

**PIP/CA - Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação**  
**Mestrado em Computação Aplicada da UNISINOS**

2000/1 - 2o. Trimestre - AULA 04 / FSO

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL**  
**&**  
**SISTEMAS INTELIGENTES**

• **Professores Responsáveis:**

**Parte I - Profa. Dr. Renata Vieira**

Web: <http://www.inf.unisinos.br/~renata/iam.html>

**Parte II - Prof. Dr. Fernando Osório**

E-Mail: [osorio@exatas.unisinos.br](mailto:osorio@exatas.unisinos.br)

Web: <http://www.inf.unisinos.br/~osorio/ia.html>

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

**TEMAS DE ESTUDO:** Uso da *INCERTEZA nos SISTEMAS INTELIGENTES*

*Fuzzy Sets*

*Fuzzy Logic / Lógica Nebulosa*

*Fuzzy Inference Systems -FIS*

- **Conceitos Básicos:**
  - > Lógica Booleana, Lógica Multi-Valorada, Lógica Fuzzy
- **Fuzzy Sets:** Membership Value, Membership Function
- **Representação Gráfica** da “Fuzzy Membership Function”
- **Variáveis Lingüísticas e Valores Lingüísticos**
- **Approximate Reasoning / Fuzzy inference:**
  - > Operadores - E / Interseção, OU / União, NOT / Complemento, Igualdade
  - > Métodos de Combinação e Propagação do Valor da Confiança (Confidence)
- **Métodos de “Defuzzification”**
- **Controle Fuzzy:** Regras de Mandami, Regras de Sugeno
- **Exemplos de FIS (Fuzzy Inference Systems):**  
ES (?), FuzzyCLIPS, Cubicalc /HyperLogic, ExSys / MultiLogic
- **Temas de Pesquisa relacionados aos Sistemas de Lógica Nebulosa (Fuzzy)**

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

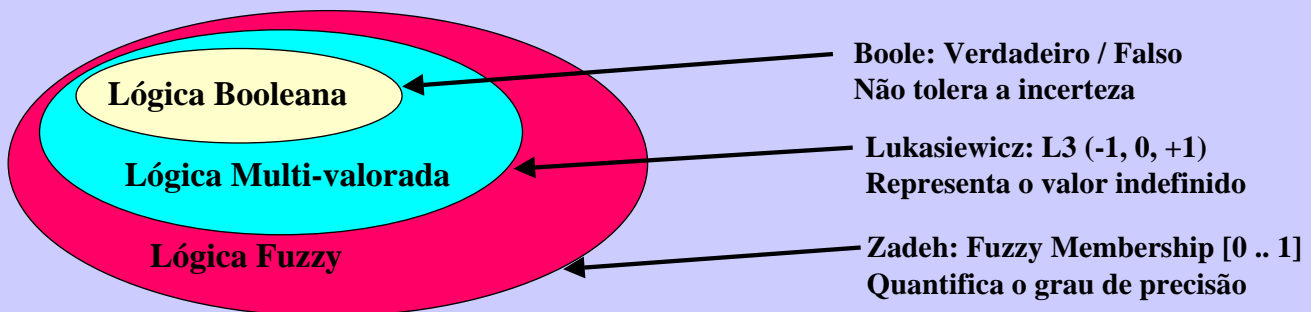
## FUZZY LOGIC / LÓGICA NEBULOSA: Conceitos Básicos

*Histórico:* Lofti Zadeh 1968 .. 1973

*Logic* = Science of the normative formal principles of reasoning

*Fuzzy Logic* = Formal principles of approximative reasoning

Representação do Conhecimento Especialista:



*Fuzzy Logic:* Usada para modelar processos de decisão

Usada para controle de máquinas e processos

Descrever / Quantificar / Medir => Raciocínio Humano => L.N.

*Fuzzyness* = Defined as ... “a type of imprecision which is associated with...

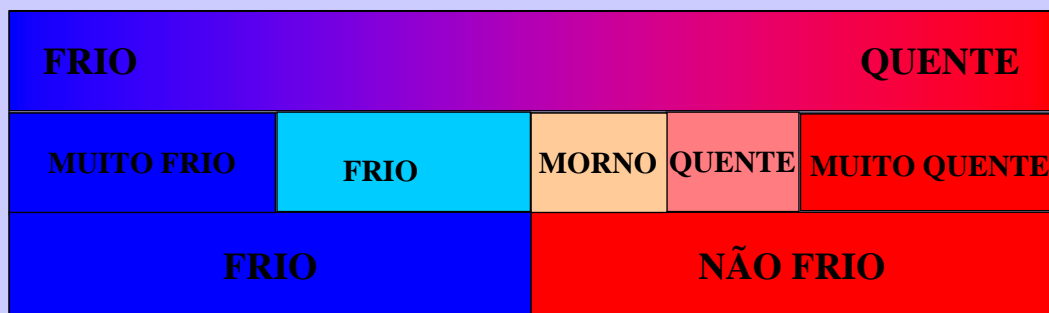
classes in which there is no sharp transition from membership to non-membership”

( 0 ) não é <====> é ( 1 )

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## FUZZY LOGIC / LÓGICA NEBULOSA: Conceitos Básicos

*Nebulosidade...*



*Nebulosidade não é Probabilidade [Eberhart]*

**Probabilidade:** Previsão futura, após ocorrido o fato, este deixa de ser uma probabilidade.

“Close World Model” = Modelo ser bem definido. Soma =  $P(X) + P(\neg X) = 1.0$

Uso da frequência estatística como modelo para previsão (Bayes).

Usualmente as variáveis tem que ser independentes.

“It doesn’t imply that probability is useless... Probability is appropriate for randomly-governed occurrences”

**Fuzzyness:** Medida de alguma coisa. Fato ocorrida ou previsão futura.

- Exemplos: O grau de força da chuva é independente da noção de previsão se vai chover...

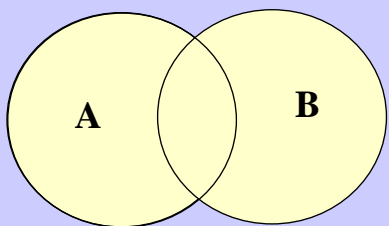
$P_{chuva}(0.2)$  = Indica uma probabilidade de 20% de ocorrer chuva e **80% de não chover!**

Regra Fuzzy = Deve chover, com uma certeza de 0.2, uma chuva fraca (nível de chuva 0.1)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## FUZZY SETS:

### • Definindo um Conjunto Nebuloso...

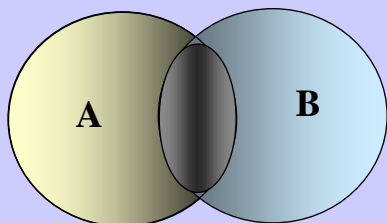


*Diagrama de Venn:*

Conjunto A, Conjunto B

Operações:  $A \cup B$ ,  $A \cap B$ ,  $\neg A$ ,  $\neg B$

Fronteiras: bem definidas, inflexíveis!



*Fuzzy Set:*

Membership Value / Valor de Pertinência

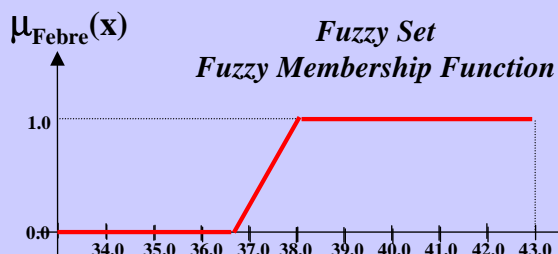
$$\mu_A(X) = m \quad \text{onde} \quad 0 \leq m \leq 1$$

$m = 1.0$  se X pertence ao conjunto A

Exemplo:

$$\mu_{\text{alto}}(\text{Objeto}) = 1.0 \dots 0.7 \dots 0.5 \dots 0.3 \dots 0.2$$

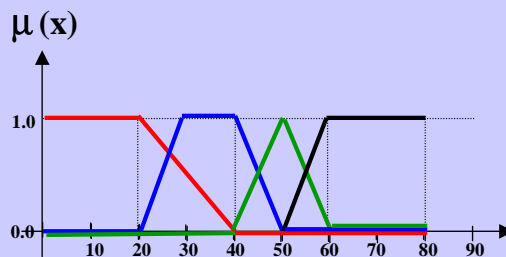
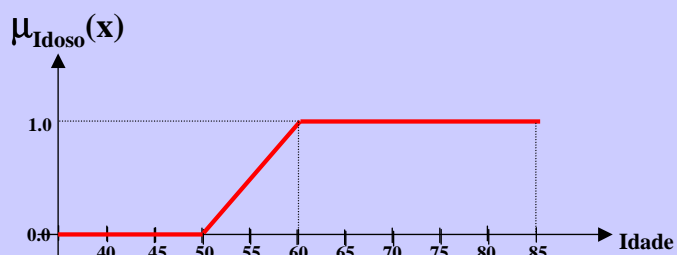
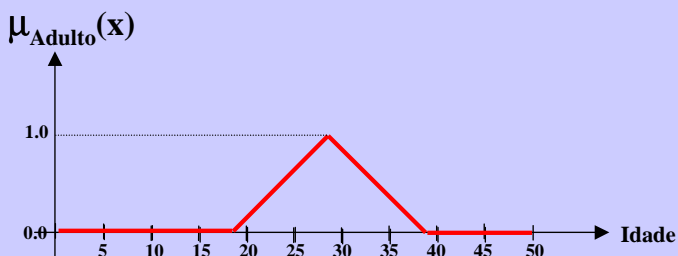
- Membership Value
- Membership Function



**Febre:**  
1.0 = Muito Alta  
0.5 = Alta  
0.3 = Pouco Alta  
0.1 = Baixa

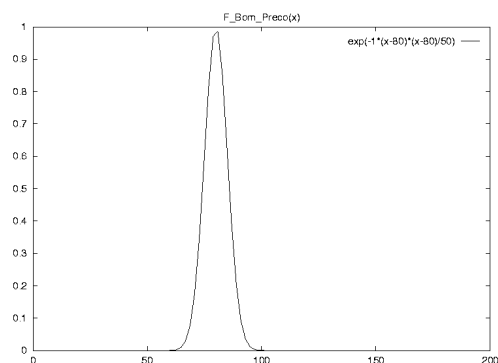
F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## FUZZY SETS: Membership Function Representação Gráfica



### Membership Function:

- A função que define o conjunto nebuloso pode ser linear, não linear, normal, gaussiana, ascendente, descendente, forma de "S" (sigmoid), normalizada, definida por pontos, ...



## FUZZY SETS: Variáveis Lingüísticas - Valores Lingüísticos

Linguistic Variables = “A variable whose value are words or sentences in a natural or artificial language”

- Uma variável lingüística é uma variável que pode assumir um valor lingüístico
- Um valor lingüístico é um par VL(adjetivo, fuzzy\_set)

Exemplos: VL(jovem,  $\mu_{\text{Jovem}}$ )

VL(adulto,  $\mu_{\text{Adulto}}$ )

Associa nomes e conj. de valores

Adjetivos: um pouco quente

muito quente

extremamente quente

\* Categorias de variáveis lingüísticas:

- Quantidade / Quantification terms : all, most, many, about half, few, no
- Frequência / Usuality terms : always, frequently, often, occasionally, seldom, never
- Probabilidade / Likelihood terms : certain, likely, possible, uncertain, unlikely, certainly not

*Linguagem Natural / Senso Comum:* homem alto, homem baixo, homem muito alto

> Possibilidade de fazer um mapeamento entre uma representação escrita e o seu significado numérico!

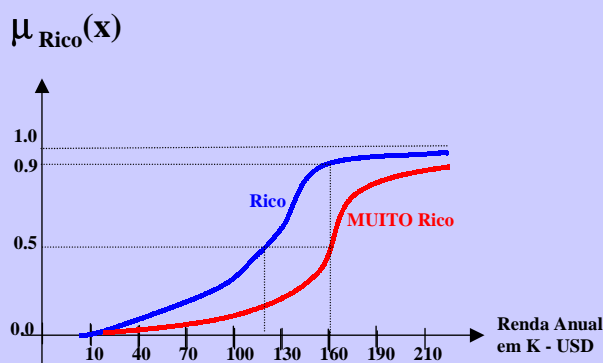
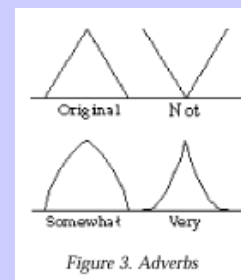
*Senso Comum* => “Crenças sobrevivem justamente porque independem da estatística” [L.F.V. 06/08/00]  
;^)

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## FUZZY SETS: Variáveis Lingüísticas - HEDGES

*Hedges* = “Limitantes” - Possibilidade de modificar ou qualificar as variáveis lingüísticas

- Intensify: very, extremely
- Dilute: about, somewhat, sort of, generally
- Probability: probably, not very likely
- Approximate a number: exactly
- Express quantities: many, most, seldom



\* Alteram a interpretação da Fuzzy Membership Function

- Deslocar
- Ampliar a área de *SUPORTE*
- Reduzir

\* Suporte de um conjunto fuzzy:

$SUP(A) = \text{Zona na qual } \mu_A(x) > 0$   
Intervalo: [min, max]

\* Envelope: Região interna definida pelos limites da função de pertinência

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## FUZZY SETS: Regras Fuzzy

*Fuzzy Rules => Expert System / Rule Based System:*

**IF** temperature is low **THEN** oil viscosity is high

**IF** temperature is high **AND** pressure is normal **THEN** amount to add is high

**IF** input temperature > 70°C **THEN** input water is too hot

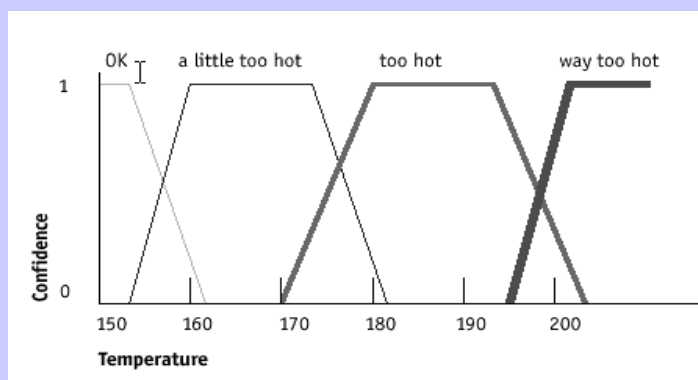
**IF** input water is too hot **THEN** mix cold water with the input stream

**IF** input water is *too* hot **THEN** amount of cold water to add to the input is a *medium*

**IF** input water is a *little* too hot **THEN** amount of cold water to add to the input is a *little*

**IF** input water is a *way* too hot **THEN** amount of cold water to add to the input is a *lot*

**IF** input water is *OK* **THEN** amount of cold water to add to the input is *none*



Temp => OK [0..160]  
 Temp => little too hot [150..180]  
 Temp => too hot [170..210]  
 Temp => way too hot [195..End]

**Too Hot : Fuzzy Set Definition**  
 170=0 // 180=1 // 195=1 // 205=0

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## FUZZY LOGIC: Fuzzy Inference

\* *Raciocínio Nebuloso - Approximate Reasoning:*

- Operadores Fuzzy: As operações com conjuntos fuzzy muitas vezes podem ser realizadas de diferentes modos.
- O importante é que estas operações respeitem algumas restrições básicas: satisfazer t-norms, t-conorm, extensão das operações Booleanas [Cechin]

• E / Interseção

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min} (\mu_A(x), \mu_B(x))$$

*Diferenciável*

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{SoftMin}(x,y) = \frac{X \cdot \text{Exp}(-K \cdot X) + Y \cdot \text{Exp}(-K \cdot Y)}{\text{Exp}(-K \cdot X) + \text{Exp}(-K \cdot Y)}$$

$$K = \text{Conste.} > 0$$

• OU / União

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max} (\mu_A(x), \mu_B(x))$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{SoftMax}(x,y) = \frac{X \cdot \text{Exp}(K \cdot X) + Y \cdot \text{Exp}(K \cdot Y)}{\text{Exp}(K \cdot X) + \text{Exp}(K \cdot Y)}$$

• NEGAÇÃO / Complemento

$$\mu_{\text{Not-A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

A	B	A OR B max(A,B)	A AND B min(A,B)
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1
0.9	0.1	0.9	0.1

• Igualdade, Conjunto Contido, Implicação, Combinação Fuzzy...

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

**FUZZY LOGIC: Fuzzy Inference**

\* *Raciocínio Nebuloso - Approximate Reasoning:* ***Múltiplos Métodos podem ser usados!***  
 Descrição dos métodos usados junto ao Sistema ExSys (CF default / Fuzzy)

**- Atribuição da confiança em uma questão - IF**

- Se a questão é respondida diretamente pelo usuário ou o valor é setado externamente  
Então Confidence = 1.0
- Se a questão é definida por uma função de pertinência fuzzy e uma variável associada a esta  
Então Confidence =  $\mu_A(x)$
- Se a questão é define uma escolha na parte THEN da regra  
Então Confidence = propaga a parte IF da regra combinada com Confidence da parte THEN

**- Avaliação dos antecedentes => Cálculo do Confidence Value (combinar) - IF**

Fórmula de combinação:

**Combined\_Conf = Combined\_Conf + (Confidence \* (1 - Combined\_Conf) )**  
 Combined\_Conf começa com 0.0 *Default Method*

Exemplo: Supondo *Red* =0.8, *Blue* = 0.6 e a regra *IF color is red OR color is blue ...*

**Combined\_Conf = 0.0 + 0.8 \*(1-0) = 0.8**

Alternativa:

**Combined\_Conf = 0.8 + 0.6\*(1-0.8) = 0.92**

*Fuzzy MinMax* = 0.8

**FUZZY LOGIC: Fuzzy Inference**

\* *Exemplo:*

**IF [X] > [Y] and The color is red or blue or Temperature is high or Today is Monday and [Z] > 0.5**

**Supondo: Red = 0.8 / Blue = 0.6 / [X] = 0.7 / [Y] = 0.8 / Temp High = 0.85 / Today is Friday / [Z] = 0.9**

*Default:*

**The color is red or blue OR Temperature is high OR Today is Monday => 0.988 (0.92 / 0.85 / 0 )**

**[X] > [Y] = 0.7 \* 0.8 = 0.56**

**[Z] = 0.9**

**FINAL = 0.988 \* 0.56 \* 0.9 = 0.498**

*Fuzzy MinMax:*

**The color is red or blue OR Temperature is high OR Today is Monday => 0.8 (0.8 / 0.85 / 0.0)**

**[X] > [Y] = 0.7 (0.7 / 0.8)**

**[Z] = 0.9**

**FINAL = 0.8 / 0.7 / 0.9 = 0.7**

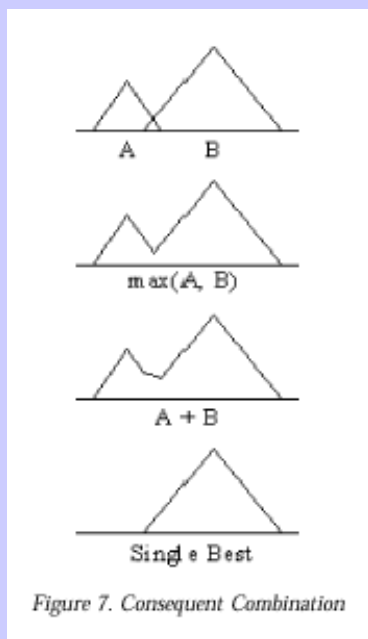
Reliability is good	Reliability is okay	Warranty is long	Warranty is very long	Reliability is okay and Warranty is very long	Reliability is good or (Reliability is okay and Warranty is very long)
0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5
0.75	0.5	0.5	0.25	0.25	0.75
0.5	.9	0.9	0.81	0.81	0.81
0.5	0.9	1.0	1.0	0.9	0.9

Figure 5. Evaluating Antecedents

## **FUZZY LOGIC: Fuzzy Inference**

\* *Raciocínio Nebuloso - Approximate Reasoning: **Múltiplos Métodos podem ser usados!***  
Descrição dos métodos usados junto ao Sistema CubiCalc (ExSys - Vide CF)

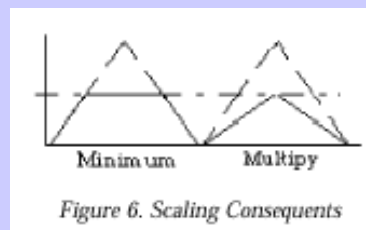
- Combinação de conseqüentes => Cálculo da Combinação das Regras / Escalar - THEN



**Regras com Combinação de conseqüentes:**

**IF A is Large THEN C is Small**  
**IF B is Small THEN C is Small**

**Escalar os Conseqüentes:**



F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## **FUZZY LOGIC: Defuzzification**

\* *A defuzzyficação consiste em realizar um mapeamento do espaço do conjunto fuzzy para um valor preciso (crisp value = valor numérico).*

O processo de defuzzyficação pode ser feito segundo diferentes métodos: [Cechin]

- Máximo
- Média dos Máximos (MOM)
- Média local dos Máximos
- Centro de Gravidade (Centroide)
- Centro da Área
- Centro da Média

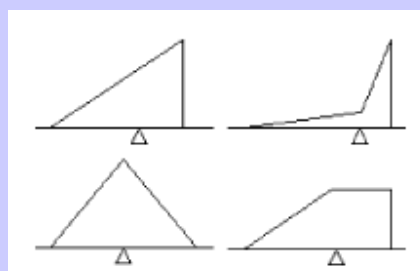


Figure 8. Centroids

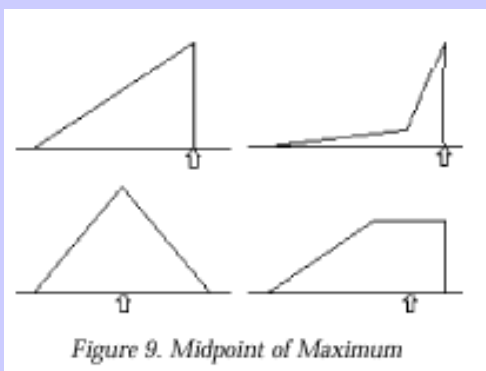


Figure 9. Midpoint of Maximum

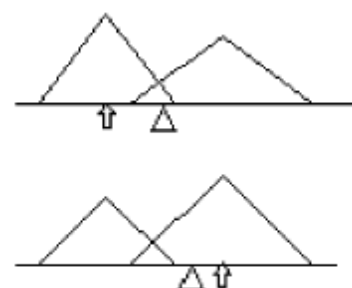


Figure 10. Max-height vs. Centroid

F. OSÓRIO - UNISINOS 2000

## TEMAS DE PESQUISA SOBRE SISTEMAS ESPECIALISTAS:

### \* PAPERS / DOCUMENTAÇÃO:

- **FAQ:** <http://www.faqs.org/faqs/fuzzy-logic/>  
<http://www.faqs.org/faqs/fuzzy-logic/part1/>  
<http://www.cs.cmu.edu/Web/Groups/AI/html/faqs/ai/fuzzy/part1/faq.html>
- **Computational Intelligence Tools / Russ Eberhart, Pat Simpson, Roy Dobbins**
- **Expert Systems / Chris Nikolopoulos**
- **The Extraction of Fuzzy Rules form Neural Networks / Adelmo Cechin**
- **Web: HyperLogic - Cubicalc / MultiLogic - ExSys**

### \* ASSOCIAÇÃO:

Association for Uncertainty in Artificial Intelligence - <http://www.auai.org/>

### \* TEMAS IMPORTANTES:

- **Definição dos fuzzy sets / fuzzy membership function (ajuste fino)**
- **Manipulação de regras fuzzy: Inferência Fuzzy, Defuzzyfication**
- **Aprendizado de regras fuzzy**
- **Integração da lógica fuzzy aos sistemas convencionais**