

DANILO MACHADO PIRES

**MODELAGEM *FUZZY* NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES DE
*EUCALYPTUS SP.***

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

DANILO MACHADO PIRES

**MODELAGEM *FUZZY* NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE
ÁRVORES DE *EUCALYPTUS SP.***

Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel.

Área de Concentração:

Inteligência Artificial/Otimização

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Martins de Abreu Silva

Co-orientador:

MSc Adriano Ribeiro Mendonça

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processo Técnico da Biblioteca Central da
UFLA**

Pires, Danilo Machado

Modelagem *Fuzzy* na estimativa do Volume de árvores de *Eucalyptus* /Danilo Machado Pires. Lavras – Minas Gerais, 2007.46p. :il.

Monografia de Graduação– Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência da Computação.

1. Inteligência Artificial. 2. Lógica *Fuzzy*. PIRES, D. M . II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

DANILO MACHADO PIRES

**MODELAGEM *FUZZY* NA ESTIMATIVA DO VOLUME
DE *EUCALYPTUS*.**

Monografia de Graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Ciência da Computação para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 6 de agosto de 2007.

Prof. Cristiano Leite de Castro

Prof. Claudio Fabiano Mota

Adriano Ribeiro Mendonça
(Co-Orientador)

Prof. Ricardo Martins de Abreu Silva
(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

Dedico a toda minha família, em especial aos meus pais, pelo incentivo, apoio, confiança e exemplo de caráter. Ao meu irmão por sempre me instigar a progredir, a minha irmã pelo carinho e amizade. A minha avó por sempre torcer por mim. Ao meu avô que sempre me serviu de exemplo, e que em espírito comemora comigo minha realização. Aos meus amigos, pelo companheirismo e apoio, E aos meus orientadores pela paciência e dedicação

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, pela paciência, incentivo, por todo o apoio e dedicação demonstrada ao primar pelo bem estar e educação dos seus filhos, e principalmente por acreditarem em mim.

A minha irmã Daniele, e ao meu irmão Daniel, pela amizade, confiança e força nas minhas realizações.

A minha avó pelas orações dispensadas a mim, ao meu avô por seus conselhos que foram vitais para minha formação.

Aos amigos que compartilharam comigo momentos do qual serão lembrados com nostalgia pelo resto da minha vida.

Aos meus orientadores e companheiros de equipe que compartilharam comigo, os momentos finais da minha graduação, e contribuíram para que ela se realize.

MODELAGEM *FUZZY* NA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁRVORES DE *EUCALPYTUS SP.*

RESUMO

O gênero florestal mais valioso cultivado no Brasil hoje em dia é o *Eucalyptus*. A criação de modelos para estimar o volume do *Eucalyptus* foi de grande importância nos últimos anos para o silvicultor devido ao grande aumento das áreas plantadas, onde se obtém múltiplos produtos recorrentes dessas plantações. Neste trabalho, um modelo Fuzzy é desenvolvido para estimar o volume de um clone de *Eucalyptus* cultivado na região costeira do Brasil. Igualmente em outros campos científicos, este tipo de modelagem se mostra precisa e acurada.

Palavras-Chave: Inteligência Artificial, Lógica Fuzzy.

MODEL-DRIVEN ARCHITECTURE: A OVERVIEW

ABSTRACT

Eucalyptus is the most valuable cultivated forest genus in Brazil nowadays. Modeling eucalypts volume has been important for foresters in recent years due to the strong site and genetic variations, management regimes and multiple products generated from those plantations. At this work, fuzzy model is developed to represent the volume pattern of eucalypts clonal stands from Brazilian coast region. Likewise in other scientific field, these types of modeling methodologies showed to be precise and accurate.

Key-Words: Artificial intelligence, Logic Fuzzy.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. O gênero <i>Eucalyptus</i>	3
2.2. Volume.....	4
2.2.1. Cubagem rigorosa.....	5
2.2.2. Modelos volumétricos	6
2.2.3. Características dos modelos.....	7
2.3. Lógica <i>Fuzzy</i>	8
2.3.1. Conjuntos <i>Fuzzy</i>	9
2.3.1.1. Representação	10
2.3.1.2. Operações com Conjuntos.....	11
2.3.2. Inferência <i>Fuzzy</i>	13
2.3.2.1. Método de Inferência Mamdani	14
2.3.2.2. Método de Inferência Takagi-Sugeno.	14
2.3.3. Sistemas Baseados em Regras <i>Fuzzy</i> -(SBRF).....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1. Tipo de pesquisa	18
3.2. Obtenção dos dados	18
3.3. Procedimentos metodológicos	19
3.4. Modelos comparados	19
3.5. Modelo proposto	20
3.6. Avaliação dos modelos	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Avaliação dos modelos	26
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1-Tronco de <i>Eucalyptus</i>	5
Figura 2.2-Hierarquia de Teorias Matemáticas.	8
Figura 2.3-Tipos de funções de pertinência.	11
Figura 2.4-Interseção de Conjuntos <i>Fuzzy</i>	12
Figura 2.5-União de Conjuntos <i>Fuzzy</i>	12
Figura 2.6-Conjunto complementar <i>Fuzzy</i>	13
Figura 2.7-método de inferência Mamdani.	14
Figura 2.8-Sistemas Baseados em Regras <i>Fuzzy</i> (SBRF).	15
Figura 2.9-Variável nebulosa idade formada por 2 termos nebulosos(jovem, adulto).....	16
Figura 3.1-Conjuntos <i>Fuzzy</i> para a variável DAP ²	21
Figura 3.2-Conjuntos <i>Fuzzy</i> para variável altura –total.....	21
Figura 3.3-Conjuntos <i>Fuzzy</i> variável Volume-Total-com-casca (VTC).	21
Figura 3.4-Diagrama de inferência “ <i>Fuzzy</i> ” utilizando para estimar o volume total com casca	23
Figura 3.5-Resumo do sistema <i>fuzzy</i>	24
Figura 4.1- Distribuição dos resíduos do volume total em percentagem, em função do volume total estimado, para o modelo de Spurr.....	27
Figura 4.2- Distribuição dos resíduos do volume total, em percentagem, em função do volume total estimado, para o modelo de Schumacher e Hall.	27
Figura 4.3- Distribuição dos resíduos do volume total em percentagem, em função do volume total estimado, para o modelo <i>Fuzzy</i>	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1-Modelos comparados	20
Tabela 3.2-Tabela de Regras.	22
Tabela 3.3-Critérios para validação dos modelos	25
Tabela 4.1- Correlação(r) e Erro Padrão dos relativo $S_{yx}\%$, dos modelos	26
Tabela. 4.2-Estatísticas “bias”(B), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD), para a estimativa do volume total de <i>Eucalyptus</i> sp.....	28
Tabela. 4.3-Notas atribuídas a partir das estatística da Tabela 4.2.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

SLF – Sistema de Lógica *Fuzzy*.

SBRF – Sistema Baseado em Regras *Fuzzy*.

VTC – Volume Total com Casca.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal possui um crescente destaque na economia brasileira. Esse destaque é notado no PIB florestal, que está próximo a US\$ 21 bilhões (4% do PIB nacional) com US\$ 5.4 bilhões (10% do PIB nacional) em exportação (agronegócio) no ano de 2003(FESSEL, 2003). Vale ressaltar que o setor tem desempenhado importante papel socioeconômico, gerando dois milhões de empregos (diretos e indiretos), recolhendo em torno de US\$2 bilhões anuais de impostos, consumindo em torno de 300 milhões de m³/ano de madeira (nativa + plantada) (SBS, 2007).

Segundo FESSEL (2003), no ano 2000, as empresas de celulose e papel consumiram 17,4 milhões de toneladas de madeira, produzindo 7,4 milhões de toneladas de celulose e 7,1 milhões de toneladas de papel. Essas empresas plantaram 180 milhões de árvores (SBS, 2007). O gênero mais cultivado foi o *Eucalyptus* sp., ocupando 84,7% de toda a área plantada.

Outro fator que impulsiona novos estudos é o fato de que a área de plantio sofrerá competição com áreas agrícolas, obrigando o setor a obter uma maior produtividade da área plantada.

Devido às importâncias relatadas acima, vários estudos foram realizados para que se possa obter um melhor aproveitamento do *Eucalyptus*. De acordo com Pires (2004), uma forma de otimizar o uso múltiplo da árvore é através modelos para estimar o volume da mesma, pois o volume é imprescindível na tomada de decisão a respeito de que finalidade tomara a árvore

Um modelo para estimar o volume poderia ser desenvolvido com o uso da lógica *Fuzzy*, por meio da qual se apresentam incertezas para resolver determinado problema, de acordo com a natureza complexa dos sistemas agrícola, possibilitando atingir maior acurácia no processo de modelagem (Alves et al.,2006). Outras características que justificam a aplicação de um Sistema de lógica *Fuzzy*(SLF) estão relacionadas com a flexibilidade da técnica, facilidade de compreensão de conceitos,possibilidade de desenvolvimento com base na experiência de especialistas e por ser embasado na linguagem natural utilizada por seres humanos(Tanaka,1991;Klir,1995).

Considerando o exposto, este trabalho tem como objetivo geral traçar um conjunto de processos e meios usados na feitura de um modelo volumétrico para o gênero *Eucalyptus*. Que se fundamente na utilização da lógica *Fuzzy*, e avaliar o grau de conformidade entre os valores estimados e os valores observados, para verificar a viabilidade do modelo em relação aos modelos estimadores já consagrados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O gênero *Eucalyptus*

O eucalipto é o nome vulgar de várias espécies do gênero *Eucalyptus*. Esse gênero é pertencente a família Myrtaceae .O gênero é representado por mais de 650 espécies, sendo que cerca de 110 são encontradas no Brasil, das quais aproximadamente 50 espécies, após diversos estudos experimentais, permaneceram empregadas em plantios comerciais de larga escala (Schumacher et al., 2005).

É um gênero de fácil disseminação devido à alta capacidade de rebrota, facilidade de aclimação. Segundo Ribeiro et al. (2002) o gênero *Eucalyptus* pode crescer desde solos ácidos a calcário e desde clima úmido a seco. De acordo com Mendonça (2006), é uma alternativa promissora no uso para o reflorestamento devido, principalmente, ao seu rápido crescimento e às tecnologias já desenvolvidas para sua produção, fato incomum a outras espécies florestais.

O eucalipto chegou ao Brasil em 1825, como planta ornamental. Sua utilização para fins econômicos só teve início em 1903, quando passou a ser empregado na produção de dormentes ferroviários e lenha para alimentar as locomotivas da época.

O gênero se faz presente em muitos estados brasileiros como Minas, São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Rio Grande do Sul, Paraná, Pará, Mato Grosso, Rio de Janeiro, Maranhão e Goiás.

Segundo Veiga et al. (2000), o papel do Brasil como produtor madeireiro e pólo de pesquisa florestal vem sendo concretizado há alguns anos. Devido à celulose de alta qualidade colocada no mercado internacional, às exportações de papel e de madeira como matéria-prima para indústrias, o Brasil conquistou respeitável colocação frente a outros produtores e consumidores de madeira na escala mundial.

Ainda conforme Veiga et al. (2000), o eucalipto concretizou no Brasil uma posição de destaque na obtenção de fibra curta, mais precisamente as espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*, dentre outras. Do total de polpa de celulose

obtida por processo de polpação (químico) produzidas em 1998, 80% foram de fibra curta de eucalipto contra 20% de fibra longa de *Pinus*.

2.2. Volume

O problema da determinação do volume de povoamentos ou populações florestais preocupa os pesquisadores desde o século passado, quando as florestas artificiais gradativamente foram tomando assento. Segundo Spurr (1952), essas florestas foram observadas como bens econômicos, passíveis de melhores técnicas de exploração, submissas a sólidos preceitos biológicos, fisiológicos e econômicos. A criação e implantação de tabelas de rendimento para estimas diretas de volume de madeira foi grande durante os séculos. Porém o uso da tabela torna-se pouco acurada para estimativas de volume médio de povoamentos com densidades populacionais inferiores a média.

Em virtude da crescente valorização da madeira como matéria-prima e como produto, a busca de estimativas precisas de volumes de madeira ganhou destaque e importância. Desta forma, inventários florestais são executados com o objetivo de fornecer estimativas, as quais podem ser traduzidas como a quantidade de madeira por unidade de área, bem como a sua distribuição dentro desta área (Silva et al., 2005). Segundo Leite & Andrade (2002), a quantificação do volume sólido em povoamentos florestais é imprescindível para a implementação de planos de manejo sustentável das florestas. Nesse contexto, o inventário florestal que consiste na medição de unidades amostrais, para extrapolar os resultados para área total, torna-se uma ferramenta imprescindível.

2.2.1. Cubagem rigorosa

A dendrometria é um ramo da ciência florestal que trata da medição de árvores, tanto do ponto de vista individual quanto do coletivo (Campos, 1993). Em dendrometria, o termo cubagem ou cubicagem designa o cálculo do volume do material lenhoso de uma árvore, uma pilha ou um povoamento florestal, sendo utilizados para tanto métodos de medição direta, indireta, estimativamente equacional, entre outros (Silva et al.,1984). De acordo com Belchior (1996), a cubagem rigorosa é o método direto de estimação do volume de árvores mais utilizado na rotina de inventários florestais e consiste na medição sucessiva de diâmetros ao longo do tronco dividindo-o em seções, conforme Figura 2.1.

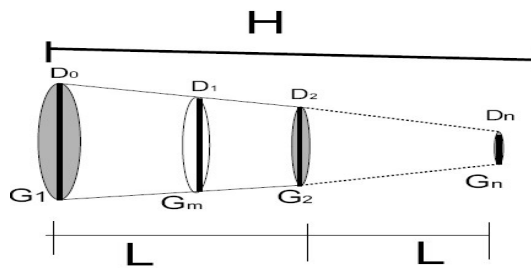


Figura 2.1-Tronco de *Eucalyptus*.

As seções têm seus volumes obtidos e somados para obtenção do volume total da árvore. Pode-se calcular o volume das respectivas seções com auxílio de expressões matemáticas, como as de Huber, Smalian e Newton.

a) Huber

$$V = G_m * L$$

b) Smalian

$$V = \frac{G_1 + G_2}{2} * L$$

c) Newton

$$V = \frac{G_1 + 4G_m + G_2}{6}$$

Em que: G_1 = área Basal da seção 1; G_2 = área Basal da seção 2; G_3 =área basal da seção 3 ; L = comprimento da seção.

2.2.2. Modelos volumétricos

A atividade de cubagem rigorosa é feita em separado das medições das unidades amostrais, o que gera aumento no custo do inventário. Desta forma se faz necessária a utilização de modelos volumétricos na tentativa de se obter estimativas do volume real da árvore.

Alguns dos modelos de uso corrente na modelagem volumétrica são apresentados aqui (Jorge, 1982; Fernandes *et al.*, 1983; Silva & Araújo 1984; Queiroz, 1984; Higuchi & Ramm, 1985; Couto & Bastos, 1987; Souza & Jesus, 1991; Scolforo *et al.*, 1994; Schneider & Tonini, 2003; Batista *et al.*, 2004).

1. $V = \beta_0 + \beta_1(DAP)^2 + \varepsilon$ - Kopezky-Gehrhardt
2. $V = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_2(DAP) + \varepsilon$ - Hohenaldl & Krenn
3. $LnV = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon$ -Husch
4. $LnV = \beta_0 + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2(DAP)^{-1} + \varepsilon$ -Brenac
5. $V = \beta_0 + \beta_1 d(DAP)^2 Ht + \varepsilon$ - Spurr
6. $V = \beta_0 + \beta_1 d(DAP)^2 + \beta_1 d(DAP)^2 Ht + \beta_3 Ht + \varepsilon$ -Stoate
7. $V = \beta_0 + \beta_1 d(DAP)^2 + \beta_2 d(DAP)^2 Ht + \beta_3 (DAP)Ht^2 + \beta_4 Ht^2 + \varepsilon$ - Näslund
8. $V = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_1(DAP)^2 Ht + \beta_3 (DAP)Ht + \beta_4 Ht(DAP)^2 + \beta_5 Ht + \varepsilon$ -Meyer
9. $V = \beta_0 + \beta_1(DAP) + \beta_1(DAP)^2 Ht + \beta_3 (DAP)Ht + \beta_4 Ht(DAP)^2 + \varepsilon$ -Meyer modificada
10. $LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln((DAP)^2 Ht) + \varepsilon$ - Logarítmico de Spurr
11. $LnV = \beta_0 + \beta_1 Ln(d(DAP)) + \beta_2 Ln(Ht) + \varepsilon$ -Log.Schumacher & Hall

12. $V = \beta_0 d(\text{DAP})^{\beta_1} \cdot Ht^{\beta_2}$

-Schumacher e Hall

Onde DAP= diâmetro (m) medido na altura do peito (1,30m) da árvore, Ht =altura total da árvore(m) e a variável dependente é o volume v com casca da árvore (m³).

2.2.3. Características dos modelos

Couto e Bastos (1987) estudaram diferentes modelos para estimar volume e peso seco (com e sem casca) comercial de *Pinus taeda*. Com base nos resultados, pôde-se concluir que o modelo de Spurr (1952) foi o que apresentou os melhores resultados para estimar volume e peso comercial, com e sem casca, para árvores com 6 anos de idade e para o total das árvores das duas idades estudadas.

Veiga et al. (2000), estudando equações para estimar o volume de árvores de *Acacia mangium* Willd, concluiu que o melhor modelo foi o de Meyer seguido do modelo de Schumacher na forma logarítmica.

Campos e Leite (2002) citam que o modelo de Schumacher e Hall (1939) têm sido o mais difundido, talvez por suas propriedades estatísticas, uma vez que resulta quase sempre em estimativas não-tendenciosas. Estes mesmos autores citam que a difusão do modelo de Spurr (1952), deve ser atribuída mais à facilidade do ajustamento, pois, com frequência, volumes de árvores menores são estimados com imprecisão.

2.3. Lógica *Fuzzy*

Lógica *Fuzzy* é uma teoria matemática que combina lógica multivalorada, teoria probabilística, Inteligência Artificial e Redes Neurais para que possa representar o pensamento humano. Foi criada por Lofti Zadeh professor de Engenharia e Ciências da computação da Universidade da Califórnia (Zadeh, 1965), ela pode ser entendida como uma generalização da lógica booleana que admite infinitos valores lógicos intermediários entre a falsidade e a verdade.

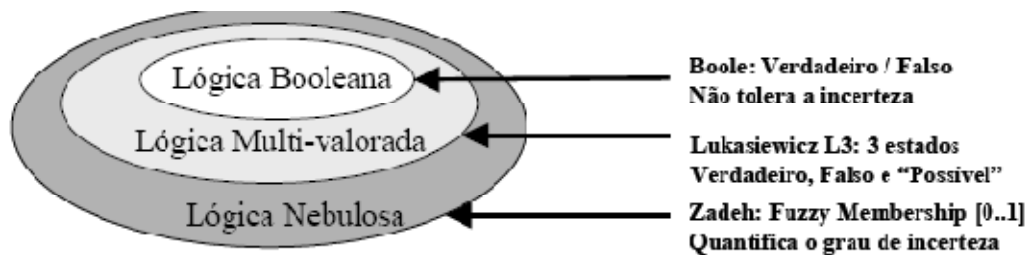


Figura 2.2-Hierarquia de Teorias Matemáticas.
Fonte: Bittencourt & Osório (2002).

Segundo Silveira et.al. (2004), a lógica *Fuzzy* possibilita tratar de um modo mais adequado expressões verbais, imprecisas, qualitativas, inerentes da comunicação humana, que possuem vários graus de imprecisão e pode sistematicamente traduzir os termos difusos da comunicação humana em valores compreensíveis por computadores. Já a lógica clássica possui uma fragilidade muito grande ao lidar com situações rodeadas de imprecisão, pois utiliza um conceito binário do princípio da não contradição em que só são aceitos dois valores, verdadeiro ou falso, não permitindo que ao mesmo tempo uma declaração seja parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa. Para lidar com isso de forma matemática, a lógica criada por Zadeh, é uma lógica em que o enfoque em relação aos valores foi modificado de forma a permitir tratar matematicamente os níveis de incerteza e ambigüidade. O conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com seu oposto, faz a lógica *Fuzzy* parecer natural, até mesmo inevitável.

A lógica difusa, como também é conhecida, vem tornando possível cada vez mais aproximar a máquina do raciocínio humano. E propondo soluções cada vez mais realistas a problemas que antes só o cérebro humano era capaz de interpretar e resolver (Santos, 2003).

Particularmente, a lógica *Fuzzy* tem sido apresentada na literatura como uma das tecnologias de inteligência artificial (IA) que efetivamente resolve com sucesso certa classe de problemas, devido à propriedade de extração (representação) de informações vagas e a capacidade de realizar inferências, fatos esses que faz com que a lógica Difusa também tenha encontrado grandes aplicações nas seguintes áreas:

- Sistemas Especialistas
- Computação com Palavras
- Raciocínio Aproximado
- Linguagem Natural
- Controle de Processos
- Robótica
- Modelagem de Sistemas Parcialmente Abertos
- Reconhecimento de Padrões
- Processos de Tomada de Decisão (decision making).

2.3.1. Conjuntos *Fuzzy*.

Os conjuntos da teoria clássica ou conjuntos ordinários também chamados de “crisp” são rígidos. Um determinado elemento pertence ao conjunto se satisfaz totalmente suas características, seguindo o princípio da não contradição. Caso contrário está fora do conjunto. Esses conjuntos são definidos por funções características. Os conjuntos *Fuzzy* por sua vez são caracterizados por funções de pertinência (*membership functions*) de cada elemento a um determinado conjunto.

Dado um conjunto A em um universo X , os elementos deste universo simplesmente pertencem a ou não pertencem àqueles conjuntos. Isto pode ser expresso pela função característica f_A :

$$f_A(X) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Zadeh (1965) propôs uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica de modo que ela pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo $[0,1]$. Um conjunto *Fuzzy* A em um universo X contínuo ou discreto, é definido por uma

função de pertinência $\mu_A(x): X \rightarrow [0, 1]$, onde $\mu_A(x)$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A .

A proposta de Zadeh (1965) foi flexibilizar a pertinência de elementos aos conjuntos criando a idéia de grau de pertinência. Dessa forma, um elemento poderia pertencer parcialmente a um dado conjunto (Zadeh 1965).

2.3.1.1. Representação

Para a manipulação de bases de conhecimento, é utilizada a expressão de linguagem do tipo “SE premissa (antecedente) ENTÃO conclusão (conseqüente)”, que formam um conjunto de regras de inferência. Esse tipo de expressão é o método mais comum para representar o conhecimento humano. O conjunto *Fuzzy* é representado por um conjunto de pares ordenado $A = \{\mu_A(x)/ x\} x \in X$

Se o universo X for discreto e finito, o conjunto *Fuzzy* é normalmente representado por meio da seguinte notação

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i$$

Se o universo X for contínuo, emprega-se muitas vezes a notação:

$$A = \int \mu_A(x)/ x$$

O símbolo “/” é apenas um separador entre a função fuzzy e a variável x e os símbolos \sum e \int são usados para representar a operação de união lógica, todavia não representam os operadores de somatório e de integração no senso comum. Para conjuntos nebulosos a definição só estará completa com o conhecimento do grau de pertinência de cada elemento.

Quanto mais perto de 1 for o $\mu_A(x)$, maior o grau de pertinência do elemento x com o conjunto *Fuzzy*. Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto *Fuzzy*, com diferentes graus de pertinência

Funções de pertinência podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva do usuário, mas é comum fazer-se uso de funções de pertinência padrão, como, por exemplo, as de forma triangular, trapezoidal, Gaussiana, crescentes e decrescentes como

mostrado na figura 2.3. Em aplicações práticas as formas escolhidas inicialmente podem sofrer ajustes em função dos resultados observados.

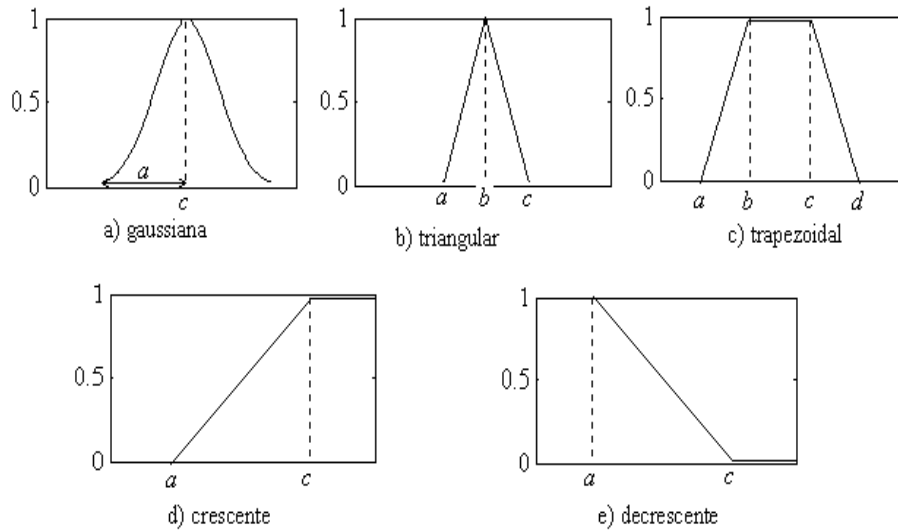


Figura 2.3-Tipos de funções de pertinência.
Fonte: Vale (2001)

2.3.1.2. Operações com Conjuntos

Há uma serie de operações envolvendo conjuntos *Fuzzy*. A exemplo das operações com conjuntos clássicos, os conjuntos *Fuzzy* realizam operações de união , intersecção e complemento.

Embora a união e a intersecção possam ser descritas também por meio de outros operadores, Zadeh estendeu a descrição com operadores $\min(\wedge)$ e $\text{Max}(\vee)$ para representação de intersecção e união *Fuzzy*, de modo que:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x)$$

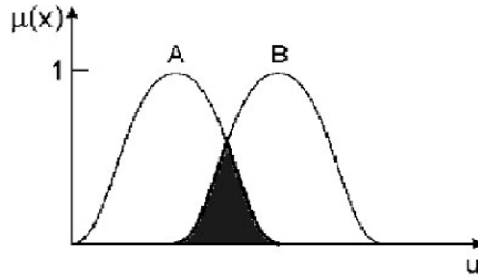


Figura 2.4-Interseção de Conjuntos *Fuzzy*.
Fonte: Elaborado pelo autor

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) \vee \mu_B(x)$$

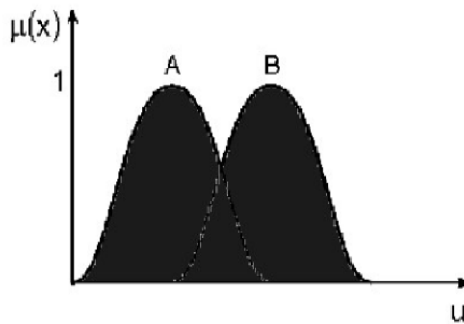


Figura 2.5-União de Conjuntos *Fuzzy*
Fonte: Elaborado pelo autor

Na operação de união de dois conjuntos *Fuzzy*, caracterizados por duas funções de pertinência, a nova função de pertinência toma o maior valor entre as funções dos dois conjuntos, $\text{Max}(\mu_A(x))$ para todo x . Na intersecção o valor tomado para formar a nova função de pertinência é o menor entre as funções de pertinência, $\text{Min}(\mu_A(x))$ para todo x (Tanaka, 1991). O valor da função de pertinência na operação de complemento é

$$\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x) \text{ Para todo } x$$

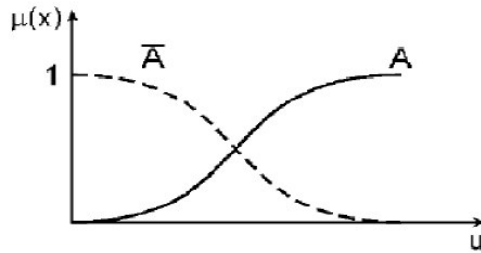


Figura 2.6-Conjunto complementar Fuzzy
Fonte: Ortega (2001)

Zadeh também sugeriu a soma algébrica [$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_{A \cap B}(x)$] para união *Fuzzy* e o produto algébrico [$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x)$] para a interseção *Fuzzy*.

2.3.2. Inferência *Fuzzy*

A inferência *Fuzzy* é a etapa na qual as proposições ou regras são definidas e depois examinadas paralelamente. Esta etapa engloba a definição das proposições a análise das regras e a criação da região resultante. As regras de inferência para a inferência *Fuzzy* são expressas no formato IF-THEN, se - então.

Segundo Jafelice (2003), as regras *Fuzzy* formam a parte da estrutura de conhecimento em um sistema *Fuzzy* de inferência. O método Mamdani e Takagi-Sugeno correspondem aos métodos diretos de inferência, onde a diferença básica entres esses dois modelos recai no tipo de conseqüente e no procedimento de defuzzificação.

De acordo com Jafelice et al. (2005), A etapa de inferência não apresenta limites bem definidos em relações a outras etapas do raciocínio *Fuzzy* . Segundo Mamdani (1974), a inferência engloba todo o processo desde a fuzzificação ate a defuzzificação.

A inferência *Fuzzy* é realizada num componente da arquitetura das etapas do raciocínio *Fuzzy* chamada Máquina de Inferência

2.3.2.1. Método de Inferência Mamdani.

Este modelo foi proposto, inicialmente como uma tentativa para controlar um conjunto de turbina a vapor/boiler, usando regras derivadas de um especialista humano. A figura 2.7 ilustra como uma saída Z de um sistema de inferência do tipo mamdani é gerada a partir das entradas x e y reais e a regra de composição max-min .

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)

A saída Z pertence a R é obtida pela defuzzificação do conjunto *Fuzzy* de saída $C=C^1 \cup C^2$ (Jafelice et. al., 2005).

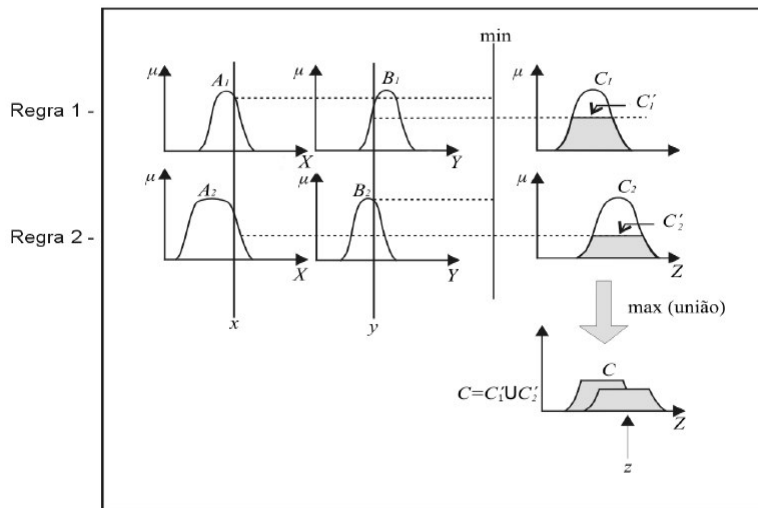


Figura 2.7-método de inferência Mamdani.

Fonte: Jafelice (2003).

2.3.2.2. Método de Inferência Takagi-Sugeno.

Quando há muitas variáveis na premissa o método de Mamdani apresenta dificuldades. O número de regras cresce exponencialmente com o número de variáveis da parte da premissa, o trabalho de construir as regras torna-se penoso devido ao grande aumento do número de regras a ser construído.

O modelo proposto por Sugeno (1985), utiliza funções lineares na parte do conseqüente ,não necessariamente é melhor do que o método de Mamdani. O método de Sugeno assume a modelagem, que requer dados de entrada e saída, e o processo de modelagem não é fácil de desenvolver. Por isso, para um pequeno número de variáveis da parte da premissa o método de Mamdani é preferível.

Outra característica do método de inferência *Fuzzy* criado por Sugeno é a possibilidade de identificar regras por modelagem baseada em dados de entrada e de saída (Tanaka, 1991). Este modelo foi proposto por Takagi, Kang e Sugeno (Takagi & Sugeno, 1985; Sugeno, 1985) e soluciona os problemas citados já que a construção de regras não é mais um procedimento manual.

2.3.3. Sistemas Baseados em Regras *Fuzzy*-(SBRF)

De acordo com Jafelice (2003), sistemas baseados em regras *Fuzzy* (SBRF) contém quatro componentes: Um processo de fuzzificação dos dados de entrada, uma coleção de regras, uma máquina de inferência *Fuzzy* e um processador de saída que fornece um número real como saída. Estes componentes estão conectados conforme Figura 2.7.

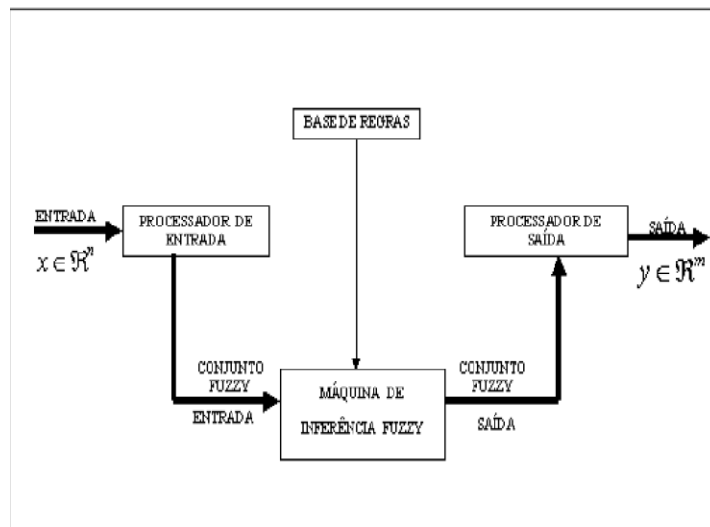


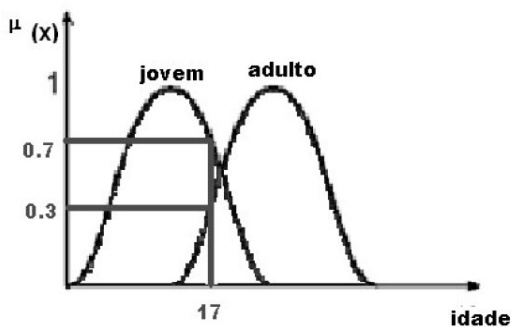
Figura 2.8-Sistemas Baseados em Regras *Fuzzy*(SBRF).

Fonte: Jafelice (2003)

Uma vez estabelecida uma base de regras, isto é como relacionamos os conjuntos *Fuzzy* pela forma SE...ENTÃO..., um SBRF pode ser visto como um mapeamento entre a entrada e a saída da forma $y = f(x), x \in R^n$ e $y \in R^m$. Esta classe de sistema é amplamente utilizada em problemas de modelagem, controle e classificação.

A etapa de *Fuzzificação* dos dados consiste na tradução dos dados de entrada do sistema em conjuntos *Fuzzy* e seus respectivos domínios, ou seja, é a etapa nas quais variáveis lingüísticas são definidas de forma subjetiva, bem como as funções de pertinência.

Por exemplo, uma pessoa de 17 anos ao mesmo tempo seria um pouco jovem(0.7) e um pouco adulta (0.3) apresentando maior pertinência ao conjunto nebuloso designado a idade jovem.



**Figura 2.9-Variável nebulosa idade formada por 2 termos nebulosos(jovem, adulto).
Fonte: Elaborado pelo autor.**

O Banco de regras é um componente que juntamente com a máquina de inferência, pode-se considerado o núcleo dos sistemas baseados em regras *Fuzzy*. É composto por uma coleção de proposições *Fuzzy* na forma SE...ENTÃO

Proposição não-condicional - X is Y

Proposição condicional - if W is Z then X is Y

Ele descreve as relações entre as variáveis lingüísticas para serem utilizadas na máquina de inferência *Fuzzy*.

Ná máquina de inferência neste que cada proposição *Fuzzy* é traduzida matematicamente por meio das técnicas de raciocínio aproximado. Os operadores matemáticos serão selecionados para definir a relação *Fuzzy* que modela a base de regras. Desta forma, a máquina de inferência *Fuzzy* é de fundamental importância para o sucesso do sistema *Fuzzy*, já que fornece a saída a partir de cada entrada *Fuzzy* e da relação definida pela base de regras (Santos, 2003).

A defuzzificação é a etapa de representação de um conjunto resultante-*Fuzzy* por um número real. Em sistemas em geral a saída é um conjunto *Fuzzy*. Assim se faz necessário a conversão da região resultante em um valor exato de saída. Nessa etapa ocorre a ligação entre as regras *Fuzzy* e o valor esperado, esse processo de obtenção do valor real se dá através de diversos métodos de defuzzificação dentre eles os mais comuns são o do Centróide, Bissetor, Média dos máximos, Maior dos máximos e Menores dos máximos (Mamdani, 1974).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, será esclarecido o tipo de pesquisa utilizada para a fundamentação dos conceitos apresentados nos capítulos anteriores e a descrição de como o estudo foi efetuado.

3.1. Tipo de pesquisa

Uma pesquisa é um processo de construção do conhecimento que tem por metas principais gerar novos conhecimentos e corroborar ou refutar algum conhecimento pré-existente. A pesquisa como atividade regular também pode ser definida como o conjunto de atividades orientadas e planejadas pela busca do conhecimento.

De acordo com Jung (2004), a pesquisa aqui realizada, por objetivar, principalmente a obtenção de novos princípios para substituírem ou contribuírem com os atuais, divulgar uma nova técnica para prognóstico do volume de *Eucalyptus*, através de conhecimentos básicos a respeito de variáveis relevantes ao tema, se caracteriza como uma pesquisa Básica quanto a natureza, exploratória quanto ao objetivo. E também se enquadra como uma pesquisa de caráter operacional quanto aos seus procedimentos, uma vez que a mesma tem por princípio a investigação de forma sistemática e racional dos processos envolvidos na realização de uma atividade produtiva com a finalidade de orientar a melhor opção para a tomada de decisões.

3.2. Obtenção dos dados

Os dados coletados correspondem à área plantada situada em Caravelas, Bahia. Utilizou-se um talhão com área de 4.31 hectares com 16 anos, com espaçamento inicial usado foi de 3x3 m com desbaste seletivo em 8,6 anos.

Para fins deste trabalho, foi feita a cubagem de 40 árvores para o ajuste do modelo. Foram obtidas duas medidas ortogonais, utilizando uma suta¹, do diâmetro na altura de 1,30 m e de diâmetros a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 25%, ... e 95 % da altura

¹ Instrumento utilizado na medida de diâmetro de árvores

total da árvore. O cálculo do volume com casca das seções foi feito empregando-se o método de Smalian.

3.3. Procedimentos metodológicos

A pesquisa foi realizada no período de fevereiro a julho de 2007.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre silvicultura aplicada a *Eucalyptus*, as técnicas utilizadas para modelagem volumétrica utilizando variáveis obtidas através da Cubagem, princípios da lógica *Fuzzy* e técnicas computacionais para o desenvolvimento e implementação do modelo proposto. Foram consultados livros, monografias, teses e dissertação disponibilizadas na Internet e na literatura de modo geral.

Posteriormente ao filtro dos dados relevantes dentro da base de dados em estudo foi implementado o modelo volumétrico utilizando lógica *Fuzzy*. Devido as características citadas anteriormente (seção 2.2.3) foram escolhidos os modelos Spurr e Schumacher para comparação.

O trabalho foi realizado no ambiente AMD Athlon(TM)XP 2200+, com 512MB de RAM, a plataforma utilizada para o desenvolvimento ,modelagem e revisão de literatura foi a plataforma Microsoft Windows XP[®] Professional versão 2002 Service Pack 2.

O aplicativo usado para o desenvolvimento da parte relacionada a lógica *Fuzzy* foi o *Fuzzy Logic Toolbox* versão 2.2 que faz parte do software MATLAB R2006b v.7.3.0.267[®].

3.4. Modelos comparados

Na literatura podem se encontrar diversos modelos que estimam o volume total das árvores. Para este trabalho foram testados dois modelos que são bem difundidos no meio florestal. A tabela 3.1 apresenta os modelos volumétricos tradicionais.

Tabela 3.1-Modelos comparados

Autor	Modelo
Schumacher e Hall (1939)	$V = \beta_0 . DAP^{\beta_1} . H^{\beta_2} . \varepsilon$
Spurr (1952)	$V = \beta_0 + \beta_1 DAP^2 H + \varepsilon$

3.5. Modelo proposto

O modelo proposto é um Sistema de lógica *Fuzzy* idealizada por Zadeh (Tanaka, 1991).

Em sua implementação na ferramenta MATLAB, deve-se fornecer uma matriz de dados composta de duas colunas que são respectivamente o DAP^2 (diâmetro na altura do peito, ao quadrado), e a altura total do *Eucalytpus* observado.

Neste trabalho escolheu-se o método direto de Mamdani para inferência, e definiu-se funções de pertinência em sete categorias relacionadas às variáveis $(DAP)^2$, altura total da árvore e volume total com casca, classificados em classes cuja unidade varia de forma crescente: Classe1, Classe2, Classe3, Classe4, Classe5, Classe6 e Classe7. Logo seu limite inferior e superior, ou seja, os menores e maiores valores das variáveis em questão se localizam nas classes 1 e 7, e os valores médios na classe 4.

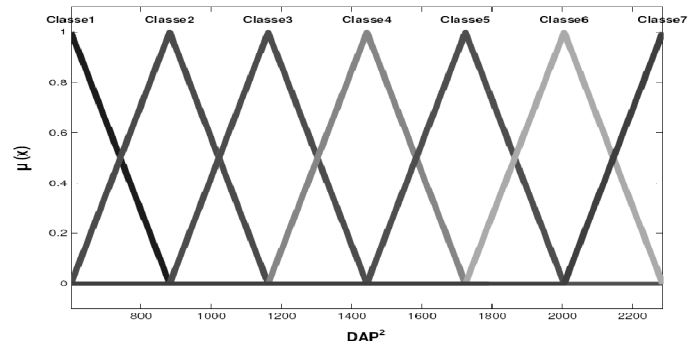


Figura 3.1-Conjuntos *Fuzzy* para a variável DAP^2

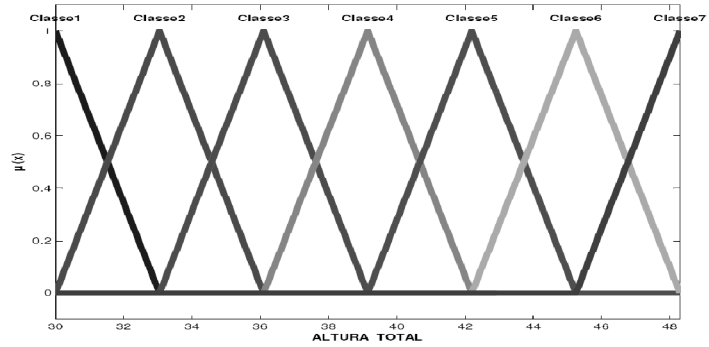


Figura 3.2-Conjuntos *Fuzzy* para variável altura –total

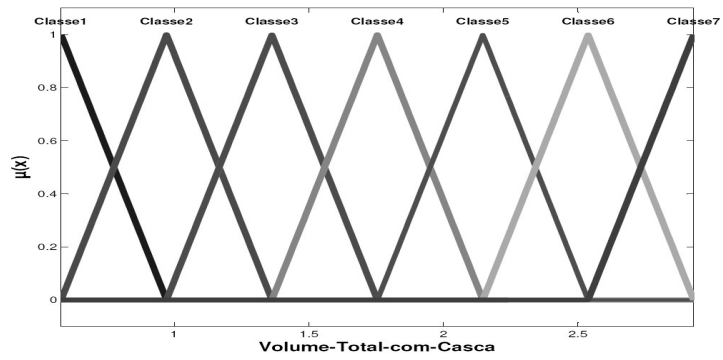


Figura 3.3-Conjuntos *Fuzzy* variável Volume-Total-com-casca (VTC).

Cada função de pertinência de cada variável corresponde a um conjunto Fuzzy. Dessa forma foi construída a máquina de inferência (Tanaka, 1997). As variáveis (DAP)² e altura total correspondem às premissas, a variável volume total com casca corresponde ao conseqüente. O sistema utilizou o operador de implicação “Min de Mamdani” por ser intuitivo, amplamente aceito e por traduzir melhor a experiência humana (Driankov et al., 1993), bem como o método de defuzzificação bissetor por mais se aproximar os valores estimados dos observados para o modelo em questão.

Dessa forma obteve-se um sistema de lógica *Fuzzy* com 21 regras de inferência (Tabela3. 2), de acordo com informações de especialistas.

Tabela 3.2-Tabela de Regras.

Regra Nº.	SE (DAP ² -cm)	E (altura total - m)	ENTÃO (VTC-m ³)
1	Classe6	Classe5	Classe6
2	Classe5	Classe5	Classe6
3	Classe2	Classe4	Classe2
4	Classe3	Classe5	Classe3
5	Classe3	Classe3	Classe3
6	Classe1	Classe2	Classe1
7	Classe4	Classe3	Classe3
8	Classe7	Classe4	Classe6
9	Classe3	Classe4	Classe3
10	Classe4	Classe4	Classe4
11	Classe4	Classe5	Classe4
12	Classe2	Classe3	Classe2
13	Classe2	Classe5	Classe2
14	Classe6	Classe6	Classe7
15	Classe5	Classe6	Classe5
16	Classe6	Classe4	Classe5
17	Classe2	Classe2	Classe2
18	Classe1	Classe3	Classe2
19	Classe3	Classe6	Classe4
20	Classe5	Classe7	Classe6
21	Classe7	Classe5	Classe7

O esquema que mostra as regras criadas operando sobre os conjuntos e suas funções de pertinência para determinados valores de entrada é o diagrama de inferência.(Figura 3.4). O sistema *Fuzzy* fica resumido de acordo com a Figura 3.5.

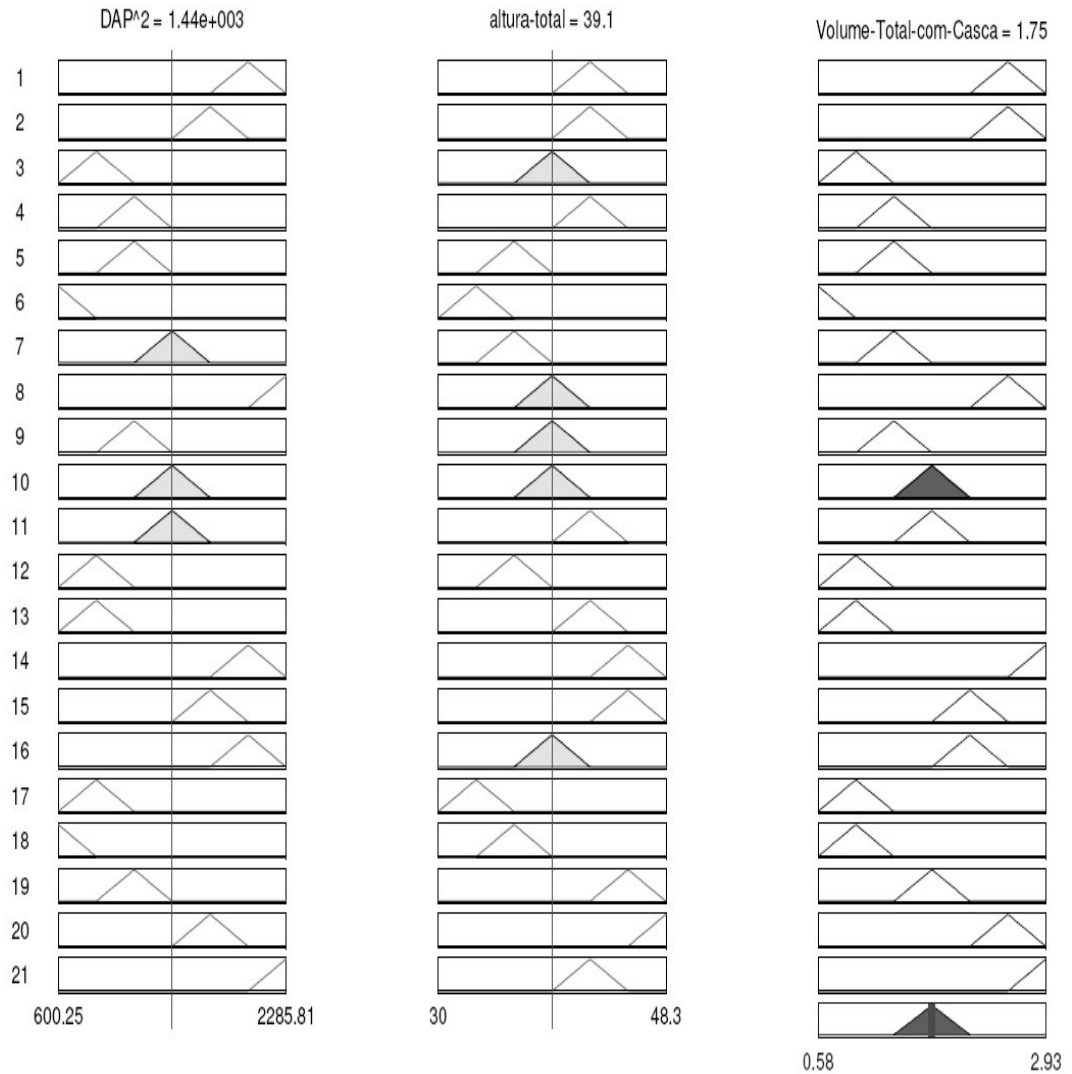


Figura 3.4-Diagrama de inferência “Fuzzy” utilizado para estimar o volume total com casca

Fonte: Elaborado pelo autor.

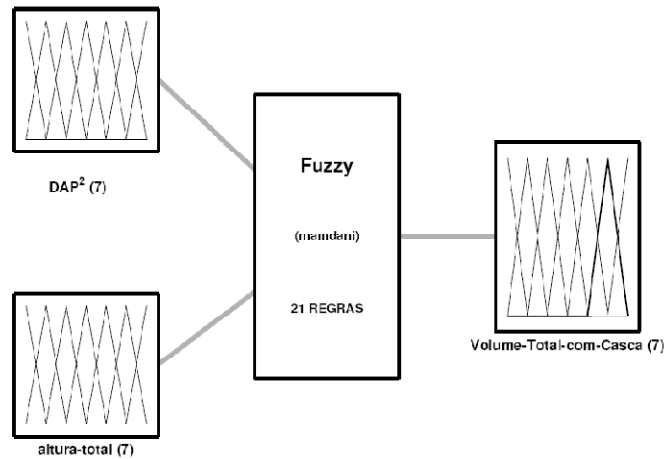


Figura 3.5-Resumo do sistema *fuzzy*.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.6. Avaliação dos modelos

A acuracidade mede o grau de ausência de erro ou grau de conformidade com o padrão. Existem diversas medidas de acuracidade que servem de base para validar um modelo.

Os modelos foram avaliados por meio das medidas estatísticas: coeficiente de correlação (r) e erro padrão residual ou erro padrão relativo ($S_{yx}(\%)$).

$$S_{yx}(\%) = \left(\sqrt{\frac{(Y - \hat{Y})^2}{(n - p)}} \right)$$

Em que

$S_{yx} \%$ = erro padrão relativo (m^3);

\hat{Y} = Volume total (m^3) estimado pela equação;

Y = Volume total (m^3) observado;

\bar{Y} = media do volumes total;

n=número de observações;

p = número de parâmetros (considerado 0(Zero) para *Fuzzy*).

Os modelos também foram comparados pela análise da distribuição dos resíduos (Pires, 2004). Os valores residuais utilizados na construção dos gráficos são expressos por:

$$Erro(\%) = \frac{Y - \hat{Y}}{Y} \cdot 100.$$

Foram, também, feitos testes complementares por meio das seguintes estatísticas *bias* (*B*); medida das diferenças absolutas (*MD*); desvio padrão das diferenças (*DPD*), conforme a tabela 3.3.

Tabela 3.3-Critérios para validação dos modelos

Critérios	Estimador
Bias(<i>B</i>)	$B = \frac{\sum_1^n Y_i - \sum_1^n \hat{Y}_1}{n}$
Média das diferenças absolutas(<i>MD</i>)	$MD = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i - \hat{Y}_i }{n}$
Desvio padrão das diferenças(<i>DPD</i>)	$DPD = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n d_i^2 \right) - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}}$

Onde $d_i = (Y_i - \hat{Y}_i)$.

A partir das estatísticas *B*, *MD* e *DPD*, procedeu-se a ordenação das funções segundo o maior ou menor grau de precisão, sendo atribuídos pesos de 1 a 4 de acordo com os resultados das estatísticas obtidas para cada modelo avaliado (Lima,1986 e Mendonça et al.,2006).

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação dos modelos

As equações estimadas para os modelos de Spurr e Schumacher e Hall com o conjunto de 40 árvores-amostra, são:

- $V = 0,0000070408.DBH^{1,71426}.H^{1,67735}$
- $V = 0,0718437+0,0000292DBH^2H$

Analisando o desempenho dos modelos (Tabela 4.1), observou-se que todos os modelos alcançaram bons resultados. Sendo que o modelo de Schumacher e Hall foi o que se mostrou mais acurado em relação aos de Spurr e o Fuzzy, mostrando melhores resultados de correlação e erro padrão relativo($S_{yx}\%$). Seguido pelo sistema *Fuzzy* o de Spurr.

Tabela 4.1- Correlação(r) e Erro Padrão dos relativo $S_{yx}\%$, dos modelos

Modelo	r	$S_{YX}(\%)$
Spurr	0,9704	9,48
Schumacher e Hall	0,9767	8,54
<i>Fuzzy</i>	0,9715	9,29

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3 apresenta as análises de resíduo para os modelos volumétricos.

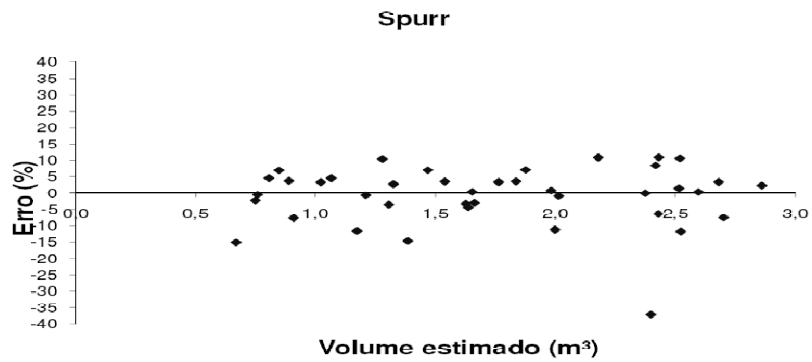


Figura 4.1- Distribuição dos resíduos do volume total em percentagem, em função do volume total estimado, para o modelo de Spurr

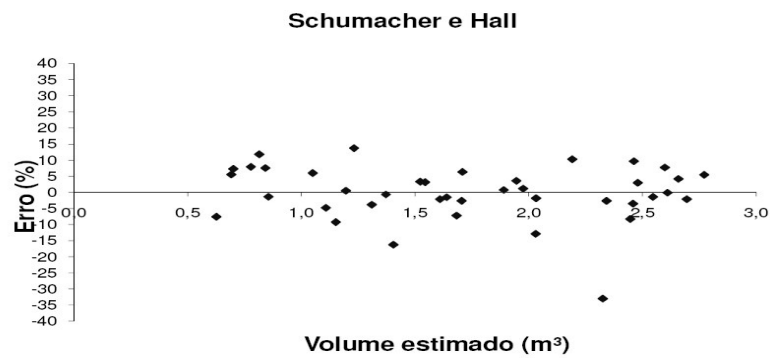


Figura 4.2- Distribuição dos resíduos do volume total, em percentagem, em função do volume total estimado, para o modelo de Schumacher e Hall.



Figura 4.3- Distribuição dos resíduos do volume total em percentagem, em função do volume total estimado, para o modelo *Fuzzy*

Analisando as Figuras 4.1, 4.2, 4.3 nota-se que os modelos de Spurr e Fuzzy não apresentaram estimativas tendenciosas. A distribuição dos resíduos apresentou na faixa de -15% a +15%. O modelo de Schumacher e Hall apresentou característica semelhante aos modelos de Spurr e Fuzzy, diferenciando a faixa de variação dos erros sendo de -10% a +10%. Percebe-se, também a presença de outliers nos modelos de Spurr, Schumacher e Hall e no modelo Fuzzy.

Segundo Scolforo (1997), os “outliers” são valores estranhos observados na análise residual, e esses só devem ser removidos, se e somente se, a anormalidade constatada não puder ser contornada.

A Tabela 4.2 apresenta as estatísticas referentes às estimativas do volume total em *Eucalyptus* SP.

Tabela. 4.2-Estatísticas “bias”(B), média das diferenças absolutas (MD) e desvio padrão das diferenças (DPD), para a estimativa do volume total de *Eucalyptus* sp.

Modelo	B	MD	DPD
Spurr	$3,03 \times 10^{-16}$	0,1078	1,0222
Schumacher e Hall	0,0019	0,0990	0,9090
Fuzzy	0,0068	0,1184	1,0148

Tabela. 4.3-Notas atribuídas a partir das estatística da Tabela 4.2

Modelo	B	MD	DPD	TOTAL
Spurr	1	2	3	6
Schumacher e Hall	2	1	1	4
Fuzzy	3	3	2	8

Como exemplo, a equação de Spurr tem para a bias (B) o valor $3,03 \times 10^{-16}$ (Tabela 4-2). Quando este valor é comparado com a B associada aos outros modelos, a nota atribuída a essa equação foi 1 (Tabela 4.3). Esse valor significa que, considerando o B, a equação de Spurr obteve a melhor estimativa em relação aos outros modelos avaliados, seguida, pela ordem, pelos modelos de Schumacher e Hall (Nota 2) e Fuzzy (Nota 3).

Segundo o raciocínio apresentado e analisando os dados das Tabelas 4.3 e 4.2, verifica-se que o modelo Fuzzy apresentou resultados inferiores para estimativa do volume total, seguidos dos modelos de Spurr e Schumacher e Hall.

Estes resultados, de maneira geral, corroboram os anteriormente encontrados, ou seja, r , S_{yx} (%) (Tabela 4.1) e as análises gráficas de resíduos (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3).

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Foi possível desenvolver e validar um Sistema de lógica 'Fuzzy' (SLF) para estimar o volume total com casca de árvores de *Eucalyptus*. sp. Considerando o SLF, a acurácia dos resultados depende da qualidade da modelagem, que por sua vez, está relacionada com o conhecimento da técnica, a experiência do especialista, a análise da literatura e dos dados. Assim, este tipo de abordagem é mais adequado quando esses requisitos estão disponíveis.

O resultado do SLF embora não tenha superado os dos modelos Spurr (1952) e Schumacher e Hall (1939) num primeiro instante, se mostrou acurado, e apresentou boas perspectivas de melhora nos resultados, conseqüente de um maior refinamento do modelo e um melhor emprego de todo o potencial da técnica em questão.

Como proposta de trabalhos futuros pretende-se melhorar o SLF por meio de um maior estudo da técnica e de mais variáveis relevantes a estimativa do volume. Com isso recomenda-se, também a implementação por meio de um software as funções do SLF para ampliar a aplicabilidade do modelo, tornando mais usual esta técnica, estabelecendo interface com o usuário.

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. C.; SILVA, R. M. A. ; OLIVEIRA, A. A. S. ; BARBOSA, J. C.; POZZA, E. A. ; ALVARENGA, G. B. *Fuzzy logic system modeling Asian soybean rust monocyclic process*. In: **6th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS'06) and 4th Conference on Neuro-Computing and Evolving Intelligence (NCEI'06)**, 2006, Auckland: AUT, 2006

BATISTA, J.L.F.; MARCHESINI, M.; VIANA, V.M. 2004. **Equações de volume para árvores de caixeta (*Tabebuia cassinoides*) no estado de São Paulo e sul do estado do Rio de Janeiro**. *Scientia Forestalis*, 65: 162-175

BELCHIOR, P. R. M. **Estimação de volumes total, de fuste e de galhos em mata secundária no município de Rio Vermelho, MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1996

BITTENCOURT, J. R.; OSÓRIO, F. **FuzzyF –Fuzzy logic Framework: Uma solução software livre para o desenvolvimento , Ensino e Pesquisa de Aplicações de Inteligência Artificial Multiplataforma**. São Leopoldo, UNISINOS, 2002.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G.. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407p.

CAMPOS, J.C.C. **Dendrometria: parte 1**. Viçosa: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1993. 43p. (Caderno didático, n.151).

CARVALHO, A. M. **Valorização da madeira do Híbrido *Eucalyptus Grandis* X *Eucalyptus Urophylla* através da produção conjunta de Madeira Serrada em pequenas Dimensões, celulose e Lenha**.2000.138 p Dissertação (Mestrado Ciência e Tecnologia de Madeiras)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

COUTO, H.T.Z.; BASTOS, N.L.M. 1987. **Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo**. *Revista Ipef*, 37: 33-44

DRIANKOV, D.; HELLENDORRN, H.; REINFRANK, M. **An introduction to Fuzzy control**. New York: Springer-Verlag, 1993. 316 p

FESSEL, V.A.G. **Qualidade, Desempenho operacional e Custo De plantios, Manual e Mecanizado, De *Eucalyptus grandis*, Implantados com cultivo mínimo do solo**. 2003. 105 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERNANDES, N.P., JARDIM, F.C.S.; HIGUCHI, N. 1983. **Tabelas de Volume para a Floresta de Terra-firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical**. *Acta Amazonica*, 13(3/4): 537-545.

HIGUCHI, N.; RAMM, W. 1985. **Developing bole wood volume equations for a group of tree species of central amazon (Brazil)**. *Commonw. For. Rev.*, 64(1): 33-41.

JAFELICE, R. S. M.; BARROS, L. C.; BASSANEZI, R. C. **Teoria dos Conjuntos Fuzzy com Aplicações** – São Carlos, SP – Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2005.

JAFELICE, R. (2003). **Modelagem Fuzzy para Dinâmica de Transferência de Soropositivo para HIV em Doença Plenamente Manifesta**. PhD thesis, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

JORGE, L.A.B. 1982. **Equações de volume comercial com casca em floresta tropical pluvial no norte do Espírito Santo**. *Silvicultura em São Paulo*, 16(1): 456-467.

JUNG, C. F. **Metodologia para Pesquisa & Desenvolvimento** – Rio de Janeiro, RJ : Axcel Books do Brasil Editora, 2004.

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

LEITE, H. G.; ANDRADE, V. C. L. de. **Um método para condução de inventários florestais sem o uso de equações volumétricas.** Revista *Árvore*, v.26, n.3, p.321-

328, 2002

LIMA, F. **Análise de funções de “taper” destinadas à avaliação de multiprodutos de árvores de *Pinus elliottii*.** 1986. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

ORMEROD, D.W. **A simples bole model.** The Forestry Chronicle, V. 49, n. 3,p .136-138, 1973

LOPES, W. A.; JAFELICE, R. S. M. **Modelagem Fuzzy de Diagnóstico Médico e Monitoramento do Tratamento da Pneumonia.** Uberlandia, Brasil Universidade Federal de Uberlandia, 2002.

MACHADO, S. A.; FILHO, F. A. **Dendrometria.** 2.ed. Guarapuava:Unicentro,2006.316p.

MAMDANI, E. H. 1974. **Applications of Fuzzy algorithms for control of a simple dynamic plant.** *Proceedings IEEE*, 121, 12; 1585-1588.

MENDONÇA, A. R. **Avaliação de uma Metodologia para Otimização do Volume de Toras Comerciais de *Eucalyptus sp.* em Função da Qualidade do Fuste.** 2006.109f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre. 2006

ORTEGA, N. R. S. **Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas de Biomedicina.** 166f. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, São Paulo 2001.

PIRES, L. M. **Ajuste e Diagnóstico de Modelos Estocásticos Lineares e Não-Lineares para a Descrição do Perfil Longitudinal de Árvores –** Dissertação de Mestrado, UFLA, 2004.

QUEIROZ, W.T. **Análise de fatores pelo método da máxima verossimilhança: aplicação ao estudo da estrutura de florestas tropicais.** Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicaba, 1984.

RIBEIRO, N.; SITEO, A. A.; GUEDES, B. S.; STAISS, C. **Manual de Silvicultura Tropical.** Maputo: UEM, 2002. 130p.

SANTOS, G. J. C. **Lógica Fuzzy** – Monografia de conclusão do curso de Matemática da Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC, 2003.

SCHUMACHER, F.X.; HALL, F.dos. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.47, n.9, p.719-734, 1939.

SCHUMACHER, M. V.; CALIL, F. N.; VOGEL, H. L. M. **Silvicultura Aplicada.** Santa Maria: UFSM, 2005. 120p.

SCHNEIDER, P.R.; TONINI, H. 2003. **Utilização de variáveis dummy em equações de volume para *Acacia mearnsii* De Wild.** *Ciência Florestal*, 13(2): 121-129.

SCOLFORO, J. R. S **Biometria florestal 2:Técnica de regressão aplicada para estimar: volume, biomassa, relação hipsométrica e múltiplos produtos de madeira.** Lavras: UFLA/FAEPE ,1997.292P.

SCOLFORO, J.R.S.; MELLO, J.M.; LIMA, C.S.A. 1994. **Obtenção de relações quantitativas para estimativa de volume do fuste em floresta estacional semidecídua montana.** *Cerne*, 1: 123-134

SILVA, M. C.; SOARES, V. P.; PINTO, F. A. C.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, C. A. A.S. 2005 **Determinação do volume de Madeira empilhadas através de processamento de imagens digitais.** *Scientia Forestalis* 69:p.104-114

SILVA, R. M. A.; ALVES, M. C.; OLIVEIRA, A. A. S. ; BARBOSA, J. C. ; POZZA, E. A. ; ALVARENGA, G. B. . *Neuro-Fuzzy modeling coffee rust monocyclic process*. In: **6th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS'06) and and 4th Conference on Neuro-Computing and Evolving Intelligence**, Auckland : AUT, 2006.

SILVA, J.N.M.; ARAÚJO, S.M.A. 1984. **Equação de volume para árvores de pequeno diâmetro na Floresta Nacional do Tapajós**. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 8/9: 16-25.

SILVEIRA, A. M.; FURTADO, A. B.; OLIVEIRA, R. C. L.; COSTA, T. **Indeficação de Abordagens Administrativas**:Belém: EFPA,2004. 10p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Setor florestal brasileiro**.Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatísticas.htm>>. Acesso em: 21 jun. 2007.

SOUZA,F. J. **Modelos Neuro-Fuzzy Hierárquicos**.181f. Tese de Doutorado, PUC/Rio,1999.

SOUZA, A.L.; JESUS, R.M. 1991. **Equações de volume comercial e fator de forma para espécies da Mata Atlântica ocorrentes na reserva florestal da Companhia Vale do Rio Doce**, Linhares-ES. *Revista Árvore*, 15(3): 257-273

SPURR, S. H. **Forest inventory**. New York:The Ronald Press, 1952. 476p.

SUGENO, M. **Industrial applications of Fuzzy control**. New York: Elsevier Science, 1985.

TAKAGI T. e SUGENO M. (1985). “**Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control**”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 15, No. 1, pp.116-132.

TANAKA, K. **An Introduction to *Fuzzy Logic* for Practical Applications.** Kanazawa, Japão. Kanazawa University, 1991.

TIBIRIÇÁ, G. **Uma Abordagem Híbrida *Fuzzy-Bayesiana* para Modelagem de Incertezas.** Florianópolis, Brasil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

VALE, M. N. **Fuzzy Rules 2001: Sistema de Inferência Fuzzy com Geração Automática de Regras.** Monografia de conclusão do curso de Ciências da computação da Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, 2001.

VEIGA, R. A. de A.; CARVALHO, C. M. de; BRASIL, M. A. M.. **Determinação de equações de volume para árvores de *Acacia mangium* Willd.** *Cerne*. Lavras, v.6, n.1, p.103-107, 2000.

ZADEH, L. A. 1965. *Fuzzy sets. Information And Control* 8; 338-353