas funções de pertinência as mais variadas.

### Representação dos conjuntos fuzzy

Existem várias maneiras de representar os conjuntos fuzzy. Vejamos algumas (Jafelice, 2005).

- Conjuntos finitos fuzzy podem ser representados por: tabelas, enumerando seus elementos juntamente com seus graus de pertinência ou por meio de gráficos.

Exemplo:

Conjunto dos alunos *estudiosos* de uma sala de aula formado por: Ana, Paulo, João e Cíntia. Nem todos os alunos são igualmente *estudiosos*, então, o professor deu os seguintes graus para o conceito de *estudiosos* variando de  $[0, 1]$  (onde 0 nada estudioso e 1 muito estudioso). Ana - 0,3; Paulo - 0,5; João - 0,8; Cíntia - 0,9.

Podemos representar isto através de uma tabela

Estudante	Grau de estudo
Ana	0,3
Paulo	0,5
João	0,8
Cíntia	0,9

ou enumerando seus elementos

$$A = 0,3/\text{Ana} + 0,5/\text{Paulo} + 0,8/\text{João} + 0,9/\text{Cíntia}$$

Aqui, os símbolos ‘/’ e ‘+’ são usados apenas para associar e conectar os elementos do grupo.

A forma geral para representar o conjunto fuzzy  $A$ , quando  $U$  é discreto, é:

$$A = \sum_{i=1}^N \chi_A(x_i)/x_i \quad (2)$$

em que  $N$  é o número de elementos do conjunto  $U$ .

- Quando os conjuntos fuzzy são contínuos, sua representação é a sua própria função de pertinência. Assim, o conjunto fuzzy  $A$  no conjunto universo  $X$  pode ser representado por:

$$A = \int_X \chi_A(x_i)|(x_i) \quad (3)$$

As funções de pertinência mais comumente usadas são:

- linear por partes (trapezoidal ou triangular)
- gamma
- quadrática
- gaussiana
- outras funções especiais

Alguns exemplos são mostrados a seguir.

$$A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 1 \\ x - 1 & 1 < x < 2 \\ 1 & 2 \leq x \leq 3 \\ -\frac{x}{2} + \frac{5}{2} & 3 < x < 5 \\ 0 & x \geq 5 \end{cases}$$

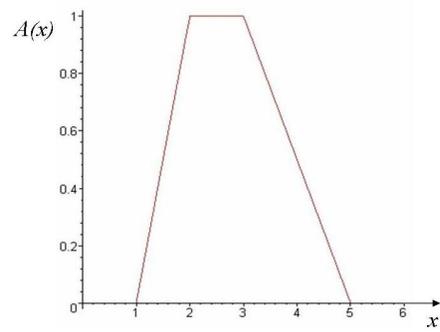


FIGURA 1 - Trapezoidal

$$B(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 1 \\ \frac{x}{2} - \frac{1}{2} & 1 < x < 3 \\ -\frac{x}{2} + \frac{5}{2} & 3 < x < 5 \\ 0 & x \geq 5 \end{cases}$$

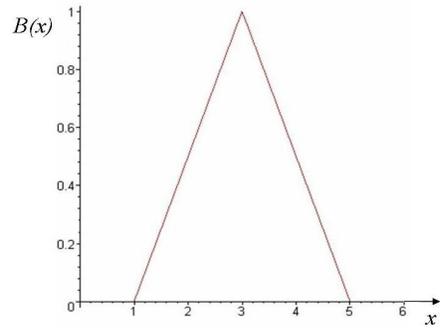


FIGURA 2 - Triangular

$$C(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 2 \\ \frac{2(x-2)^2}{25} & 2 < x < \frac{9}{2} \\ 1 - \frac{2(x-7)^2}{25} & \frac{9}{2} < x < 7 \\ 1 & x \geq 7 \end{cases}$$

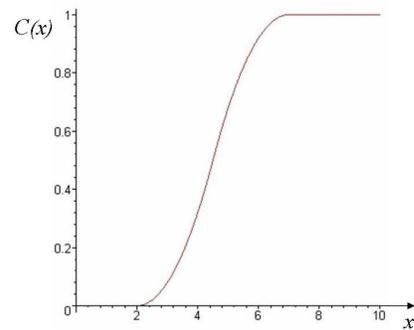


FIGURA 3 - Gamma

As funções de pertinência geradas por duas pessoas que estão analisando o mesmo problema podem ser diferentes, pois dependem das suas

experiências, perspectivas, cultura, etc.

Exemplo:

**Altura** dos homens pode ser baixa, média, alta, que são completamente diferentes da classificação de altura dada para jogadores de basquete.

### 2.4.2 Operações com Subconjuntos Fuzzy

Nesta seção serão definidas operações com conjuntos fuzzy, verificando-se que elas são generalizações das operações em conjuntos clássicos.

#### Operações em conjuntos crisp

Sejam  $A$  e  $B$  dois subconjuntos crisp.

A união de  $A$  e  $B$ , denominada  $A \cup B$ , contém todos os elementos de  $A$  e todos os elementos de  $B$ .

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

A intersecção entre  $A$  e  $B$ , denotada por  $A \cap B$ , são os elementos que estão simultaneamente em  $A$  e  $B$ .

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

O complementar do conjunto  $A$  é:

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

#### Operações em conjuntos fuzzy

Da mesma maneira que nos conjuntos crisp, pode-se definir as operações união, intersecção e complementar para os conjuntos fuzzy.

No seu primeiro artigo, Zadeh (1965) definiu dois operadores para modelar união e intersecção:

- união  $\rightarrow$  operadores: máximo (*max*) e soma algébrica ( $\Sigma$ );
- intersecção  $\rightarrow$  operadores: mínimo (*min*) e produto algébrico ( $\Pi$ ).

Mais tarde, outros operadores foram introduzidos baseados em axiomas; estes operadores receberam o nome de *t-conorma*, para a *união* fuzzy (cujo símbolo é  $\oplus$ ) e *t-norma*, para a *intersecção* (cujo símbolo é denotado por  $\otimes$ ).

Foram escolhidos os operadores *max* e *min* para modelar as operações união e intersecção, pois, atualmente, são os mais utilizados pela sua simplicidade matemática.

Na lógica fuzzy, união, intersecção e complementar são definidos a partir de suas funções de pertinência na forma a seguir.

Sejam  $A$  e  $B$  dois subconjuntos fuzzy de  $U$ , com funções de pertinência indicadas por  $\chi_A$  e  $\chi_B$ , respectivamente e diz-se que  $A$  é subconjunto fuzzy de  $B$  e escreve-se  $A \subset B$ , se  $\chi_A(x) \leq \chi_B(x)$ , para todo  $x \in U$ .

A união de conjuntos fuzzy  $A$  e  $B$  é o subconjunto fuzzy, cuja função de pertinência é dada por

$$\chi_{A \cup B}(x) = \chi_A(x) \vee \chi_B(x)$$

em que:

$$\chi_{A \cup B}(x) = \max_{x \in U}[\chi_A(x), \chi_B(x)]$$

Graficamente, pode-se ver a união (a curva em destaque mais escura).

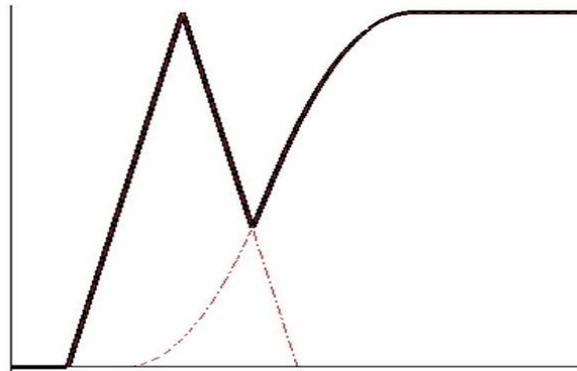


FIGURA 4 - União

A intersecção de conjuntos fuzzy de  $U$  é o subconjunto fuzzy, cuja função de pertinência é dada por:

$$\chi_{A \cap B}(x) = \chi_A(x) \wedge \chi_B(x)$$

em que

$$\chi_{A \cap B}(x) = \min_{x \in U} [\chi_A(x), \chi_B(x)]$$

Graficamente, pode-se ver a intersecção (a curva em destaque mais escura).

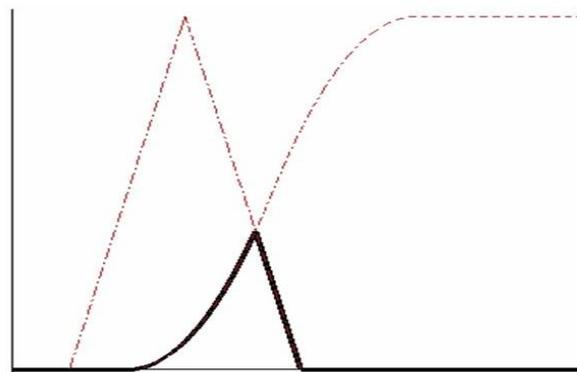


FIGURA 5 - Intersecção

O complementar de  $A$  é o subconjunto fuzzy  $\bar{A}$  de  $U$ , cuja função de pertinência é dada por:

$$\chi_{\bar{A}}(x) = 1 - \chi_A(x) \quad x \in U$$

Graficamente, pode-se ver o complementar (a curva em destaque mais escura).

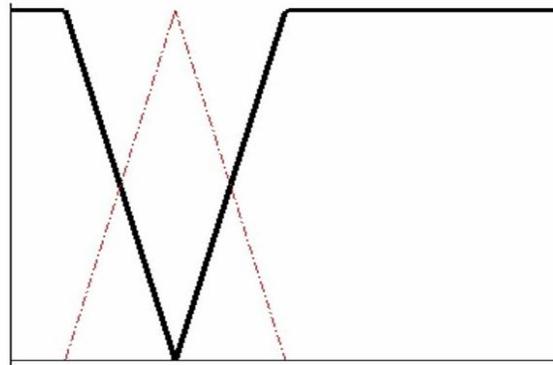


FIGURA 6 - Complementar

A seguir, tem-se um exemplo em forma de tabela, que resume tudo isso.

União			Intersecção			Complementar	
$\chi_A$	$\chi_B$	$\chi_{A \cup B}$	$\chi_A$	$\chi_B$	$\chi_{A \cap B}$	$\chi_A$	$\chi_{\bar{A}}$
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	0		
1	1	1	1	1	1		
0,1	0,6	0,6	0,1	0,6	0,1	0,1	0,9
0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,7	0	0,7	0,7	0	0	0,7	0,3
...	...	...	...	...	...	...	...

Note que união, intersecção e complementar crisp (destacados em

itálico) são casos especiais de união, intersecção e complementar fuzzy.

### 2.4.3 Variáveis Lingüísticas

Zadeh (1975) afirma que, afastando-se da precisão em face da excessiva complexidade, é natural explorar o uso do que se pode chamar de variáveis lingüísticas, isto é, variáveis cujos valores não são números mas palavras ou sentenças na linguagem natural ou artificial. A motivação para o uso de palavras ou sentenças em vez de números é que caracterizações lingüísticas, em geral, são menos específicas do que as numéricas.

O conceito de variável lingüística é fundamental dentro da teoria dos conjuntos fuzzy. Por exemplo, quando se está lidando com condições ambientais, utilizam-se termos como quente ou frio, local arborizado ou ambiente preservado. Quando refere-se a quente, poderia ser 30°C, mas, em geral, dá-se um intervalo para esta temperatura, ou seja, de 28° a 32°C.

De acordo com Zadeh (1975), uma variável lingüística é caracterizada pela quintupla:

$(H, T(H), U, G, M)$  em que:

$H$ : nome da variável lingüística;

$T(H)$ : termo lingüístico;

$U$ : universo de discurso;

$G$ : regra gramatical, em que foram gerados os termos em  $T(H)$ ;

$M$ : regra semântica que associa a cada valor lingüístico  $x$  seu significado, que é um conjunto fuzzy em  $U$

(ou seja:  $M : T \rightarrow \mathfrak{S}(U)$ , em que  $\mathfrak{S}(U)$  é o espaço dos conjuntos fuzzy).

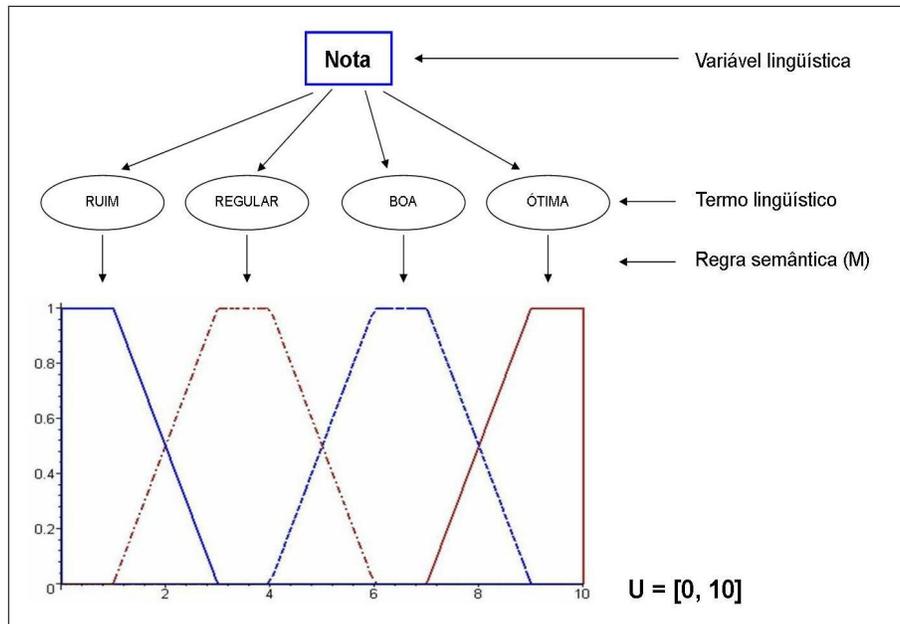


FIGURA 7 - Variável lingüística

O conceito de variável lingüística fornece uma maneira de dar uma caracterização de fenômenos muito complexos ou mal definidos que possam ser descritos de forma quantitativa (Zadeh, 1975).

Os termos lingüísticos são usados para expressar conceitos e conhecimentos na comunicação humana e, em muitas áreas eles são a forma mais importante (quando não a única) de quantificar os dados/informações. É comum o uso de termos lingüísticos no nosso cotidiano, por exemplo *tempo chuvoso*, *moça alta*, *carro grande*, etc. Todos esses termos possuem um significado e transmitem informação.

#### 2.4.4 Relações Fuzzy

Uma relação clássica representa a presença ou a ausência de associação, interação ou interconectividade entre elementos de dois ou mais conjuntos (Mendel, 1995).

A relação fuzzy é uma extensão da relação clássica utilizando conjuntos fuzzy em lugar dos conjuntos crisp e indica se existe associação e interação entre estes dois objetos e o grau desta relação.

Sejam  $X$  e  $Y$  dois conjuntos fuzzy: uma relação binária fuzzy  $R(X, Y)$  é um subconjunto fuzzy de  $X \times Y$  e é caracterizado pela função de pertinência  $\chi_R(x, y)$ , em que  $x \in X$  e  $y \in Y$ , isto é

$$R(X, Y) = \{ ((x, y), \chi_R(x, y)) \mid (x, y) \in X \times Y \}$$

A diferença entre a relação clássica e a fuzzy é que, na clássica,  $\chi_R(x, y) = 0$  ou  $1$  e, na fuzzy,  $\chi_R(x, y) \in [0, 1]$ . Pode-se generalizar a relação fuzzy para um espaço cartesiano  $n$  dimensional por meio da seguinte definição:

*Uma relação fuzzy  $R$  sobre  $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$  é qualquer subconjunto fuzzy do produto cartesiano  $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$  e é definida por uma função de pertinência  $\chi_R : X_1, X_2, \dots, X_n \rightarrow [0, 1]$*

O produto cartesiano fuzzy dos subconjuntos fuzzy  $A_1, A_2, \dots, A_n$  de  $X_1, X_2, \dots, X_n$ , respectivamente é a relação fuzzy  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ , cuja função de pertinência é dada por:

$$\chi_{A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \chi_{A_1}(x_1) \wedge \chi_{A_2}(x_2) \wedge \dots \wedge \chi_{A_n}(x_n)$$

em que  $\wedge$  representa uma t-norma, cujo operador mais utilizado é o mínimo.

Sejam  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  e a relação fuzzy  $R$  sobre  $X \times Y$ . As formas mais comuns de representar uma relação fuzzy binária em  $X$  e  $Y$ , quando  $X$  e  $Y$  são finitas, são a tabular ou a matricial (Barros, 2006).

$$\begin{array}{c|cccc}
R & y_1 & y_2 & \dots & y_n \\
\hline
x_1 & r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\
x_2 & r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
x_m & r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn}
\end{array}
\quad \text{ou} \quad
R = \begin{bmatrix}
r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\
r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\
\vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn}
\end{bmatrix}$$

Exemplo de relações crisp e fuzzy:

		João	Maria	Ana
Irmão =	Paulo	0	1	1
	Cecilia	1	0	0
	Rafael	0	1	1

		Vera	Lia	Sergio
Amigo =	Gil	1	0,5	0,2
	Marcos	0,6	0,1	0,3
	Teresa	0,1	0,7	0,5

### Composição de relações fuzzy

Como as relações fuzzy são conjuntos fuzzy num espaço  $n$  dimensional, operações algébricas, como união, intersecção e complemento fuzzy, podem ser utilizadas para compor uma nova relação.

Sejam  $R(x, y)$  e  $S(y, z)$  duas relações fuzzy definidas, respectivamente, em  $(X$  e  $Y)$  e  $(Y$  e  $Z)$ . A composição  $R \circ S$  é uma relação fuzzy binária em  $X \times Z$ , cuja função de pertinência é dada por:

$$\chi_{R \circ S}(y, z) = \max_{y \in Y} [\chi_R(x, y), \chi_S(y, z)]$$

Quando os conjuntos  $X, Y, Z$  são finitos, pode-se obter a forma matricial de  $R \circ S$  multiplicando-se a matriz  $R$  com a matriz  $S$ , substituindo-se o produto pelo mínimo e a soma pelo máximo<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup>Em Mendel (1995), pode ser encontrado um exemplo explicativo.

### 2.4.5 Lógica Fuzzy

A lógica fuzzy surgiu como uma generalização da lógica multivariada, a qual permite inferir <sup>3</sup> a respeito de objetos com contornos não definidos. Os valores verdade da lógica fuzzy são representados como conjuntos fuzzy no intervalo  $[0, 1]$  (Pedrycz, 1998).

Dois conceitos dentro da lógica fuzzy desempenham um papel central nas aplicações: o primeiro é o da variável lingüística e o outro são as regras **SE-ENTÃO** fuzzy, que são proposições contendo variáveis lingüísticas.

Na lógica binária tradicional a inferência é baseada no *modus ponens* (dedução). Quando estabelecemos que *Se  $x$  é  $A$ , então  $y$  é  $B$* , nós concluímos que *Se  $A$  é verdadeiro, então  $B$  é verdadeiro*, ou seja (Tanaka, 1996):

Proposição:  $A \rightarrow B$  (A implica B)

Fato: A

---

Conclusão: B

Pode-se re-escrever as implicações acima por meio da forma **SE-ENTÃO**.

Proposição: **SE**  $x$  é  $A$  **ENTÃO**  $y$  é  $B$

Fato:  $x$  é  $A$

---

Conclusão:  $y$  é  $B$

Como uma extensão da lógica crisp, a lógica fuzzy é construída substituindo-se os conjuntos de entrada e saída crisp por conjuntos fuzzy.

Na lógica crisp (*modus ponens*), a regra é acionada se e somente se na proposição o antecedente é exatamente igual ao fato e o resultado igual

---

<sup>3</sup>Inferência é a habilidade de deduzir algumas informações sobre algum aspecto não conhecido do problema, baseado em informações confiáveis sobre o domínio do conhecimento.

ao conseqüente.

A inferência fuzzy está baseada no *modus ponens generalizado*. O modus ponens generalizado pode também ser chamado *modus ponens fuzzy*. Quando se escreve o *modus ponens generalizado* na forma **SE-ENTÃO** nós obtemos (Tanaka, 1996):

Proposição: **SE**  $x$  é  $A$  **ENTÃO**  $y$  é  $B$

Fato:  $x$  é  $A^*$

---

Conclusão:  $y$  é  $B^*$

em que  $A$ ,  $A^*$ ,  $B$  e  $B^*$  são conjuntos fuzzy.

Exemplo:

Proposição: **SE** a temperatura da sala é BAIXA **ENTÃO** aumente o calor

Fato: a temperatura da sala é BAIXA

---

Conclusão: aumente o calor

## 2.5 Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (SBRF)

Numa tentativa de reproduzir a estratégia de um controlador humano será utilizado um Sistema Baseado em Regras Fuzzy (SBRF), ou Sistema Lógico Fuzzy (SLF), que utiliza a lógica fuzzy para produzir saídas para cada entrada fuzzy. Quando cada saída representa a ação correspondente à *condição* ou entrada, os SBRF são denominados controladores fuzzy (Barros, 2006).

Dessa forma, podem-se traduzir termos lingüísticos utilizados por especialistas no controle de suas tarefas em fórmulas matemáticas, possibilitando a automação das mesmas. O intuito principal é otimizar algum critério de um sistema dinâmico por meio de estratégias semelhantes as utilizadas pelos humanos (Jafelice, 2005). Ele é composto por 4 componentes,

de acordo com a Figura 8, obtida de Barros (2006).

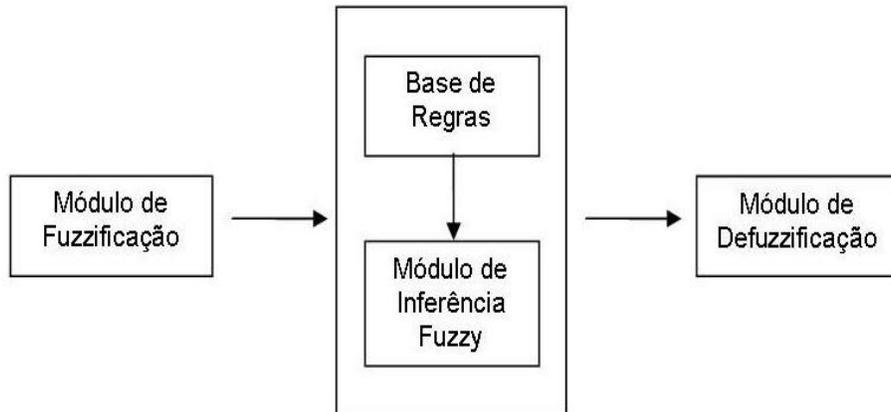


FIGURA 8 - Controlador fuzzy

### 2.5.1 Módulo de Fuzzificação ou Processador de Entrada

É o componente que traduz as entradas do sistema em conjuntos fuzzy em seus respectivos domínios.

Neste componente, as entradas do sistema são traduzidas por conjuntos fuzzy por meio dos especialistas ou de uma base de dados. As variáveis e suas classificações lingüísticas são catalogadas e modeladas em conjuntos fuzzy (Barros, 2006).

### 2.5.2 Base de Regras

Segundo Weber (2003), a base de regras em sistemas de controle fuzzy representa o conhecimento do sistema e ele representa a estratégia a ser tomada pelo controlador.

A base de regras fuzzy consiste em uma coleção de regras **SE-ENTÃO** que podem ser expressas por:

$$R : \mathbf{SE} \ u_1 \text{ é } F_1 \text{ e } u_2 \text{ é } F_2 \text{ é } \dots \ u_p \text{ é } F_p \ \mathbf{ENTÃO} \ v \text{ é } G$$

em que  $F_1, F_2 \dots F_p$  e  $G$  são conjuntos fuzzy.

Na regra **SE-ENTÃO** o termo que segue a declaração **SE** é chamado de antecedente e o termo que segue a palavra **ENTÃO** é chamado de conseqüente.

**SE antecedente ENTÃO conseqüente**

Cada antecedente significa um estado e cada conseqüente uma resposta; estes estados e respostas são valores assumidos por **variáveis lingüísticas** e essas, por sua vez, são modeladas por conjuntos fuzzy (Barros, 2006).

Exemplo:

**SE** a temperatura da sala está *pouco ALTA* e a umidade *muito ALTA* **ENTÃO** aumente o ar condicionado para *ALTO*

As regras fuzzy podem descrever situações específicas que podem ser submetidas à análise de um conjunto de especialistas cuja inferência conduz a algum resultado desejado; elas podem ser escritas baseadas em ações dos operadores ou pelas respostas características do sistema alvo.

Este módulo, juntamente com o módulo de inferência, pode ser considerado o núcleo dos sistemas baseados em regras fuzzy (Tanaka, 1996).

### 2.5.3 Módulo de Inferência Fuzzy

Uma vez construído o conjunto de regras fuzzy, necessita-se de uma **máquina de inferência** para extrair dela a resposta final.

É neste componente que cada proposição é traduzida matematicamente, por meio de técnicas de raciocínio aproximado. Os operadores serão escolhidos para definir a relação fuzzy que modela a base de regras, fornecendo saídas a partir de conjuntos fuzzy de entrada e da relação definida pela base de regras (Jafelice, 2005).

Podem-se classificar os métodos de inferência fuzzy de duas maneiras: os métodos diretos, que são os mais usados e os métodos indiretos, que conduzem à inferência pelo espaço de valor verdadeiro (possuem um mecanismo mais complexo). O mais utilizado é o método direto, que foi proposto por Mamdani.

O método direto de Mamdani possui uma estrutura simples de operação **max-min** e, por isso, é muito popular na maioria das aplicações.

A sua estrutura é do tipo:

$$\text{SE } x \text{ é } A \text{ E } y \text{ é } B \text{ ENTÃO } z \text{ é } C$$

em que  $A$ ,  $B$  e  $C$  são conjuntos fuzzy (as variáveis  $x$  e  $y$  utilizadas na parte antecedente são chamadas variáveis antecedentes e  $z$  é chamado de variável conseqüente) (Tanaka, 1996).

Um exemplo da aplicação do método de inferência de Mamdani encontra-se na Figura 9.

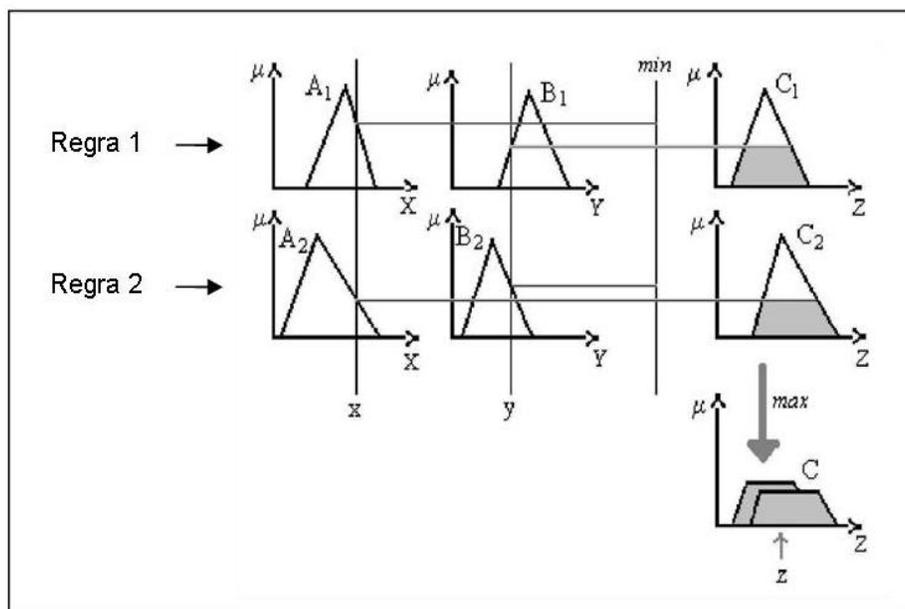


FIGURA 9 - Método de inferência de Mamdani. Modificado de Peixoto (2005)

em que:

$\mu$ : função de pertinência

*min*: operação **min**

*max*: operação **max**

Regra 1: **SE** (x é  $A_1$  e y é  $B_1$ ) **ENTÃO** (z é  $C_1$ )

Regra 2: **SE** (x é  $A_2$  e y é  $B_2$ ) **ENTÃO** (z é  $C_2$ )

Outro método direto de inferência é o de Kang-Takagi-Sugeno (KTS)

<sup>4</sup>. A diferença entre o método de Mamdani e o KTS está no conseqüente, que é uma função das variáveis de entrada. Os dois métodos resultam iguais se o conseqüente é uma constante e o método de defuzzificação utilizado no método Mamdani for pelo centro de gravidade (Jafelice, 2005).

#### 2.5.4 Módulo de Defuzzificação

Nos processos de controle, é desejável um valor definido. Como a saída do processo de inferência é dada por um conjunto fuzzy, transforma-se este conjunto fuzzy por meio de uma operação chamada defuzzificação, em um valor numérico (Tanaka, 1996). Ou seja, por meio da defuzzificação pode-se interpretar a distribuição de possibilidades de saída de um modelo lingüístico fuzzy de forma quantitativa.

As formas mais utilizadas de defuzzificação são:

- centro de área ou centro de gravidade (Ortega, 2001)

É a técnica mais usada de defuzzificação. O procedimento é similar ao utilizado para o cálculo do centro de gravidade em física, se considera-se a função de pertinência  $\chi_A(x)$  como a densidade de massa  $x$ .

Para um domínio discreto, tem-se

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \chi_A(x_i)x_i}{\sum_{i=1}^N \chi_A(x_i)}$$

---

<sup>4</sup>Vide detalhes em Jafelice (2005).

O centro de gravidade fornece a média da área de todas as figuras que representam os graus de pertinência de um subconjunto fuzzy.

Se  $x$  é contínuo, então:

$$y_0 = \frac{\int \chi_A(x) \cdot x dx}{\int \chi_A(x) \cdot dx}$$

A principal desvantagem deste método é o seu custo computacional, principalmente no caso em que  $x$  é contínuo.

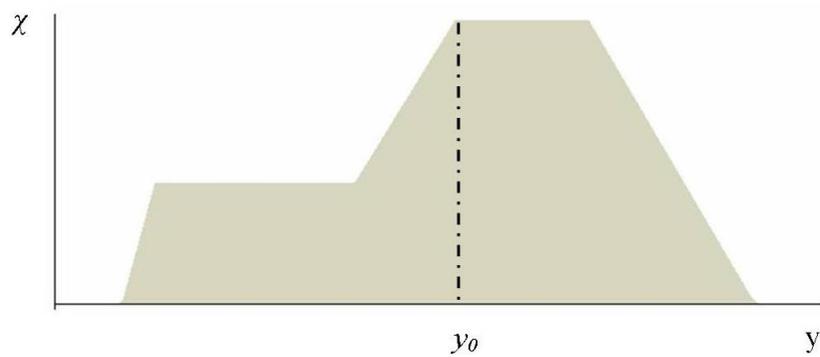


FIGURA 10 - Método do centro de gravidade

- centro dos máximos (Barros, 2006)

Nesta técnica, utilizam-se somente as regiões de maior possibilidade entre os possíveis valores da variável que modela os conceitos fuzzy em questão.

$$y_0 = \frac{y_i + y_e}{2}$$

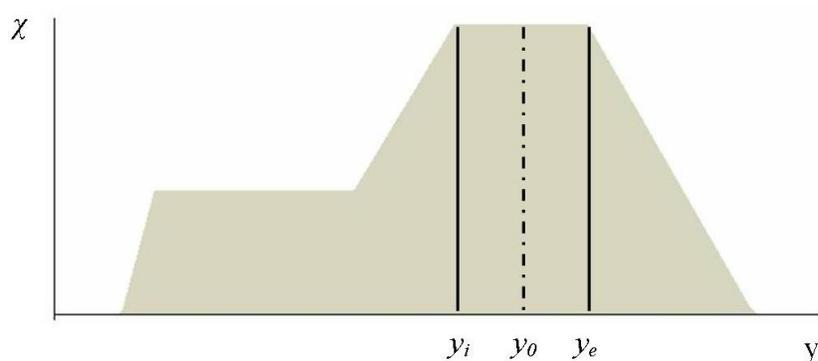


FIGURA 11 - Método do centro dos máximos

## 2.6 Aplicações da Lógica Fuzzy

Zadeh enfrentou forte resistência por parte da comunidade científica no seu início e, principalmente, por parte dos estatísticos americanos, mas esta teoria desenvolveu-se rapidamente em outros países, principalmente no Japão, onde os pesquisadores vislumbraram o seu grande potencial (Ortega, 2001).

Inicialmente (1965-1975), foram introduzidos conceitos novos e desenvolvidas novas abordagens, como as relações fuzzy, variáveis lingüísticas, medida fuzzy e álgebra com números fuzzy. Em 1972, formou-se, no Japão, o primeiro grupo de pesquisa de estudo fuzzy e, em 1974, ocorreu um fato marcante na teoria fuzzy. O professor Mamdani da Universidade de Londres e seu aluno conseguiram construir o primeiro controlador fuzzy para máquina a vapor que deu início ao uso da teoria da lógica fuzzy para controlar diversos sistemas em engenharia. Este sucesso serviu de alavanca para muitas outras aplicações, como a primeira aplicação industrial da lógica fuzzy, desenvolvida pelo Circle Cement e SIRA na Dinamarca, estudos sobre condições de tráfego e, em 1977, o primeiro sistema especialista (Ortega, 2001).

Em 1985, foi desenvolvido o primeiro chip fuzzy, por Masaki Togai

e Hiroyuki Watanabe, no laboratório Bell (EUA) e, no Japão, ocorreu uma sucessão de eventos que firmaram a potencialidade da lógica fuzzy (Ortega, 2001). São eles:

- em 1987, foi inaugurado com sucesso o primeiro trem controlado com a lógica fuzzy e, neste mesmo ano, a Yamaha desenvolveu seu helicóptero não tripulado;
- em 1988, começou a operar, no Yamaichi Fuzzy Foundation, o primeiro sistema de comércio financeiro fuzzy;
- em 1990, tornou-se popular, com o lançamento da primeira máquina de lavar roupa fuzzy da Matsushita Electric Industrial Corporation, marcando o início do desenvolvimento de produtos de consumo.

A lógica fuzzy está sendo aplicada em quase todos os setores, tais como: controles fuzzy de plantas industriais, refinarias, processos biológicos e químicos, máquinas diesel, tratamento de água, programas comerciais de computadores bem sucedidos nos mercados financeiros, modelos agrícolas, modelos de ensino, etc.

Algumas aplicações significativas atuais são descritas a seguir:

#### 1. Aplicações de controle

- na pesquisa agropecuária para o aperfeiçoamento da produtividade animal e vegetal;
- controle de aviões (Rockwell Corp.);
- operação de submarinos (Sendai-Hitachi);
- controle de cruzeiros (Nissan);
- transmissão automática (Nissan, Subaru);
- modelos de carros auto-estacionantes (Tokyo Tech.);
- base de lançamento de foguetes (Nasa).

## 2. Programação e Otimização

- programação de elevadores (Hitachi, Fujitech, Mitsubishi);
- análise de estoque de negócios (Yamaichi Securities).

## 3. Análise de sinais para ajuste e interpretação

- ajuste de imagem de TV (Sony);
- reconhecimento de caligrafia (Sony Palm Top);
- focalização automática de câmera de vídeo (Sanyo/Fisher, Canon);
- estabilizador de imagem de vídeo (Matshushita/Panasonic).

Um dos mais recentes campos da lógica fuzzy é o Soft Computing cujos principais constituintes são: lógica fuzzy, redes neurais e inferência probabilística. Ela é composta por uma coleção de metodologias que têm como objetivo explorar a imprecisão e a incerteza (Zadeh, 1994).

Por meio desse breve histórico, pode-se perceber a rapidez com que se deu seu desenvolvimento e a abrangência de suas aplicações.

Em verdade, podemos notar um interesse por esta teoria cada vez mais crescente por profissionais e pesquisadores das mais diversas áreas dada a sua capacidade de explorar variáveis lingüísticas, da possibilidade de desenvolver raciocínios mais próximos do humano, da sua diversidade de operações e da sua potencialidade em aplicações (Ortega, 2001).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

Como indicador da conservação ambiental foram escolhidos os besouros da família Scarabaeidae, pois eles são significativos no estudo do biomonitoramento e, dentre as características que os favorecem, tem-se sua eficiência na eliminação de fezes, carcaças animais e frutas em decomposição, contribuindo assim para o ciclo de nutrientes e o controle biológico de moscas.

Os besouros foram coletados na região Amazônica, aproximadamente a 1.100 km a oeste de Manaus, às margens do rio Solimões, em seis diferentes sistemas de uso da terra: floresta nativa, capoeira velha (*old secondary forest*), capoeira nova (*young secondary forest*), agrofloresta, roça e pastagem; para a coleta, foram utilizadas armadilhas pitfall (Figura 12). O trabalho de coleta foi realizado no período de 7 a 15 de março de 2004 e teve como objetivo verificar o impacto causado pelos seis diferentes sistemas de uso da terra na comunidade de besouros Scarabaeidae (Louzada, submetido em 2006).

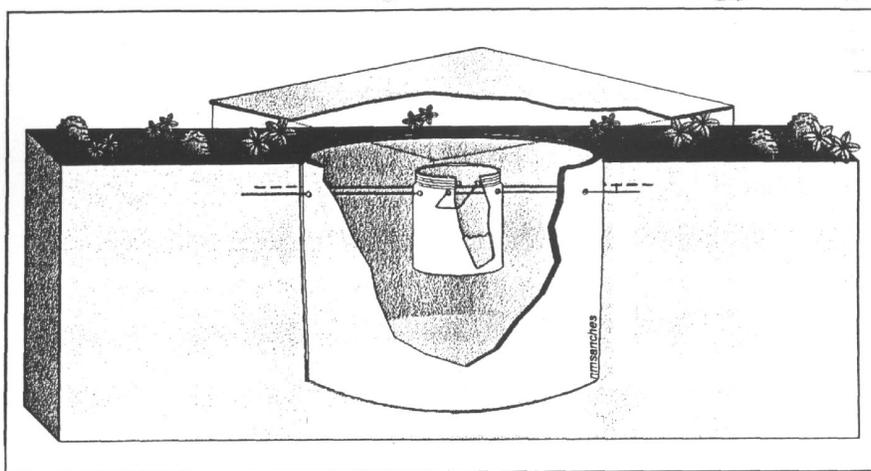


FIGURA 12 - Armadilha pitfall usada na coleta dos besouros (Louzada, 2000)

A armadilha é composta de uma jarra plástica (19 cm de diâmetro x 11 cm de profundidade), um compartimento para isca e uma capa plástica de proteção contra chuva. O recipiente é enterrado no chão com a abertura na superfície e, dentro, são colocados cerca de 250 ml de detergente líquido a 1,5%. Como isca, foram usadas fezes humanas. Três amostras foram coletadas de cada um dos 101 pontos amostrais, totalizando 303 amostras (Louzada, submetido em 2006).

Os dados da coleta em forma de planilhas Excel foram usados para o ajuste das funções de pertinência e a montagem da base de regras junto com o conhecimento de seis especialistas em besouros (contactados na Reunião de Scarabaeinae Research Network em Santa Cruz, Bolívia, em novembro de 2006), por meio de questionários (as perguntas foram ajustadas à linguagem dos profissionais, pelo prof. Julio N. C. Louzada) respondidos no local ou mandados pela internet.

Além dos dados, utilizaram-se os resultados de Louzada (submetido em 2006), os quais ele obteve por meio de cálculo de riqueza de espécies, intervalos de confiança obtidos por métodos aleatórios não paramétricos de Jackknife de primeira ordem, avaliação da diferença de composição de espécies de besouros usando análise de cluster baseada no índice de similaridade de Jaccard e apresentado por meio de um dendograma, os quais estabelecem uma classificação para os sistemas de uso da terra analisados.

## 3.2 Métodos

Este modelo baseia-se no sistema de lógica fuzzy, em que foi utilizado o método de inferência de Mamdani (vide seção 2.5.3).

A partir dos dados citados na seção 3.1, foram determinados para cada sistema de uso da terra, a média e o erro padrão. Com base nestes valores e levando-se em conta que: a pastagem é a que possui o menor número de espécies; a floresta maior número de indivíduos e maior número

de espécies; as outras formas de uso da terra possuem valores intermediários, foram construídas funções de pertinência para as variáveis lingüística de entrada.

Inicialmente, foram construídas duas variáveis. Uma, o número de insetos (**NI**) definida como:

$$\mathbf{NI} \equiv \frac{\textit{número total de insetos coletados}}{\textit{número de amostras}}$$

e outra, o número de espécies (**NE**), definida como:

$$\mathbf{NE} \equiv \frac{\textit{número total de espécies coletadas}}{\textit{número de amostras}}$$

No decorrer do trabalho, foi constatado que era necessário mais uma variável de entrada, para separar ambientes com o mesmo **NI** e **NE** mas, com características diferentes.

Exemplo:

Um ambiente com 100 besouros que pertencem a 5 espécies diferentes (A,B,C,D,E), pode ter 2 distribuições diferentes:

- 20 besouros de cada espécie (totalizando os 100 besouros).
- 90 besouros da espécie A, 4 da espécie B, 2 da espécie C, 2 da espécie D e 2 da espécie E.

Por isso, foi introduzida a variável raridade e criado um índice de raridade ( $I_{Ra}$ ), calculado por meio do número de Singletons (espécies com somente um indivíduo), Doubletons (espécies com somente dois indivíduos), Uniques (espécies que ocorrem em somente uma amostra) e Duplicates (espécies que ocorrem em somente duas amostras) do seguinte modo:

$$I_{Ra} \equiv \textit{Singletons} + \textit{Doubletons} + \textit{Uniques} + \textit{Duplicates}$$

Após discussão com os especialistas, foi decidido que se devia utilizar outro índice, pois os Singletons e os Doubletons eram mais difíceis de serem

capturados nas armadilhas e não havia consenso na definição do índice. Por isso, optou-se pela Abundância Relativa (**AR**) e a definição utilizada foi:

$$\mathbf{AR} \equiv 1 - \frac{\textit{número de indivíduos das duas espécies mais abundantes}}{\textit{número total de indivíduos}}$$

Utilizando-se as definições de **NI**, **NE** e **AR** e os dados contidos nas planilhas em Excel foi construída a Tabela 3.

TABELA 3 - Valores médios de cada sistema de uso da terra obtidos por meio de **NI**, **NE** e **AR** usando os dados de Louzada

	Floresta	Cap. Nova	Agroflo.	Roça	Cap. Velha	Pastagem
<b>NI</b>	77,20	13,55	17,00	49,82	9,10	2,60
<b>NE</b>	13,50	3,67	3,27	3,59	3,40	2,00
<b>AR</b>	0,62	0,40	0,19	0,09	0,40	0,46

Para cada variável lingüística de entrada, atribuíram-se termos lingüísticos (BAIXO, MÉDIO, ALTO) e cada um deles com funções de pertinência dos tipos triangular e trapezoidal (veja no Referencial Teórico), conforme podemos observar nas Figuras 13, 14 e 15.

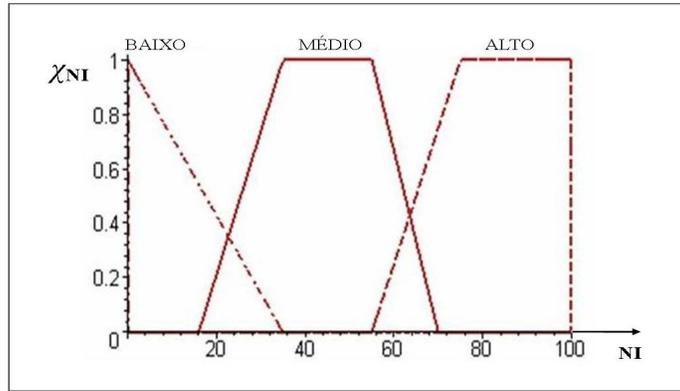


FIGURA 13- Função de pertinência de NI

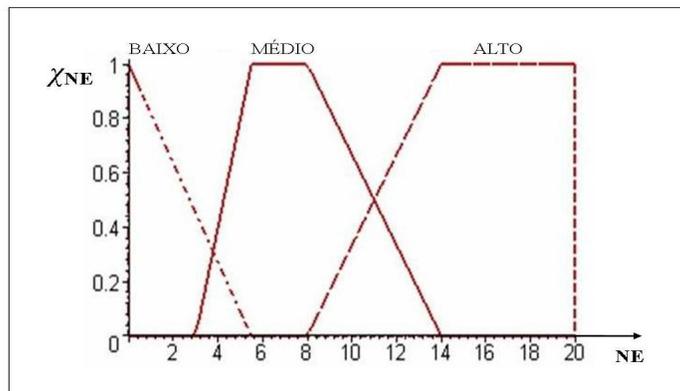


FIGURA 14 - Função de pertinência de NE

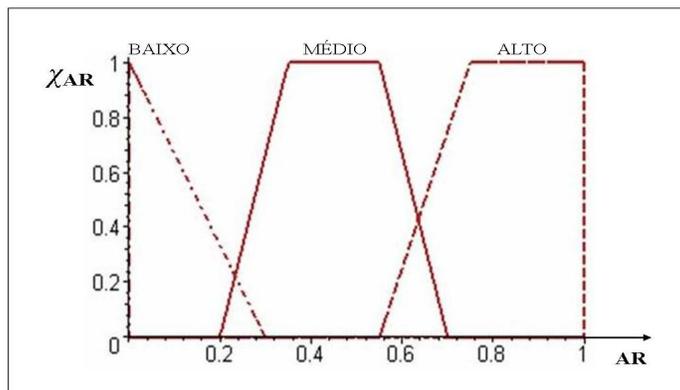


FIGURA 15 - Função de pertinência de AR

Como variável de saída foi construída a variável lingüística Conservação Ambiental (**CA**), que fornece uma nota de 0 a 100 para cada sistema de uso da terra de acordo com a classificação PÉSSIMO, RUIM, MÉDIO, BOM e ÓTIMO (Figura 16).

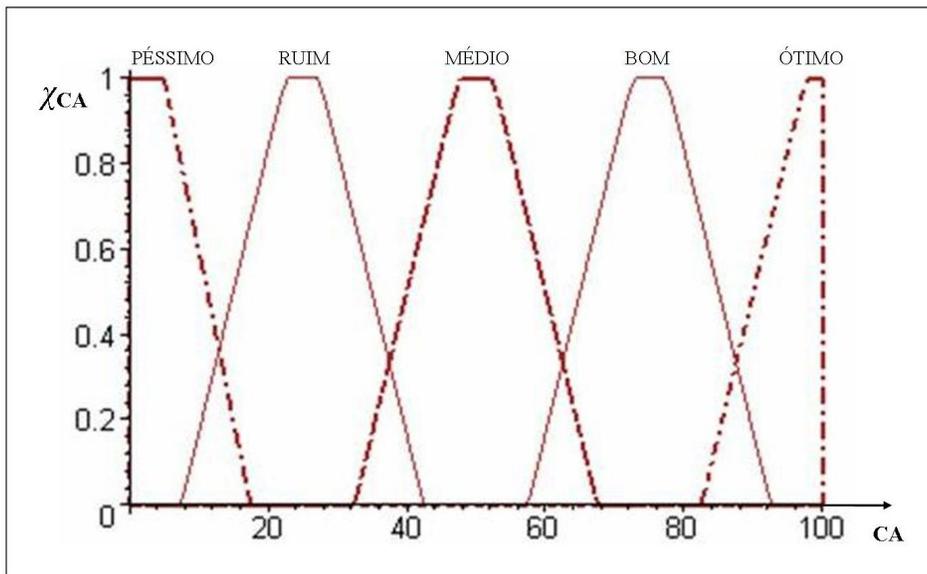


FIGURA 16 - Função de pertinência de CA

Cada especialista elaborou a sua base de regras (fornecida pelo questionário), sendo que a base de regras final foi feita de acordo com as respostas que tiveram maior concordância e, para as que forneceram o mesmo número de concordância, foi feita uma consulta com Louzada.

A base de regras final foi a seguinte:

Regra	<b>NI</b>	<b>NE</b>	<b>AR</b>	<b>CA</b>
$R_1$	BAIXO	BAIXO	BAIXO	PÉSSIMO
$R_2$	BAIXO	BAIXO	MÉDIO	PÉSSIMO
$R_3$	BAIXO	BAIXO	ALTO	PÉSSIMO
$R_4$	BAIXO	MÉDIO	BAIXO	RUIM
$R_5$	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO
$R_6$	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MÉDIO
$R_7$	BAIXO	ALTO	BAIXO	BOM
$R_8$	BAIXO	ALTO	MÉDIO	BOM
$R_9$	BAIXO	ALTO	ALTO	BOM
$R_{10}$	MÉDIO	BAIXO	BAIXO	PÉSSIMO
$R_{11}$	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO	MÉDIO
$R_{12}$	MÉDIO	BAIXO	ALTO	MÉDIO
$R_{13}$	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO	MÉDIO
$R_{14}$	MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO	BOM
$R_{15}$	MÉDIO	MÉDIO	ALTO	BOM
$R_{16}$	MÉDIO	ALTO	BAIXO	ÓTIMO
$R_{17}$	MÉDIO	ALTO	MÉDIO	ÓTIMO
$R_{18}$	MÉDIO	ALTO	ALTO	ÓTIMO
$R_{19}$	ALTO	BAIXO	BAIXO	PÉSSIMO
$R_{20}$	ALTO	BAIXO	MÉDIO	RUIM
$R_{21}$	ALTO	BAIXO	ALTO	MÉDIO
$R_{22}$	ALTO	MÉDIO	BAIXO	BOM
$R_{23}$	ALTO	MÉDIO	MÉDIO	BOM
$R_{24}$	ALTO	MÉDIO	ALTO	BOM
$R_{25}$	ALTO	ALTO	BAIXO	BOM
$R_{26}$	ALTO	ALTO	MÉDIO	ÓTIMO
$R_{27}$	ALTO	ALTO	ALTO	ÓTIMO

A arquitetura do modelo é apresentada na Figura 17.

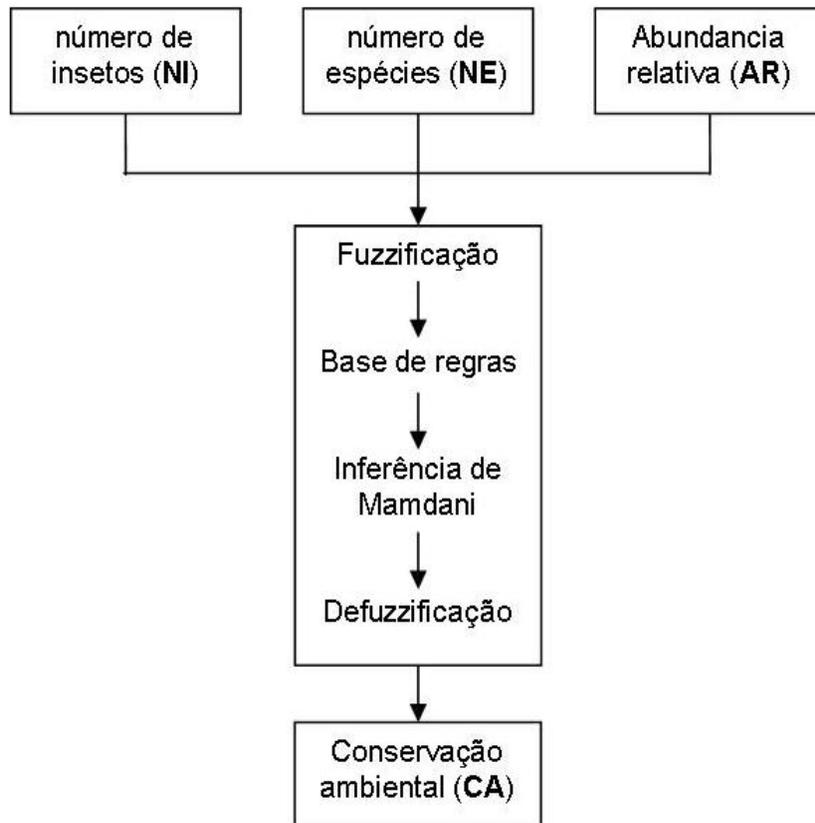


FIGURA 17 - modelo

Para uma melhor compreensão do modelo veja exemplo no Apêndice A.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em vista do trabalho realizado têm-se as seguintes considerações:

- Na Tabela 4 são mostrados os resultados obtidos para os diversos sistemas de uso da terra, os quais foram calculados por meio dos valores iniciais fornecidos pela Tabela 3 (seção 3.2) e as regras de cada especialista (obtidas por meio dos questionários).

TABELA 4 - Valores de conservação ambiental de diversos especialistas, para diferentes sistemas de uso da terra

Especialista	Floresta	Cap. Nova	Agroflo.	Roça	Cap. Velha	Pastagem
Entrev. 1	24,55	25,00	53,27	60,25	25,00	25,00
Entrev. 2	93,05	28,85	11,98	27,35	23,03	6,20
Entrev. 3	88,02	19,25	20,33	63,50	16,29	6,96
Entrev. 4	93,05	33,86	20,33	32,34	27,78	6,95

Analisando a Tabela 4, nota-se que houve discrepância nos resultados, o que pode ser devido a vários fatores.

1. Interpretação das perguntas feitas nos questionários.

A partir da análise das respostas, constatou-se que, em trabalhos futuros, será necessário explicitar melhor certos conceitos e dividir as perguntas, para se obter informações melhor estruturadas.

2. As regras fornecidas baseiam-se nos conceitos que cada entrevistado possui do assunto, o que acaba dando peso diferente para as variáveis lingüísticas de entrada.

Aqui constatou-se a necessidade de consensuar conceitos pois, mesmo trabalhando com conceitos subjetivos que envolvem incerteza e imprecisão, eles devem ser únicos para um conjunto de especialistas.

3. Conceitos diferentes a respeito de conservação ambiental.

Constataram-se as mesmas necessidades do item acima.

4. Cada pesquisador utiliza uma técnica diferente de coleta de amostras (distância entre armadilhas, tempo de coleta, iscas diferentes: esterco, frutas em decomposição, carcaça de animais, etc.).  
É necessário padronizar procedimentos de coleta.
  5. Os objetivos da amostragem são diferentes (classificação, estudo dos feromônios, etc.).  
É necessário padronizar objetivos da amostragem.
  6. Os especialistas pesquisam sistemas de uso da terra diferentes: pastos nordestinos, pastos no cerrado matogrossense, floresta tropical, etc.  
É necessário padronizar sistemas de uso da terra pesquisados.
  7. A complexidade de se lidar com seres vivos é bastante diferente de se lidar com sistemas mecânicos.
- Em relação à classificação dos diversos sistemas de uso de terra há algumas considerações no estudo de Louzada (submetido em 2006), que servem de balizamento, para efeito de comparação, com os resultados obtidos:
    - a) por meio do método estatístico Jackknife, ele estabeleceu a seguinte classificação para riqueza de espécies: em primeiro lugar, florestas primárias; a seguir, florestas secundárias novas (capoeira nova), floresta secundária velha (capoeira velha), roça, agrofloresta e, por último, pastagens. Observou também que a riqueza de espécies é similar nos ambientes: capoeira velha, agrofloresta e roça;
    - b) por meio do dendograma do estudo de Scarabaeidae em seis sistemas de uso territorial no Amazonas (floresta tropical natural), concluiu que a floresta tropical natural foi marcadamente diferente dos outros sistemas pesquisados e que a análise da composição de espécies de besouros mostrou que capoeira velha e

agrofloresta tiveram uma similaridade de 70% e que a roça foi mais semelhante à capoeira velha e à agrofloresta do que outros sistemas de uso.

- c) alguns especialistas, por meio da análise da composição das espécies de Scarabaeidae, foram unânimes em afirmar que a floresta possui alta riqueza de espécies destes besouros, devido a existência de grande variedade alimentar e também condições microclimáticas que propiciam maior diversidade e que a pastagem possui a pior conservação pelo baixo número de espécies devido à estrutura de hábitat simplificado.

Thomazini (2002) colocou na seguinte ordem a conservação de certos ambientes de acordo com a sua heterogeneidade. Em primeiro lugar, a floresta primária; a seguir, floresta secundária (capoeira) e, por último, as pastagens.

Com a base de regras final que foi especificada na seção 3.2 e as variáveis de entrada da Tabela 3 obteve-se a Tabela 5.

TABELA 5 - Valores de conservação ambiental - resultado final das discussões

Floresta	Cap. Nova	Agroflo.	Roça	Cap. Velha	Pastagem
88,02	33,86	20,33	32,34	27,74	6,96

Os resultados (conforme a Tabela 5) indicam a seguinte ordem (classificação) de conservação dos sistemas de uso de terra:

1. floresta primária;
2. floresta secundária nova (capoeira nova);
3. roça;
4. floresta secundária velha (capoeira velha);
5. agrofloresta;
6. pastagem

Isto é apresentado na Figura 18, em que os números nos círculos correspondem à classificação acima e, os valores nas abscissas do gráfico correspondem aqueles da Tabela 5.

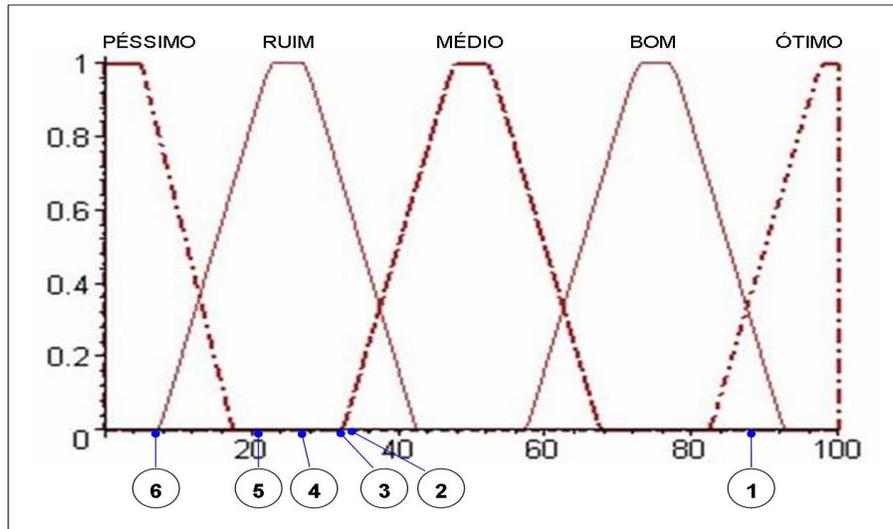


FIGURA 18 - Conservação

O que foi observado é que, em relação ao item a), tem-se uma classificação semelhante, porém, uma inversão de posições entre roça e floresta secundária velha.

Em relação ao item b), percebe-se que, de fato a floresta natural se destaca dos outros sistemas (observar o círculo 1 na Figura 18). A capoeira velha e a agrofloresta também corroboram este item. A questão, mais uma vez é a roça que, no caso, parece se assemelhar mais à capoeira nova do que à capoeira velha.

Em relação ao item c), os resultados obtidos corroboram o exposto nesse item.

O fato de ter havido a inversão entre a roça e a floresta secundária velha, pode-se atribuir à imprecisão existente na coleta dos insetos, que são afetados pelas mudanças climáticas (chuva, frio), outras fontes de alimentação mais acessíveis, predadores, etc. e à subjetividade nas informações

dos especialistas, tempo de coleta, iscas e armadilhas diferentes, conceitos sobre conservação diferentes e também ao fato de que Louzada (submetido em 2006) trabalha apenas com uma variável, riqueza de espécies (o que corresponderia ao nosso número de espécies). Já aqui trabalha-se com três variáveis: número de insetos, número de espécies e abundância relativa, simultaneamente.

Outra característica importante deste Modelo Fuzzy é que, à medida em que forem obtidos mais dados, poder-se-á refinar as funções de pertinência e, conseqüentemente, melhorar a análise da conservação ambiental do sistema em estudo.

Em vista do que foi dito anteriormente, as perspectivas para futuros projetos são realmente boas, pois será possível, por meio da estrutura criada neste trabalho, fazer uma avaliação mais profunda da conservação ambiental de sistemas de uso territorial na Amazônia, por meio de outros bioindicadores, como insetos coletivos (vespas ou abelhas), insetos que vivem no solo (formigas) e outros insetos (borboletas e cupins) que possuem funções diferentes nos ecossistemas, em conjunto com índices abióticos, como solo e água.

## 5 CONCLUSÃO

A teoria dos conjuntos fuzzy, em especial os Sistemas Baseados em Regras Fuzzy (SBRF), permite lidar com variáveis lingüísticas de diferentes tipos, sendo um instrumento de grande auxílio para desenvolver aplicativos em áreas onde as informações são subjetivas, como avaliação de sistemas ambientais.

Assim, diante da complexidade existente nos sistemas ecológicos, considera-se altamente vantajoso usar os SBRF, os quais permitem, por meio da lógica fuzzy e das variáveis lingüísticas, lidar com as incertezas e as subjetividades inerentes à complexidade dos sistemas ambientais, o que dificulta ou inviabiliza o uso de outras metodologias.

Foram atingidos os objetivos iniciais com a criação de um modelo que permitiu uma avaliação de sistemas florestais da região amazônica, por meio de besouros da família Scarabaeidae e também foram feitas comparações entre os resultados. Concluiu-se que a floresta tropical que não teve nenhuma interferência humana possui o grau mais alto em conservação, vindo a seguir os sistemas que tiveram influência humana (na ordem mostrada na seção 4) tendo a pastagem sido a que recebeu a pior avaliação.

Nesse sentido, a grande vantagem do modelo fuzzy adotado é que ele permite:

1. visualizar o estado de conservação de certos ambientes por meio dos Scarabaeidae, sem necessidade de modelos matemáticos ou cálculos complexos;
2. por meio de variáveis lingüísticas, fornecer valores numéricos que permitem cálculos matemáticos, complementando outros bioindicadores;
3. avaliar os sistemas de uso da terra para melhorar o aproveitamento dos recursos disponíveis e as técnicas mais prejudiciais ao meio ambiente;

4. utilizar não só uma variável lingüística (riqueza de espécies), mas outras (número de insetos e abundância relativa) simultaneamente, o que permite um resultado mais diferenciado (veja exemplo no Apêndice A);
5. incorporar, aos seus índices, não somente dados que possuem um grau de subjetividade, mas também uma visão humana, fruto de suas percepções.

Portanto, o sistema criado pela Metodologia Fuzzy é mais uma ferramenta que poderá auxiliar na análise de sistemas ambientais naturais e antropológicos, podendo ser utilizado em projetos que causem impactos na sustentabilidade em ambientes agroflorestais e também dar apoio a profissionais (pesquisadores de outras áreas, ambientalistas, professores, agricultores, etc.) que estão preocupados com as florestas nativas e, conseqüentemente, com a perda da biodiversidade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática**. Campinas: UNICAMP/IMECC, 2006. 354 p.

BECKER, B. K. Amazônia: construindo o conceito e a conservação da biodiversidade na prática. In: DIAS, B.; GARAY, I. (Org.) **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Editora Vozes, 2001. p. 92-101.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A convenção sobre diversidade biológica**. Brasília: MMA, 2000. 30 p.

DOBSON, A. P. **Conservation and biodiversity**. New York: Scientific American Library, 1995. 264 p.

EHRlich, P. R. A perda da diversidade: causas e conseqüências. In: WILSON, E. O. (Org.) **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 27-35.

FBCN. **Conceito de conservação**. [trad. J. L. Belart]. Rio de Janeiro: Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza - Belém, SUDAM, 1976. 111 p.

GASCON, C.; LAURENCE, W. F.; LOVEJOY, T. E. Fragmentação florestal e biodiversidade na Amazônia central. In: DIAS, B.; GARAY, I. (Org.) **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Editora Vozes, 2001. p. 112-127.

HALFFTER, G.; MATTHEWS, E. G. **Folia Entomologica Mexicana**. México, DF: 1966. 312 p.

HALFFTER, G.; FAVILA, M. E.; HALFFTER, V. Comparative studies on the structure of scarab guild in tropical rain forest. **Folia Entomológica Mexicana**, v. 84, p. 131-156, 1992.

JAFELICE, R. S. da M.; BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Teoria dos conjuntos fuzzy com aplicações**. São Carlos, SP: SBMAC - São Paulo: Pleiade, 2005. 66 p.

KLIR, G. J.; YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. New Jersey, USA: Prentice Hall PTR, 1995. 574 p.

LÉVÊQUE, C. **A biodiversidade**. Bauru, SP: EDUSC, 1999. 246 p.

LEWINSOHN, T. M. Esboço de uma estratégia abrangente de inventários de biodiversidade. In: DIAS, B.; GARAY, I. (Org.) **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**. Petrópolis: Editora Vozes, 2001. p. 376-384.

LOUZADA, J. N. C. **Efeitos da fragmentação florestal sobre a estrutura da comunidade de Scarabaeidae (Insecta, Coleoptera)**. 2000, 95p., il. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeidae community structure (insecta: coleoptera) in different land use systems of the brazilian amazon. **Agriculture Ecosystem and Environment**. Submitt.

MARGALEF, R. **Ecologia**. Barcelona: Ediciones Omega S. A., 1989. 951 p.

MENDEL, J. M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Proceedings of the IEEE**, v. 83, n. 3, p. 345-377, March 1995.

MYERS, N. Florestas tropicais e suas espécies: sumindo, sumindo ...?. In: WILSON, E. O. (Org.) **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 36-45.

ORTEGA, N. R. S. **Aplicação da teoria de conjuntos fuzzy a problemas da biomedicina**. 2001, 152p., il. Tese (Doutorado em Ciências)-Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

PEDRYCZ, W.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. Cambridge, USA: The MIT Press, 1998. 465 p.

PEIXOTO, M. S. Controle fuzzy de biocida na morte súbita dos citros. **Biomatemática**, v. 15, p. 67-76, 2005.

SAMWAYS, M. J. **Insect conservation biology**. London: Chapman & Hall, 1994. 358 p.

TANAKA, K. **An introduction to fuzzy logic for practical applications**. New York: Springer, 1996. 138 p.

THOMAZINI, M. J. **Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no sudeste acreano**. Embrapa Acre. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 35, 41p., Setembro 2002.

TOLMASQUIM, M. T. Estrutura conceitual para a elaboração de indicadores de sustentabilidade ambiental para o Brasil. In: DIAS, B.; GARAY, I. (Org.) **Conservação da biodiversidade em ecossistemas tropicais**.

Petrópolis: Editora Vozes, 2001. p. 68-75.

WEBER, L. **Aplicação da lógica fuzzy em software e hardware**. Canoas, RS: Ed. ULBRA, 2003. 112 p.

WILSON, E. O. A situação atual da diversidade biológica. In: WILSON, E. O. (Org.) **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. p. 3-24.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, p. 338-353, June 1965.

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

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

ZADEH, L. A. A fuzzy-algorithmic approach to the definition of complex or imprecise concepts. **International Journal of Man-Machine Studies**, p. 249-291, 1976.

ZADEH, L. A. Soft computing and fuzzy logic. **IEEE Software**, p. 48-58, 1994.

## APÊNDICE A

Os passos a seguir mostram como foi calculado o estado de conservação de um determinado ambiente.

Valores de entrada:

**NI** - 47

**NE** - 4

**AR** - 0,47

Cada um dos valores iniciais possuem um grau de pertinência em relação aos subconjuntos fuzzy que definem as três variáveis de entrada.

$$\chi_{NI_{MÉDIO}}(47) = 1$$

$$\chi_{NE_{BAIXO}}(4) = 0,27$$

$$\chi_{NE_{MÉDIO}}(4) = 0,40$$

$$\chi_{AR_{MÉDIO}}(0,47) = 1$$

Estes valores podem ser vistos nas figuras abaixo.

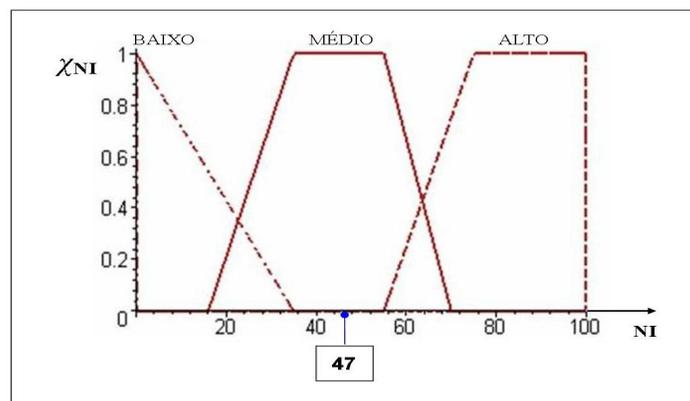


FIGURA 19 - Função de pertinência de NI - exemplo

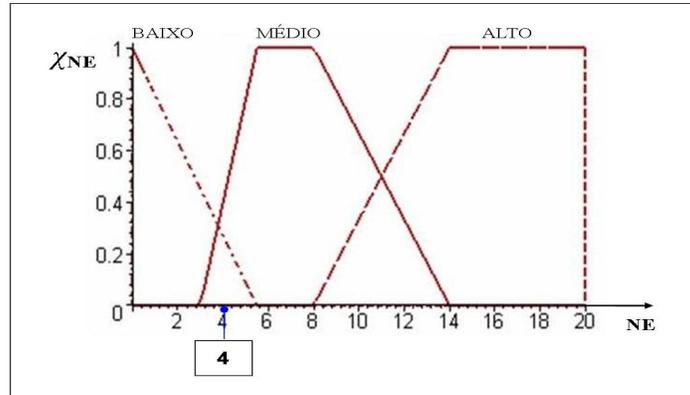


FIGURA 20 - Função de pertinência de **NE** - exemplo

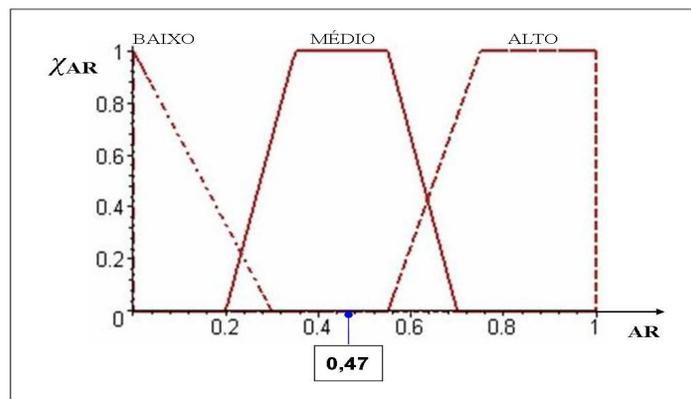


FIGURA 21 - Função de pertinência de **AR** - exemplo

Os valores de entrada estão relacionados com algumas regras na base de conhecimento. No caso, foram utilizadas as regras  $R_{11}$  e  $R_{14}$  da base de regras (seção 3.2).

$R_{11}$  : **SE** número de insetos é MÉDIO e número de espécies é BAIXO  
e Abundância Relativa é MÉDIO **ENTÃO** a Conservação é MÉDIO

$R_{14}$  : **SE** número de insetos é MÉDIO e número de espécies é MÉDIO  
e Abundância Relativa é MÉDIO **ENTÃO** a Conservação é BOM

No método de Mamdani, os graus de pertinência são combinados por meio da t-norma do mínimo da seguinte forma:

$$R_{11} : \min \{ \chi_{NIMEDIO}(47), \chi_{NEBAIXO}(4), \chi_{ARMEDIO}(0, 47) \} =$$

$$R_{11} : \min \{ 1; 0,27; 1 \} = 0,27$$

$$R_{14} : \min \{ \chi_{NIMEDIO}(47), \chi_{NEMEDIO}(4), \chi_{ARMEDIO}(0, 47) \} =$$

$$R_{14} : \min \{ 1; 0,40; 1 \} = 0,40$$

O valor de pertinência encontrado será projetado na função de pertinência da variável resposta da regra em questão e, assim, por meio da t-conorma máximo, combinamos as saídas parciais de cada regra, obtendo-se a saída final do controlador pelo método de Mamdani.

Finalmente, usando o método de defuzzificação do centro de gravidade, obtem-se o valor de **64,65** (numa escala de 0 a 100) para representar o estado de conservação para este ambiente.

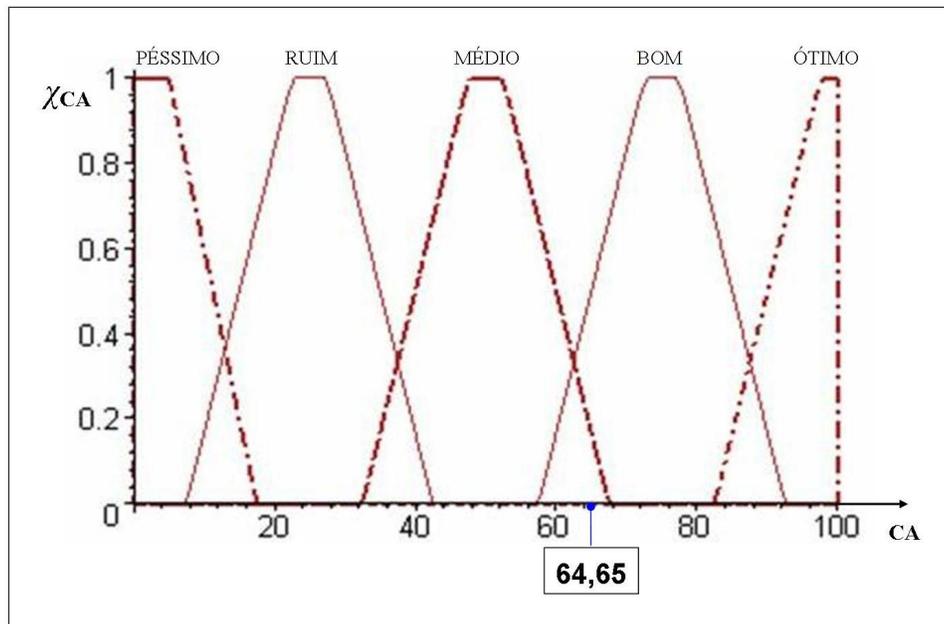


FIGURA 22 - Função de pertinência de CA - exemplo

## APÊNDICE B

Exemplo mostrando diversas situações de ambientes.

	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>NI</b>	55	70	70	60	63	60	10	63
<b>NE</b>	13	6	4	4	3	15	2	3
<b>AR</b>	0,5	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8	0,3	0,2
Conservação	86,83	75,00	54,84	53,81	38,17	93,41	6,96	7,75

Analisando-se os casos A e E, nota-se que, apesar de E ter maior **NI** que A, o que pesou mais foi o **NE**. Desse modo, o ambiente A foi classificado entre BOM e ÓTIMO e o ambiente E entre MÉDIO e RUIM.

Agora, comparando-se o ambiente E com H a diferença foi na **AR** e o ambiente H foi classificado como PÉSSIMO e RUIM.

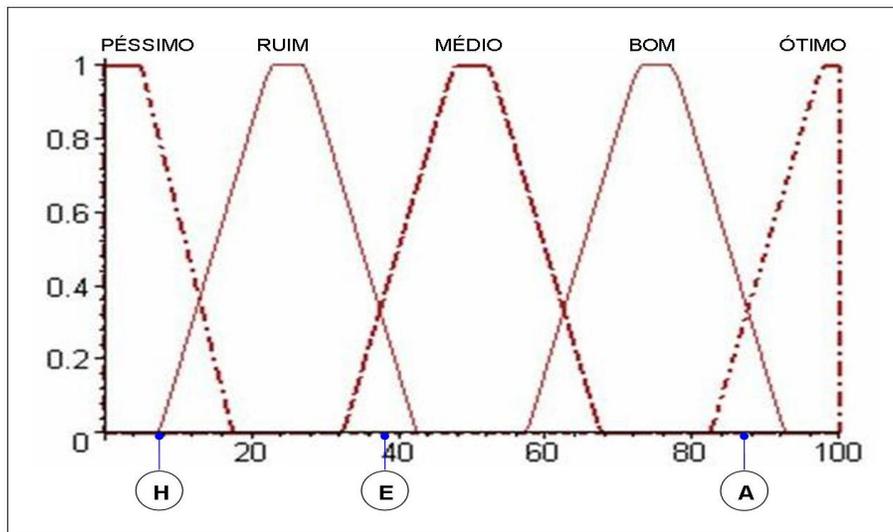


FIGURA 23 - Exemplo

## APÊNDICE C

Nome:	e-mail:
Instituição:	País:
Tel:	Data:

1. Qual o número aproximado de indivíduos *Scarabaeidae* você espera capturar, por pitfall, em uma amostragem de 24 horas, em uma Floresta Tropical Conservada?

Resposta: \_\_\_\_\_

2. Qual o número aproximado de indivíduos *Scarabaeidae* você espera capturar, por pitfall, em uma amostragem de 24 horas, em uma Floresta Degradada?

Resposta: \_\_\_\_\_

3. Baseado nos números de indivíduos de *Scarabaeidae* apontados acima, que faixas de valores você consideraria **BAIXO**, **MEDIO**, **ALTO** por amostra?

BAIXO		
MEDIO		
ALTO		

4. Se em uma amostragem de *Scarabaeidae* em Floresta Tropical você capturasse os valores abaixo de indivíduos, como você classificaria sua amostra?

a) 25 indivíduos	<b>BAIXO</b>	b) 35 indivíduos	<b>BAIXO</b>	c) 65 indivíduos	<b>BAIXO</b>
	<b>MEDIO</b>		<b>MEDIO</b>		<b>MEDIO</b>
	<b>ALTO</b>		<b>ALTO</b>		<b>ALTO</b>

5. Faça quaisquer comentários que ache interessante ou necessário a respeito do número de indivíduos de Scarabaeidae em Florestas Tropicais Conservadas e Degradadas. Inclua, se sugerir.

6. Qual o número aproximado de espécies de Scarabaeidae você espera capturar, por pitfall, em uma amostragem de 24 horas, em uma Floresta Tropical Conservada?

Resposta: \_\_\_\_\_

7. Que número aproximado de espécies de Scarabaeidae você espera capturar, por pitfall, em uma amostragem de 24 horas, em uma Floresta Degradada?

Resposta: \_\_\_\_\_

8. Baseado nos números de espécies de Scarabaeidae apontado acima, que faixas de valores você consideraria **BAIXO**, **MÉDIO**, **ALTO** para 10 amostras?

<b>BAIXO</b>	
<b>MÉDIO</b>	
<b>ALTO</b>	

9. Faça quaisquer comentários que ache interessante ou necessário a respeito do número de espécies de Scarabaeidae em Florestas Tropicais Conservadas e Degradadas. Inclua, se sugerir.

10. Na sua opinião, qual a abundância total relativa das duas espécies de Scarabaeidae (mais abundantes na amostra) numa Floresta Conservada e numa Degradada?

Floresta Conservada: \_\_\_\_\_

Floresta Degradada: \_\_\_\_\_

11. Baseado nos números apontado acima, que faixas de valores você consideraria **BAIXO**, **MEDIO**, **ALTO** para 10 amostras?

12. O que você considera "Raridade", quando olha para uma amostragem de Scarabaeidae em Floresta Tropical?

13. Na sua opinião, qual a "Raridade" numa Floresta Conservada e numa Degradada?

Floresta Conservada: \_\_\_\_\_

Floresta Degradada: \_\_\_\_\_

14. Considerando os valores obtidos no item 10 como um índice de raridade, quais seriam os valores para raridade **BAIXO**, **MEDIO**, **ALTO** para 10 amostras?

<b>BAIXO</b>	
<b>MEDIO</b>	
<b>ALTO</b>	

15. Você poderia sugerir uma outra forma de calcular "Raridade"?

Se você tivesse que classificar um ambiente de acordo com os critérios abaixo, baseado no número de indivíduos, número de espécies e raridade que tipo de conceito seria dado?

Os conceitos para Conservação devem ser: Pessima, Ruim, Média, Boa ou Ótima.

+

	Regra	Conservação
1	Se n° de indivíduos é <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>BAIXO</b> e raridade <b>BAIXO</b> então	
2	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>BAIXO</b> e raridade <b>MEDIO</b> então	
3	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>BAIXO</b> e raridade <b>ALTO</b> então	
4	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>MEDIO</b> e raridade <b>BAIXO</b> então	
5	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>MEDIO</b> e raridade <b>MEDIO</b> então	
6	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>MEDIO</b> e raridade <b>ALTO</b> então	
7	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>ALTO</b> e raridade <b>BAIXO</b> então	
8	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>ALTO</b> e raridade <b>MEDIO</b> então	
9	Se n° de indivíduos: <b>BAIXO</b> e n° de espécies <b>ALTO</b> e raridade <b>ALTO</b> então	

	Regra	Conservação
10	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>BAIXO</b> e raridade: <b>BAIXO</b> então	
11	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>BAIXO</b> e raridade: <b>MEDIO</b> então	
12	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>BAIXO</b> e raridade: <b>ALTO</b> então	
13	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>MEDIO</b> e raridade: <b>BAIXO</b> então	
14	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>MEDIO</b> e raridade: <b>MEDIO</b> então	
15	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>MEDIO</b> e raridade: <b>ALTO</b> então	
16	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>ALTO</b> e raridade: <b>BAIXO</b> então	
17	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>ALTO</b> e raridade: <b>MEDIO</b> então	
18	Se n° de indivíduos: <b>MEDIO</b> e n° de espécies: <b>ALTO</b> e raridade: <b>ALTO</b> então	
19	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>BAIXO</b> e raridade: <b>BAIXO</b> então	
20	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>BAIXO</b> e raridade: <b>MEDIO</b> então	
21	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>BAIXO</b> e raridade: <b>ALTO</b> então	
22	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>MEDIO</b> e raridade: <b>BAIXO</b> então	
23	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>MEDIO</b> e raridade: <b>MEDIO</b> então	
24	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>MEDIO</b> e raridade: <b>ALTO</b> então	
25	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>ALTO</b> e raridade: <b>BAIXO</b> então	
26	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>ALTO</b> e raridade: <b>MEDIO</b> então	
27	Se n° de indivíduos: <b>ALTO</b> e n° de espécies: <b>ALTO</b> e raridade: <b>ALTO</b> então	

