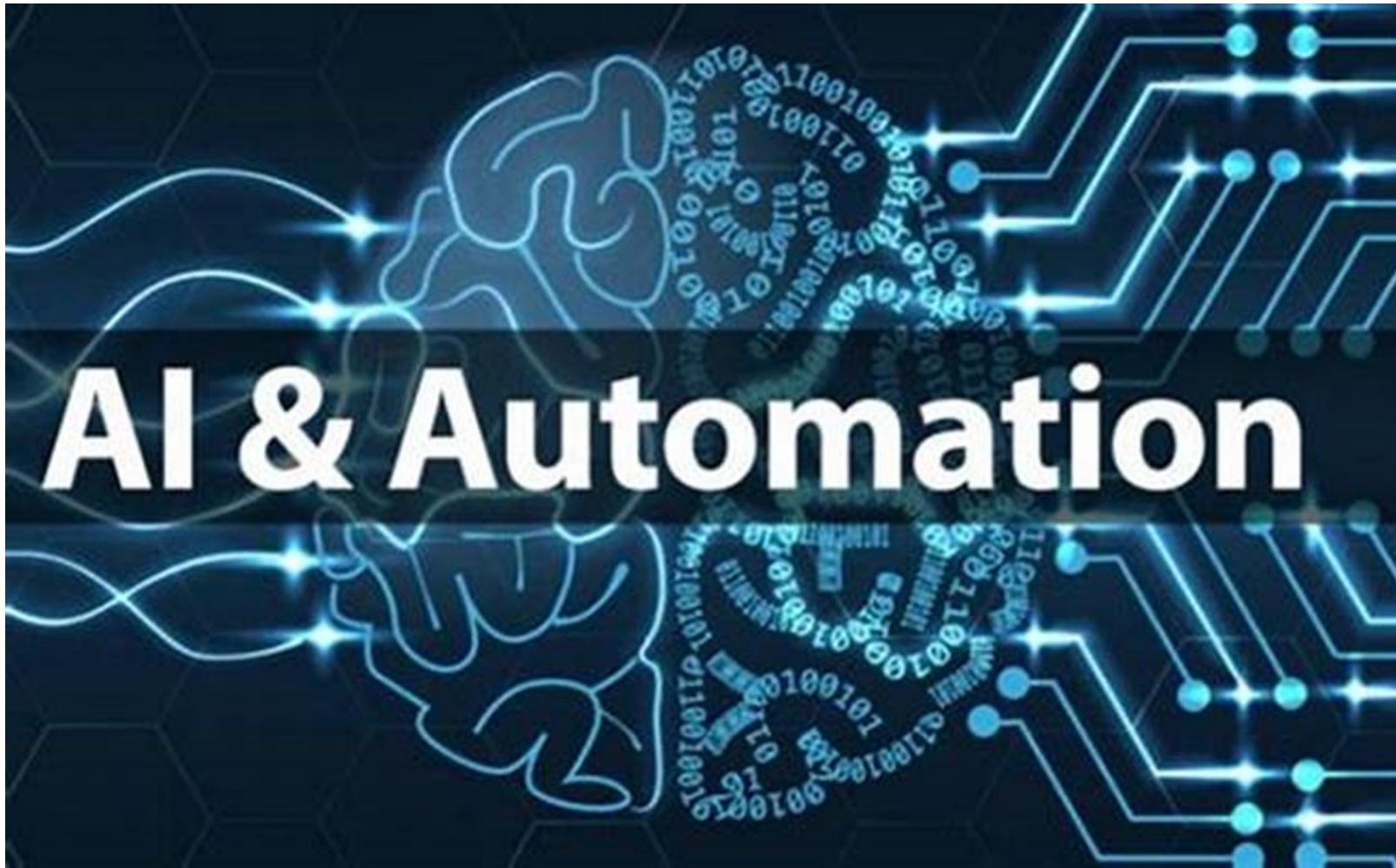


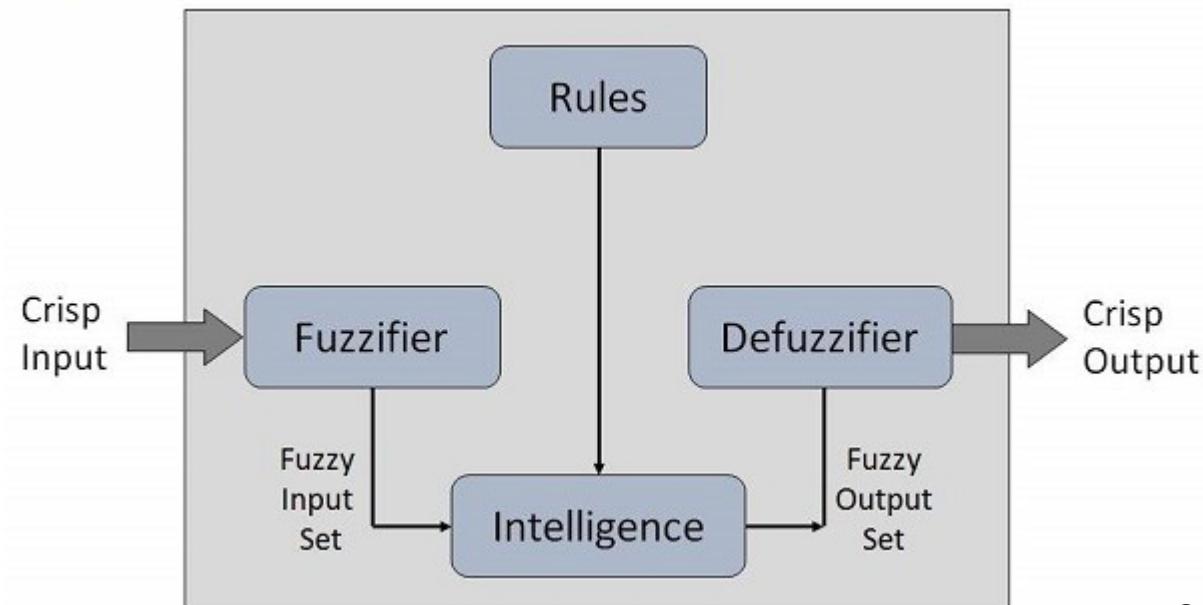
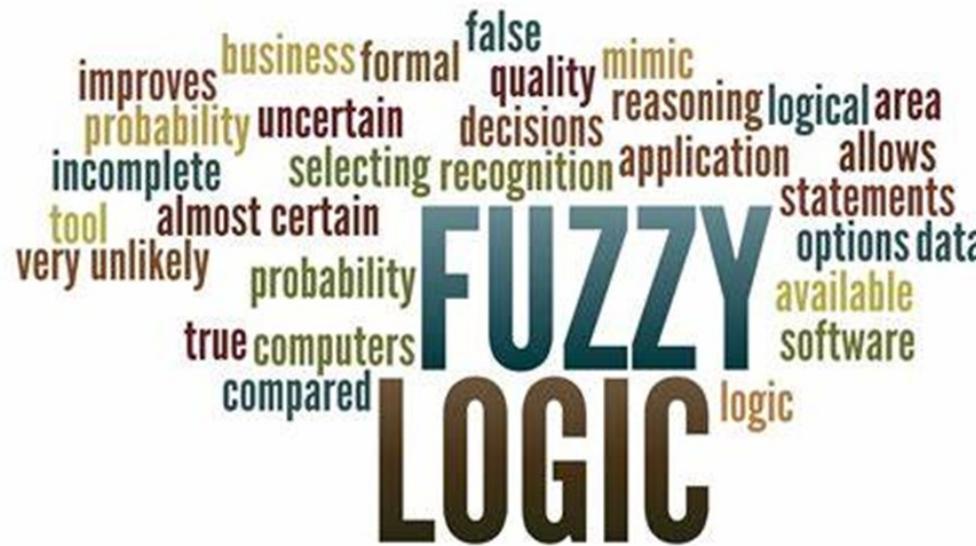
INSTITUTO FEDERAL  
SÃO PAULO  
Campus Cubatão

# Inteligência Artificial Aplicada à Automação



# Inteligência Artificial Aplicada à Automação

## 6. Lógica Difusa (Fuzzy Logic)





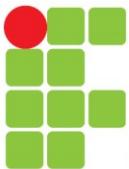
# Mini-curriculum do Professor

- Pós-doutorado em Ciências (Sistemas Eletrônicos) pela POLI/USP (2023)
- Doutor em Ciências (Sistemas Eletrônicos) pela POLI/USP (2021)
- Mestre em Engenharia Mecânica pela UNISANTA (2017).
- Tutoria EAD pela FGV (2004) e Docência Nível Superior pela FGV (2002).
- MBA Em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas RJ (2001), com extensão de MBA na Universidade da Califórnia – Campus Irvine (2001).
- Professor Licenciado para ensino de nível segundo grau pelo CEFET – Paraná (1995).
- Engenheiro Eletrônico pela UNISANTA (1991).
- Professor Titular EBTT (2022) da IFSP Cubatão desde 1992. Professor da UNISANTOS (2003 - 2015) e FORTEC (1990 - 1992).
- Pesquisador do EAII Lab e dos grupos de pesquisa Labmax e AutomSystem do IFSP.
- É colaborador e possui tutoriais publicados no Site Teleco ([www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br)), desde 2011.
- Obteve Certificações Cisco Business Transformation (2015), PMI (2012), Wireless CWNA, Cisco CCNA & CCNP de Router & Switches (2011).
- Inglês e Espanhol fluentes. Noções de Frances.
- Atuou profissionalmente em todo o Brasil, EUA, Inglaterra, França, Romênia, China e toda LATAM.
- Possui cursos de Fibras Óticas, Microcontroladores, Redes Wireless, Cisco (CCNA, QoS, VoIP), Gerenciamento de Projetos, entre outros.
- Atuou em empresas como Medidata, Cisco, Alcatel-Lucent (Nokia), MSI (hoje Mentum), Evadin , TV Tribuna (Afiliada Rede Globo), ocupando cargos Técnicos, de Consultoria e Gerencia.



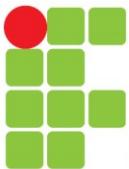
## Definição:

- É uma lógica que toma decisão baseado em análise de informações estritamente qualitativas e não quantitativas.
- Na lógica aristotélica uma proposição tem 2 extremos: ou é completamente verdadeiro, ou é completamente falso.
- Porém na Lógica Fuzzy a decisão de um sistema não se resume a “SIM” ou “NÃO”, como na lógica binária. Uma premissa varia em **grau de verdade** de 0 a 1, o que leva a ser *parcialmente* verdadeira ou *parcialmente* falsa.
- Assim, um sistema pode tomar uma decisão abstrata do tipo “PRÓXIMO DE”, “EM TORNO DE”, “MUITO ALTO”, “BEM BAIXO”, etc.



## Histórico:

- Surgiu com Loft A. Zadeh, Berkeley (1965).
  - Para tratar do aspecto vago da informação;
  - 1978 – desenvolveu a Teoria das Possibilidades
    - Menos restrita que a noção de probabilidade
  - Ligar a linguística e a inteligência humana, pois muitos conceitos são melhores definidos por palavras do que pela matemática.
- É uma técnica baseada em graus de pertinência (verdade).
  - Os valores 0 e 1 ficam nas extremidades
  - Inclui os vários estados de verdade entre 0 e 1
  - Conceito: todas as informações admitem graus: temperatura, altura, velocidade, distância, etc.

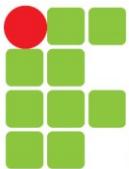


## Lógica Clássica:

- Sim/Não, Verdadeiro/Falso

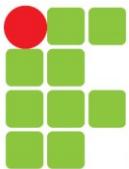
## Lógica Fuzzy (difusa ou nebulosa)

- Reflete o que as pessoas pensam;
- Tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do raciocínio humano;
- Trabalha com uma grande variedade de informações vagas e incertas, as quais podem ser traduzidas por expressões do tipo: a maioria, mais ou menos, talvez, etc.



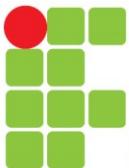
## Aplicações:

- O Japão é um dos maiores utilizadores e difusores da lógica Fuzzy.
  - O metrô de Sendai utiliza desde 1987 um sistema de controle Fuzzy.
- Sistemas baseados em lógica Fuzzy podem ser utilizados para gerar estimativas, tomadas de decisão, sistemas de controle mecânico, tais como:
  - Ar condicionado (Mitsubishi);
  - Aspiradores de pó e máquinas de lavar (Ex. Matsushita), Televisores (Sony) e câmeras de vídeo;
  - Controles de automóveis (Nissan);
  - Casas inteligentes;
  - Controladores de processo industrial;
  - Etc.



## Exemplo 1:

- Considere a seguinte sentença:
  - **Joãozinho é alto.**
  - A proposição é verdadeira para uma altura de Joãozinho com 1.65m?
  - O termo linguístico “**alto**” é vago. Como interpretá-lo?
  - A teoria dos conjuntos Fuzzy (semântica para lógica Fuzzy) permite especificar quão bem um objeto satisfaz uma descrição vaga (predicado vago).



## Exemplo 2:

- Homens de Meia Idade:

- **Lógica Clássica:**

Se  $45 \leq \text{MEIA-IDADE} \leq 50$

Então  $\text{MEIA-IDADE} = \text{SIM}$

Fim

- **Fuzzy:**

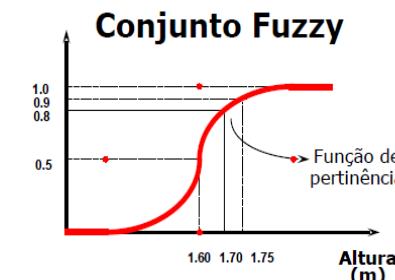
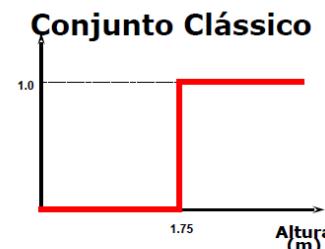
Idade	35	40	45	50	55	60
Grau de Pertinência	0,0	0,5	1,0	1,0	0,5	0,0

## Definição:

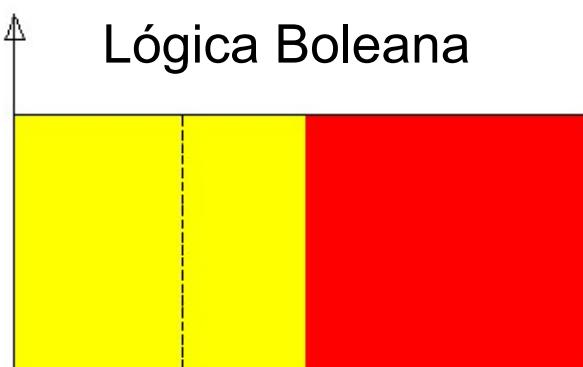
- Um conjunto Fuzzy  $X$  em um universo  $U$  é caracterizado por uma função de pertinência  $\mu_X$  que assume valores no intervalo  $[0,1]$ .

Nota:  $\forall$  (qualquer)  $U$

## EXEMPLO:

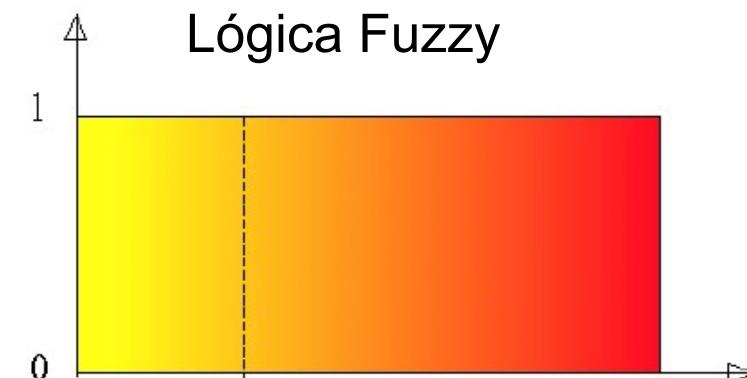


Lógica Boleana

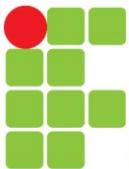


$u$  (a)

Lógica Fuzzy

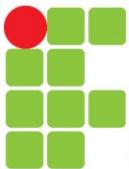


$u$  (b)



## Funções de Pertinência:

- A função de pertinência indica o grau de compatibilidade entre  $u$  e o conceito expresso por  $X$ .
  - $\mu_X(u) = 1$ , indica que  $u$  é completamente compatível com  $X$ ;
  - $\mu_X(u) = 0$ , indica que  $u$  é completamente incompatível com  $X$ ;
  - $0 < \mu_X(u) < 1$ , indica que  $u$  é parcialmente compatível com  $X$ , com grau  $\mu_X(u)$ .
- **Crisp**
  - Pode ser visto como um conjunto nebuloso específico (teoria de conjuntos clássica);
  - $\mu_X\{0,1\}$ , pertinência do tipo “tudo ou nada”, sim ou não” e não gradual como para os conjuntos nebulosos.



## Definição Formal

- Um conjunto Fuzzy  $X$  em um universo  $U$  é expresso como um conjunto de pares ordenados:

$$X = \{(u, \mu_X(u)), u \in U\}$$

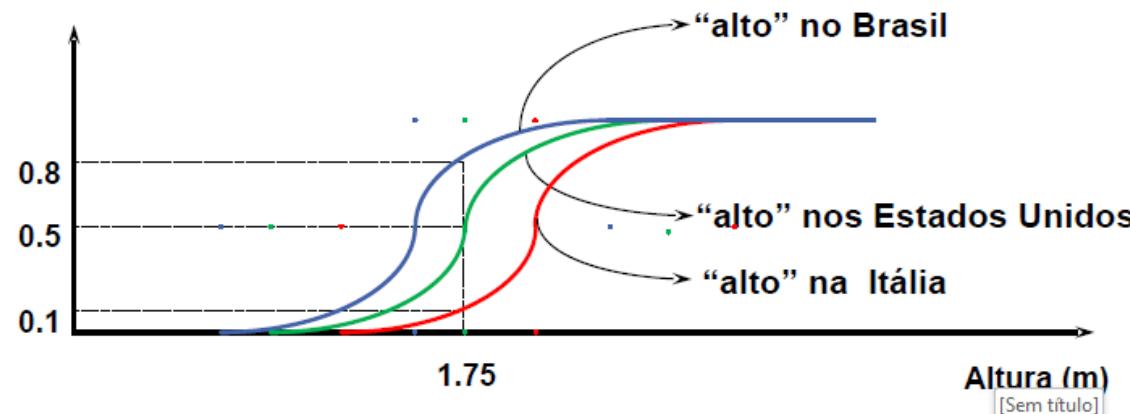
Conjunto Fuzzy      Função de Pertinência      Universo

- Um conjunto Fuzzy é totalmente caracterizado por sua função de pertinência!

## Funções de Pertinência:

- Refletem o **conhecimento** que se tem em relação a intensidade com que o objeto **pertence** ao conjunto Fuzzy.
- Várias formas diferentes
- Características das Funções de Pertinência
  - Medidas subjetivas
  - Funções não probabilísticas monotonicamente crescentes, decrescentes ou subdividida em parte crescente e parte decrescente.

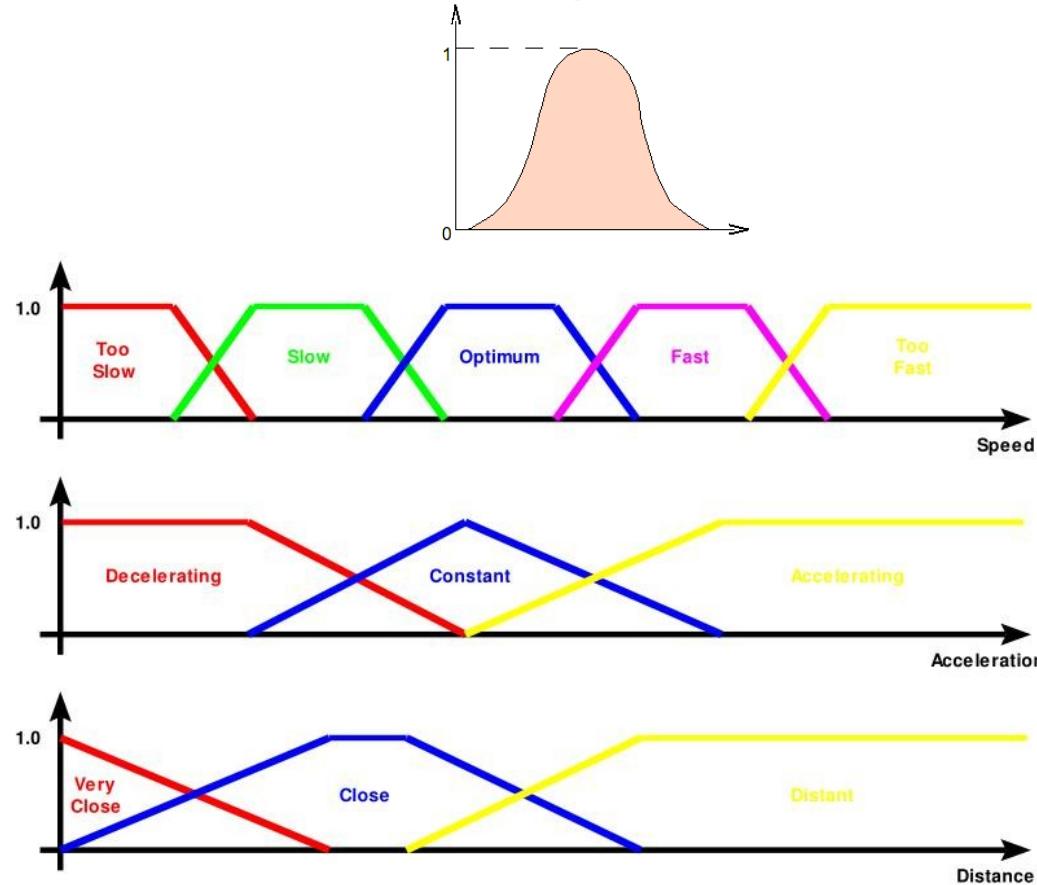
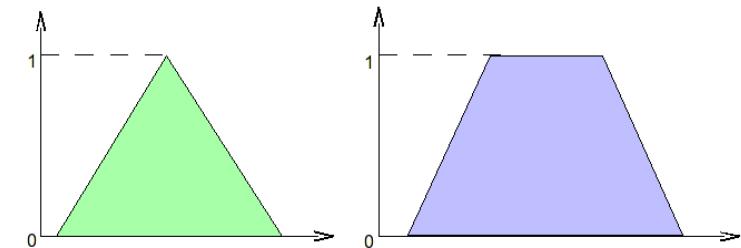
## Exemplo:



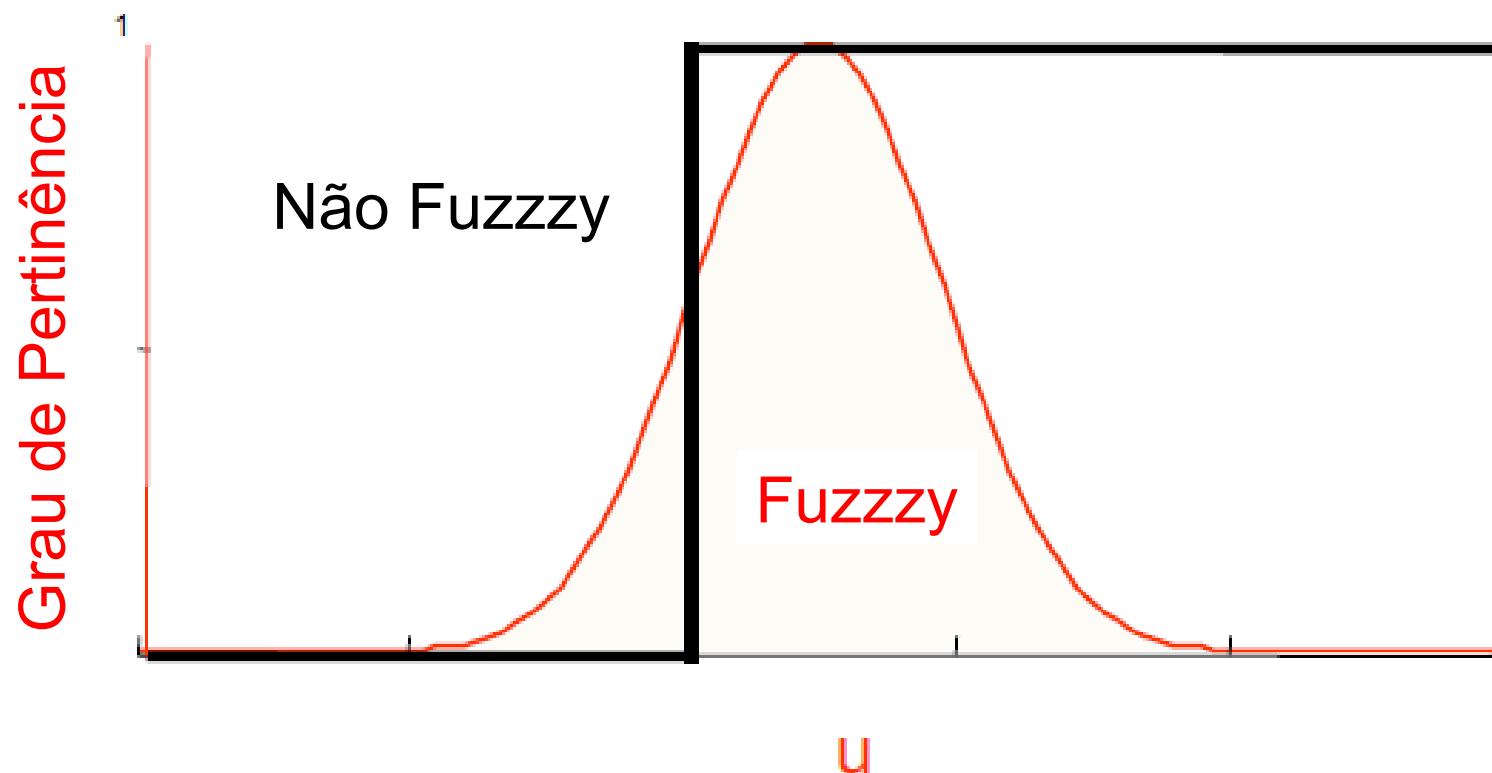
# Conjuntos Fuzzy

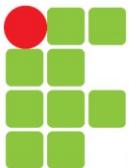
## Funções de Pertinência:

- Triangular
- Trapezoidal
- Gaussiana
- Sino Generalizada
- Outras funções no Matlab em:  
[https://www.mathworks.com/help/fuzzy/referencelist.html?type=function&s\\_tid=CRUX\\_topnav](https://www.mathworks.com/help/fuzzy/referencelist.html?type=function&s_tid=CRUX_topnav)



## Função Contínua:





## Função Discreta:

- Notação:

$$F = \{(u, \mu_F(u)), u \in U\}$$

$$F = \left\{ \frac{\mu_F(u)}{u}, u \in U \right\}$$

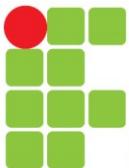
$$F = \{(u, \mu_F(u)), u \in U\}$$

- Exemplos de Conjuntos Fuzzy:

$$F = \{(30,0), (35,0,3), (40,1), (45,1), (50,0,7), (55,0,4), (60,0)\}$$

$$F = \left\{ \left( \frac{0}{30}, \frac{0,3}{35}, \frac{1}{40}, \frac{1}{45}, \frac{0,7}{50}, \frac{0,4}{55}, \frac{0}{60} \right) \right\}$$

$$F = \{0,0.3,1,1,0.7,0.4,0\}$$



## Interseção:

- Operação Mínimo:  $\varphi_{A \cap B}(x) = \min\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}$

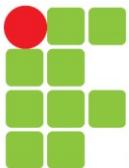
## União:

- Operação Máximo:  $\varphi_{A \cup B}(x) = \max\{\varphi_A(x), \varphi_B(x)\}$

## Complemento:

- Complemento:  $\varphi_{A'}(x) = 1 - \varphi_A(x)$

## Igualdade



# Fuzzy - Operações Básicas

## Exemplo:

$$P = \left\{ \frac{1}{1}; \frac{0,6}{2}; \frac{0,2}{3}; \frac{0}{4}; \frac{0}{5} \right\} \quad M = \left\{ \frac{0}{1}; \frac{0,5}{2}; \frac{1,0}{3}; \frac{0,5}{4}; \frac{0}{5} \right\}$$

$$G = \left\{ \frac{0}{1}; \frac{0}{2}; \frac{0,1}{3}; \frac{0,5}{4}; \frac{1}{5} \right\}$$

União (máximo):

$$C = \max(\mu_M(u), \mu_G(u)) = \left\{ \frac{0}{1}; \frac{0,5}{2}; \frac{1}{3}; \frac{0,5}{4}; \frac{1}{5} \right\}$$

Interseção (mínimo):

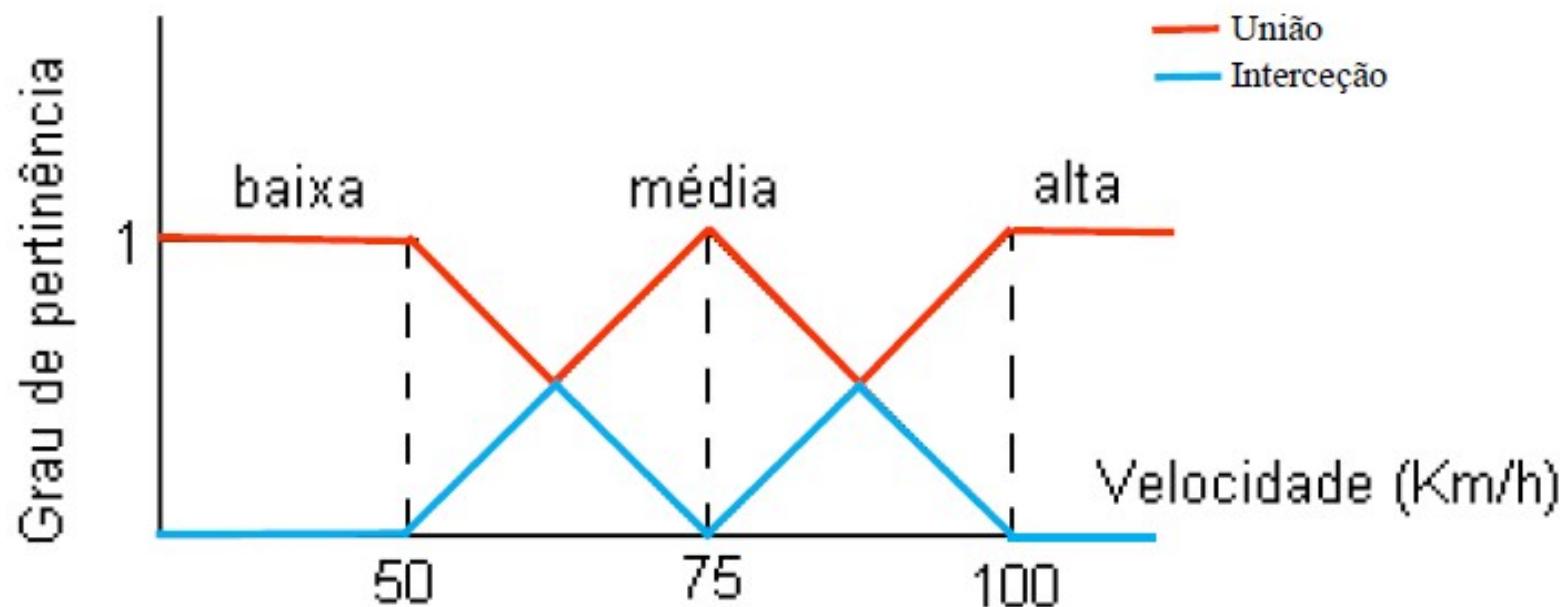
$$D = \min = \{\mu_P(u), \mu_M(u)\} = \left\{ \frac{0}{1}; \frac{0,5}{2}; \frac{0,2}{3}; \frac{0}{4}; \frac{0}{5} \right\}$$

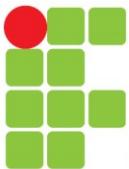
Complementar G (não grande):

$$E = \left\{ \frac{1}{1}; \frac{1}{2}; \frac{0,9}{3}; \frac{0,5}{4}; \frac{0}{5} \right\}$$

# Fuzzy - Operações Básicas

## Exemplo:





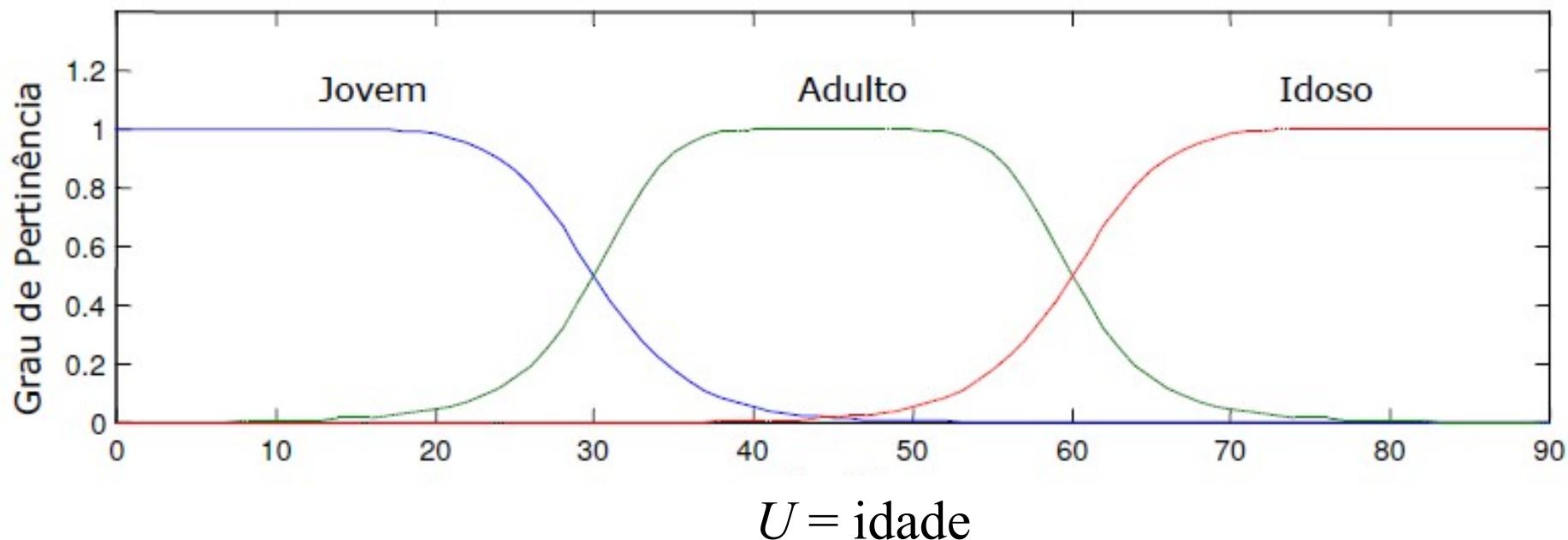
## Definição:

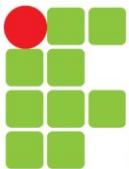
- Uma variável linguística é uma variável cujos valores são palavras.
- Uma variável linguística é definida por:
  - Onde:
    - $X$  - nome,
    - $T(X)$  - função de pertinência de  $X$ ,
    - $U$  - universo de discurso,
    - $G$  - gramática,
    - $M$  - regras semânticas associadas.

# Fuzzy – Variáveis Linguísticas

## Exemplo:

- Partição do universo de discurso  $U$  representando “idade”, formada pelos conjuntos Fuzzy “jovem”, “adulto” e “idoso”.





## Definição:

- Relacionam variáveis Fuzzy de entrada e saída, cada uma delas associada a um dos seus predicados linguísticos.
- As regras Fuzzy são obtidas pelo conhecimento e pela experiência do especialista da aplicação.

SE **Velocidade** é **BAIXA**  
ENTÃO **Aceleração** é **ALTA**

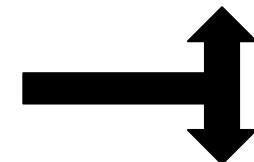
# Fuzzy – Estrutura da Lógica

## Etapas do Raciocínio Fuzzy:

### 1. Fuzzificação

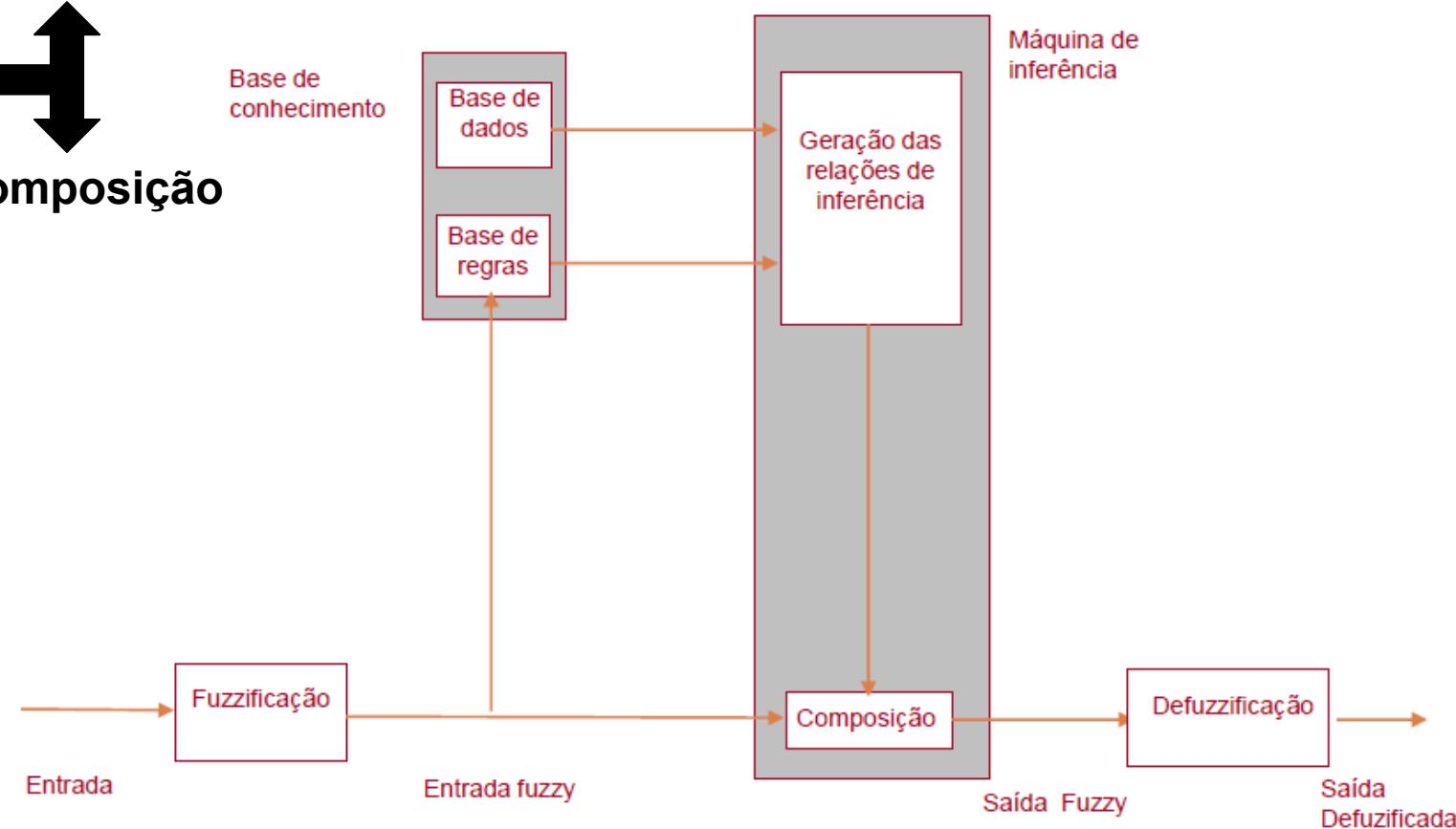
Agregação

### 2. Inferência



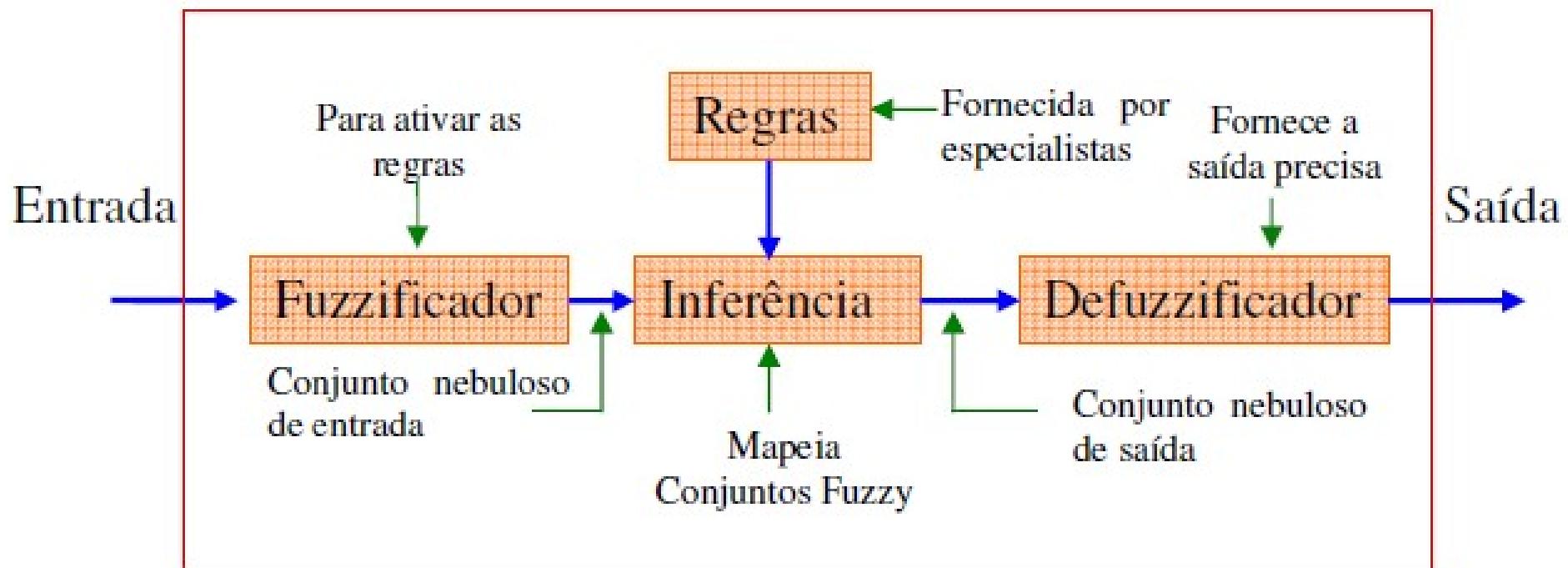
Composição

### 3. Defuzzificação



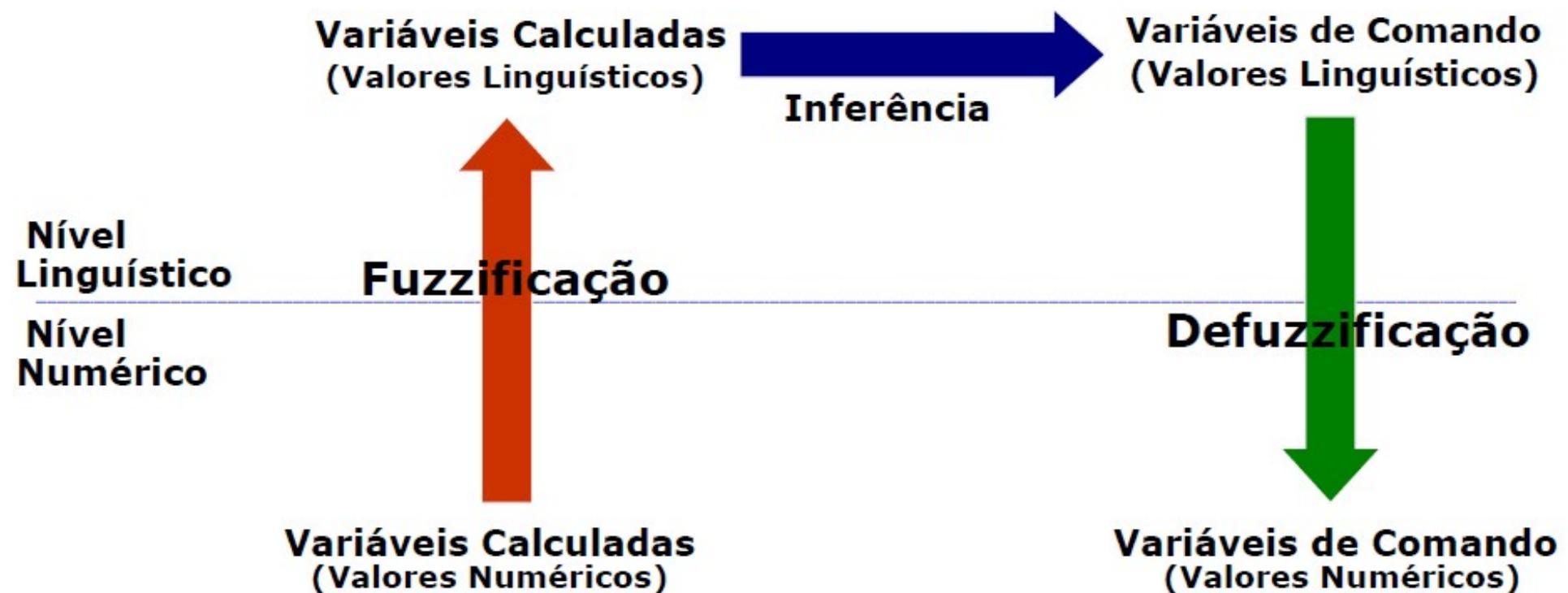
# Fuzzy – Estrutura da Lógica

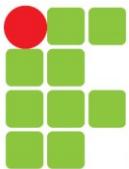
## Etapas do Raciocínio Fuzzy:



# Fuzzy – Estrutura da Lógica

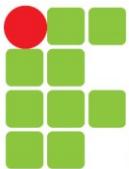
## Etapas do Raciocínio Fuzzy:





## Fuzzificação:

- As variáveis linguísticas e as funções de pertinência são definidas de forma subjetiva.
- Engloba análise do problema, definição das variáveis, definição das funções de pertinência e criação das regiões.



## Inferência:

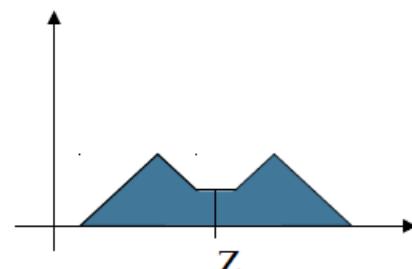
- Etapa na qual as proposições (regras) são definidas e depois são examinadas paralelamente.
- A proposição é o relacionamento entre as variáveis do modelo e regiões Fuzzy.
- Engloba:
  - Definição das **proposições**;
  - Análise das **regras**;
    - **Agregação:** Calcula a importância de uma determinada regra para a situação corrente.
    - **Composição:** Calcula a influência de cada regra nas variáveis de saída.
  - Criação da **região resultante**.

## Defuzzificação

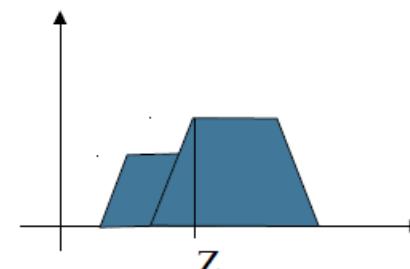
- Etapa no qual as regiões resultantes são convertidas em valores para a variável de saída do sistema.
- Corresponde a ligação funcional entre as regiões Fuzzy e o valor esperado.

## Técnicas de Defuzzificação:

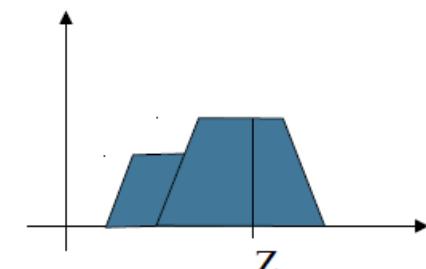
- Centróide
- *First-of-Maxima*
- *Middle-of-Maxima*
- Critério Máximo:



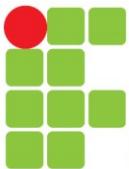
Centróide



First-of-Maxima



Critério Máximo



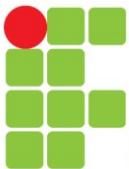
# Fuzzy – Base de Conhecimento

## Base de Dados:

- Definições de conjuntos Fuzzy

## Base de Regras:

- Exemplo de uma regra **Se-Então**:
  - **Se** Erro é Pequeno e Variação do Erro é baixa, **então**:
  - Posição da Válvula tampão é ZERO.
    - Parte **SE**: antecedente
    - Parte **ENTÃO**: consequente

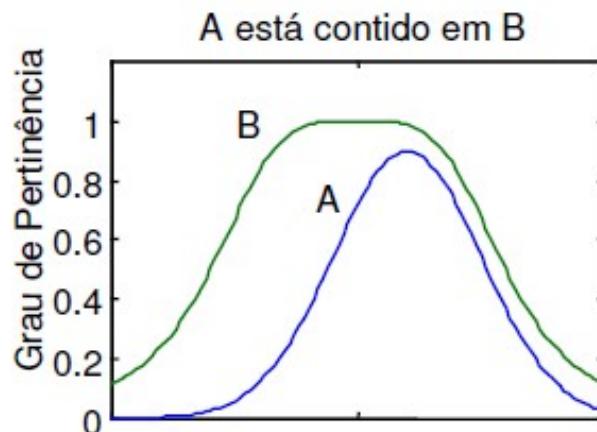


## Regras – Exemplos:

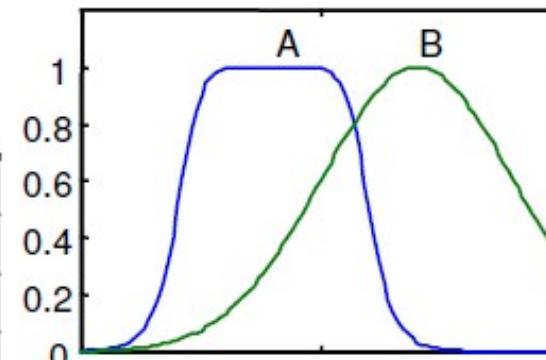
- **Regras CRISP (Não Fuzzy):**
  1. Se velocidade > 100, Então  
DPP é de 30 metros
  2. Se velocidade < 40, Então  
DPP é de 10 metros
- **Regras Fuzzy:**
  1. Se velocidade é **alta**, Então  
DPP é longa
  2. Se velocidade é **baixa**, Então  
DPP é curta

# Fuzzy – Inferência e Defuzificação

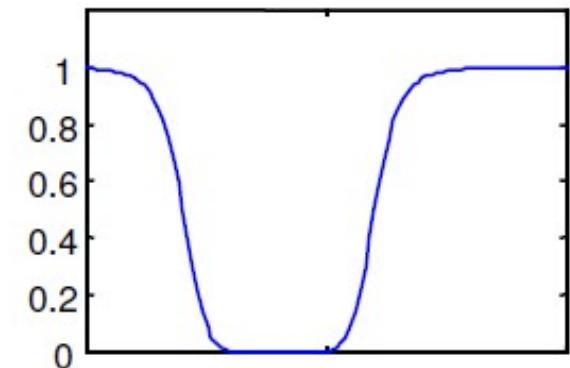
## Operações Básicas



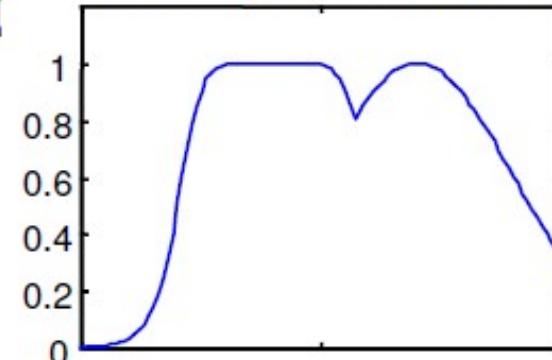
(a) Conjuntos Fuzzy A e B



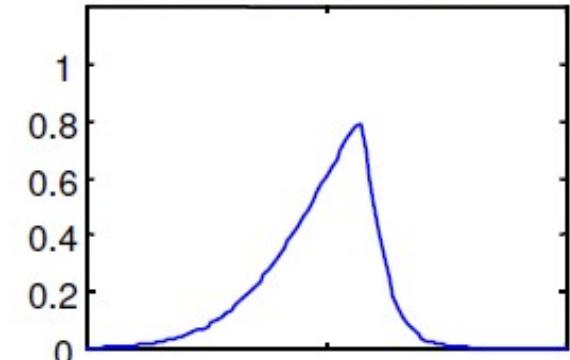
(b) Conjunto Fuzzy não "A"

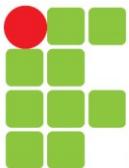


(c) Conjunto Fuzzy "A ou B"



(d) Conjunto Fuzzy "A e B"

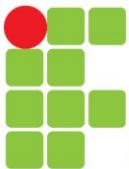




## Operações Básicas

### Exemplo: união e interseção

- $U = \{a, b, c, d, e\}$
- $A = \{1/a, 0.7/b, 0.3/c, 0/d, 0.9/e\}$
- $B = \{0.2/a, 0.9/b, 0.4/c, 1/d, 0.4/e\}$
- União
  - $C = \{1/a, 0.9/b, 0.4/c, 1/d, 0.9/e\}$
- Interseção
  - $D = \{0.2/a, 0.7/b, 0.3/c, 0/d, 0.4/e\}$



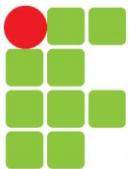
# *Fuzzy – Inferência e Defuzificação*

## Operação de max-min:

- Inferência: Operador Mínimo
- Agregação: Operador Máximo

## Defuzificação

- Centro de Área



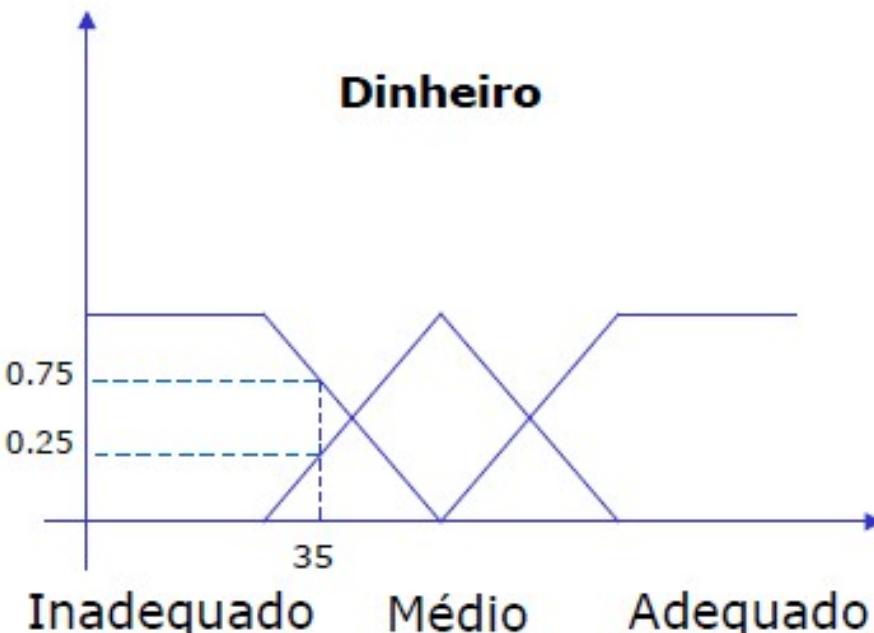
## Exemplo:

Um analista de projetos de uma empresa quer determinar o risco de um determinado projeto.

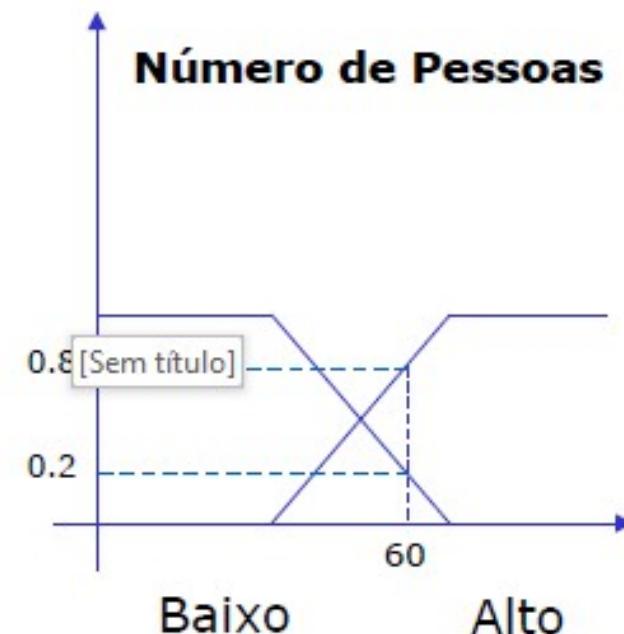
- **Variáveis:**
  - Quantidade de dinheiro e de pessoas envolvidas no projeto.
- **Base de conhecimento:**
  - Se dinheiro é adequado ou o número de pessoas é pequeno então risco é pequeno.
  - Se dinheiro é médio e o numero de pessoas é alto, então risco é normal.
  - Se dinheiro é inadequado, então risco é alto.

## Exemplo:

1º Passo: Fuzzificação



$$\mu_i(d) = 0,25 \wedge \mu_m(d) = 0,75$$



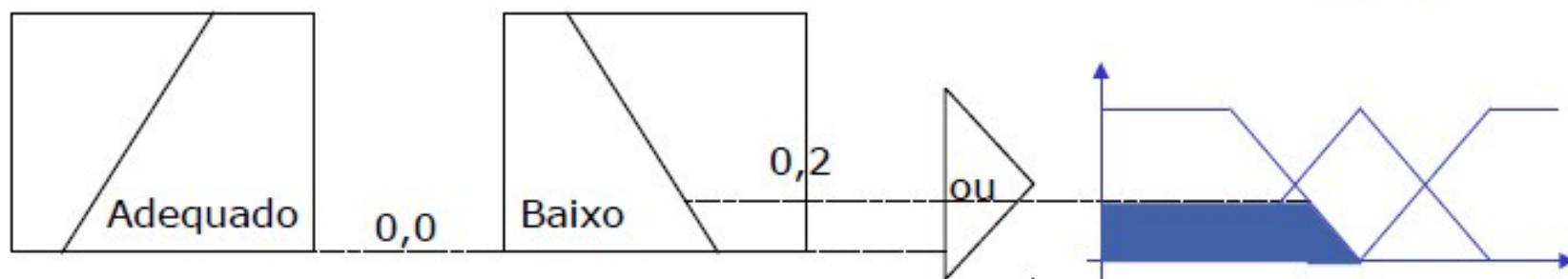
$$\mu_b(p) = 0,2 \wedge \mu_a(p) = 0,8$$

## Exemplo:

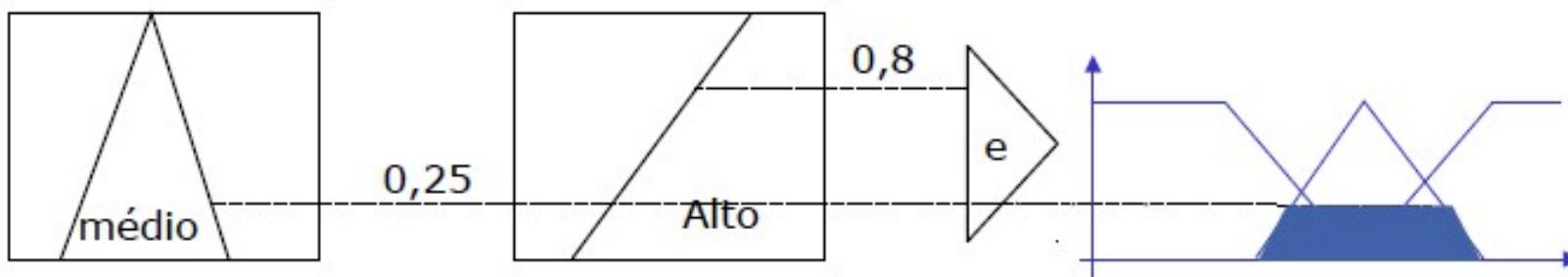
### 2º Passo: Avaliação das Regras

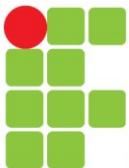
💡 Ou → máximo e → mínimo

**Regra 1:**



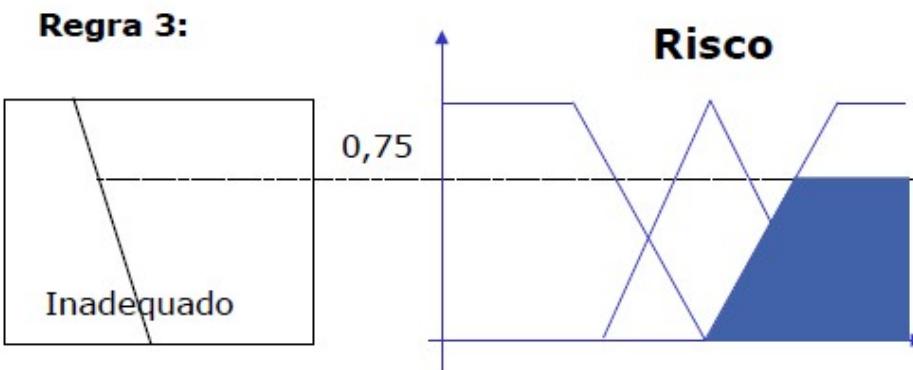
**Regra 2:**

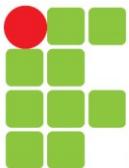




## Exemplo:

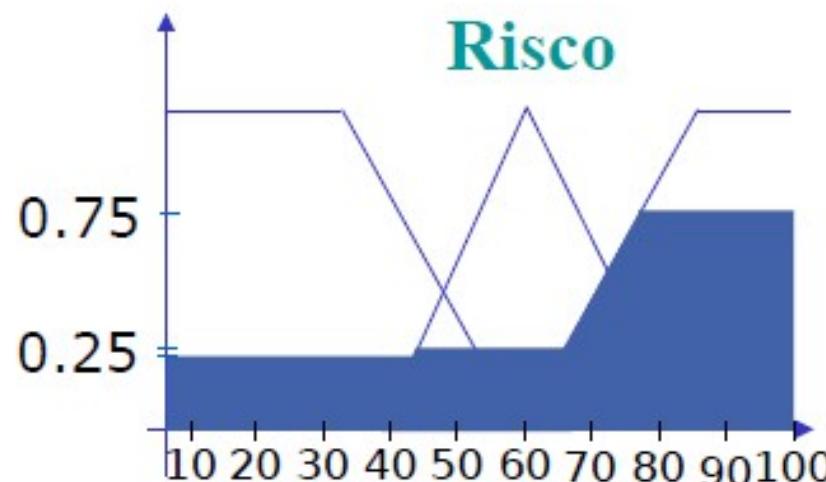
2º Passo: Avaliação das Regras (cont.)





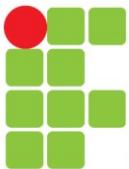
## Exemplo:

3º Passo: Defuzzificação



Cálculo do Centróide

$$C = \frac{(10+20+30+40)*0,2 + (50+60+70)*0,25 + (80+90+100)*0,75}{0,2+0,2+0,2+0,25+0,25+0,25+0,75+0,75+0,75} = \frac{267,5}{3,8} = 70,4$$

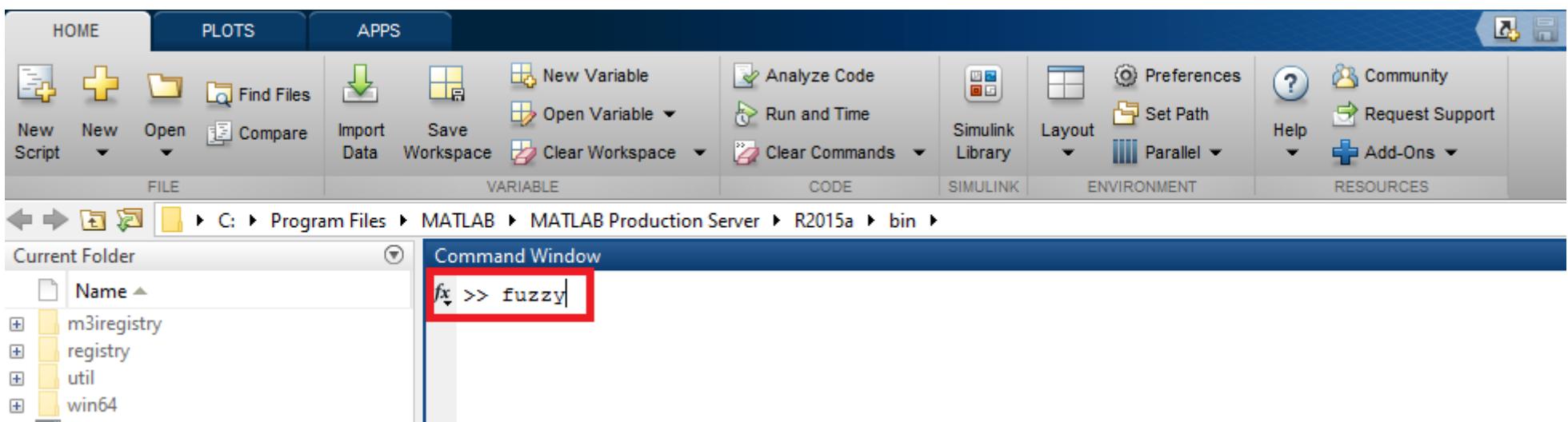


## Ferramentas de Auxilio para Projeto de Sistemas Fuzzy

- Fuzzy Toolbox do Matlab, bom para prototipagem
- NEFCON, NEFCLASS e NEFPROX... (desenvolvidos pela Universidade de Magdeburg), Disponível em:
  - <http://fuzzy.cs.uni-magdeburg.de/>
  - <http://fuzzy.cs.uni-magdeburg.de/wiki/pmwiki.php?n=Forschung.Software>
- SciFLT for Scilab (free)
- UnFuzzy (free)
- InFuzzy (free), desenvolvido na UNISC, disponível em:
  - <https://www.unisc.br/pt/2016-09-19-20-55-20/infuzzy>
- FuzzyTech
- FuzzyClips (free, API para Java)
- Linguagens C/C++, Python, disponível em:
  - <https://github.com/Python-Fuzzylogic/fuzzylogic/blob/master/docs/Showcase.ipynb>

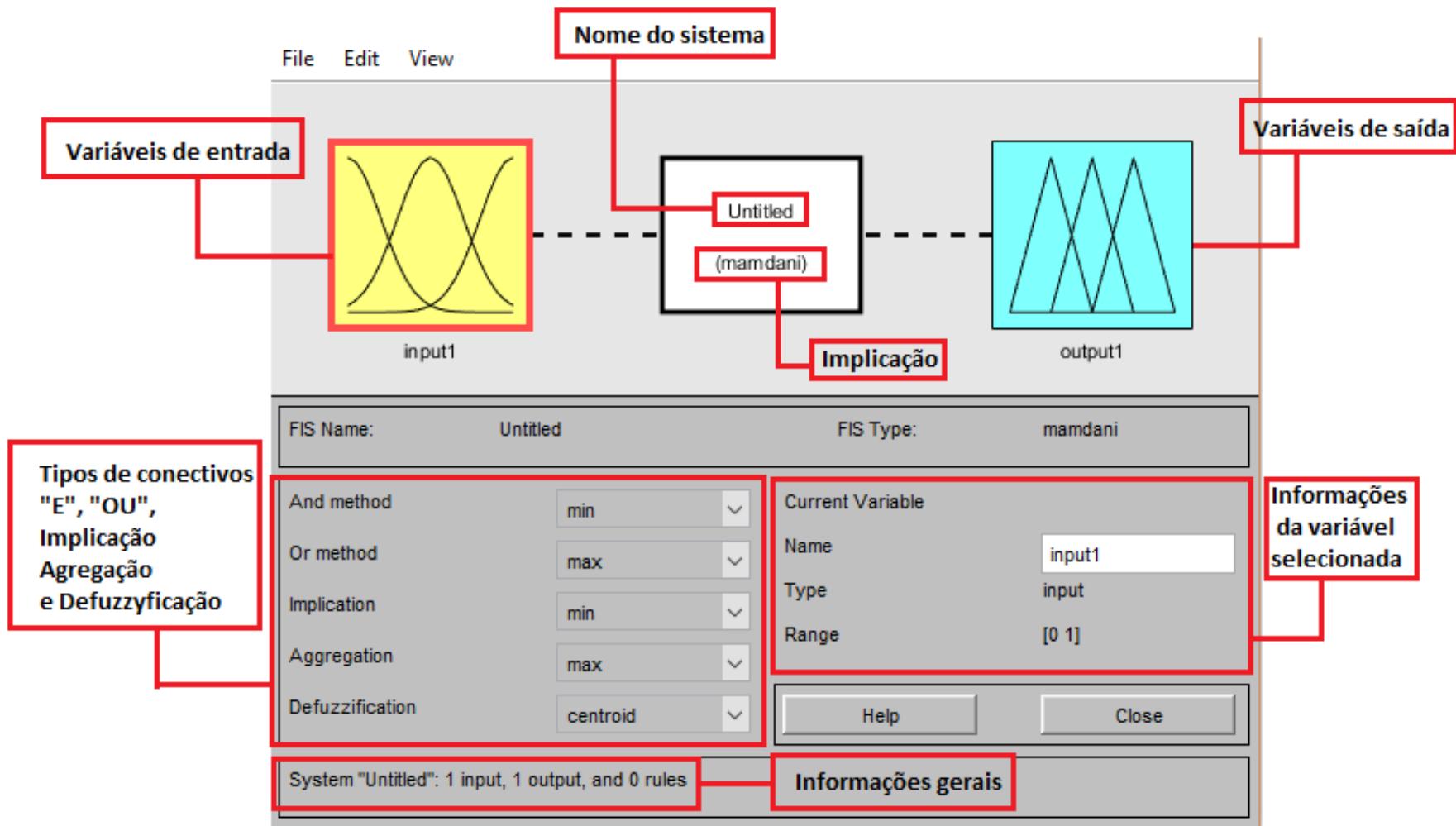
## Matlab Fuzzy Toolbox:

Para abrir a ferramenta no Matlab basta digitar “fuzzy” na linha de comando.



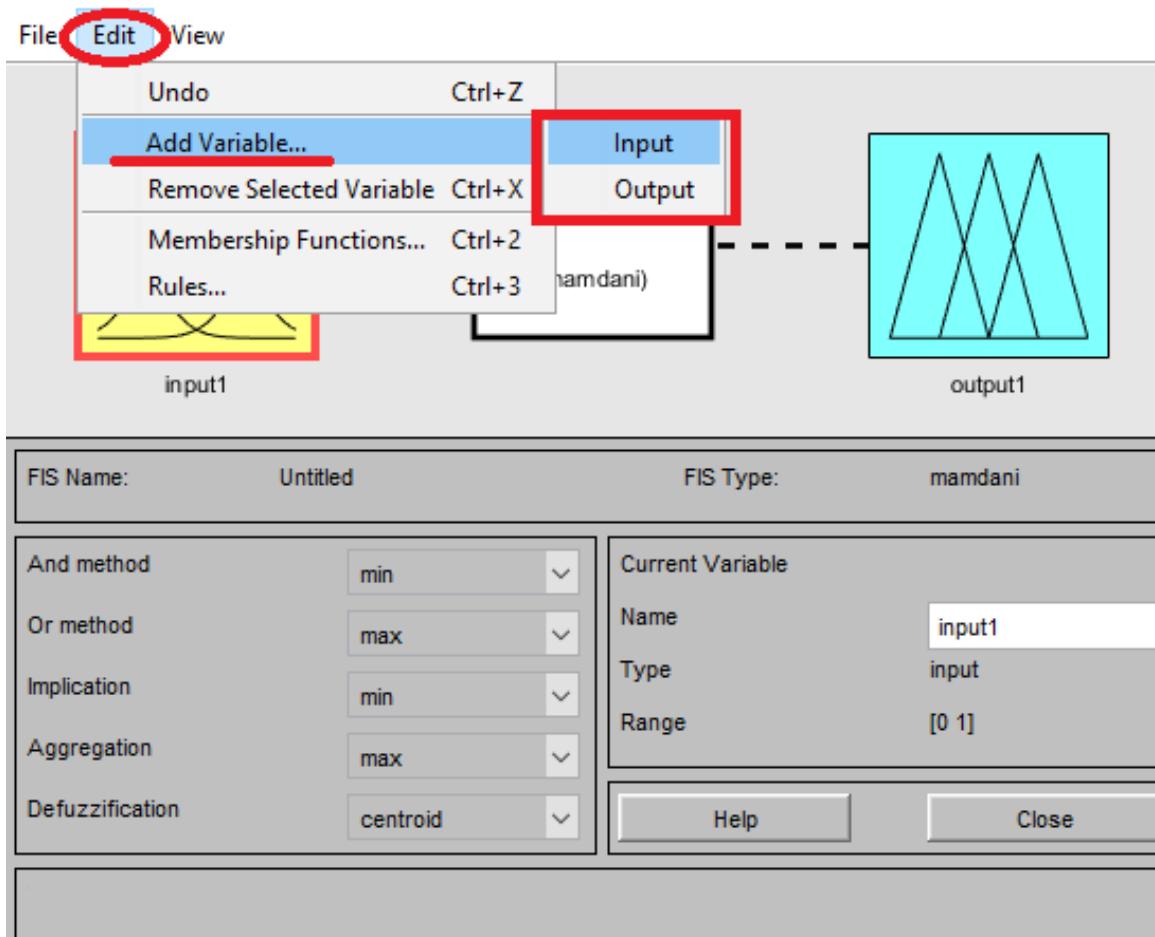
Exemplo: tipper.fis (gorjeta), Matlab.

## Janela do Fuzzy Toolbox:



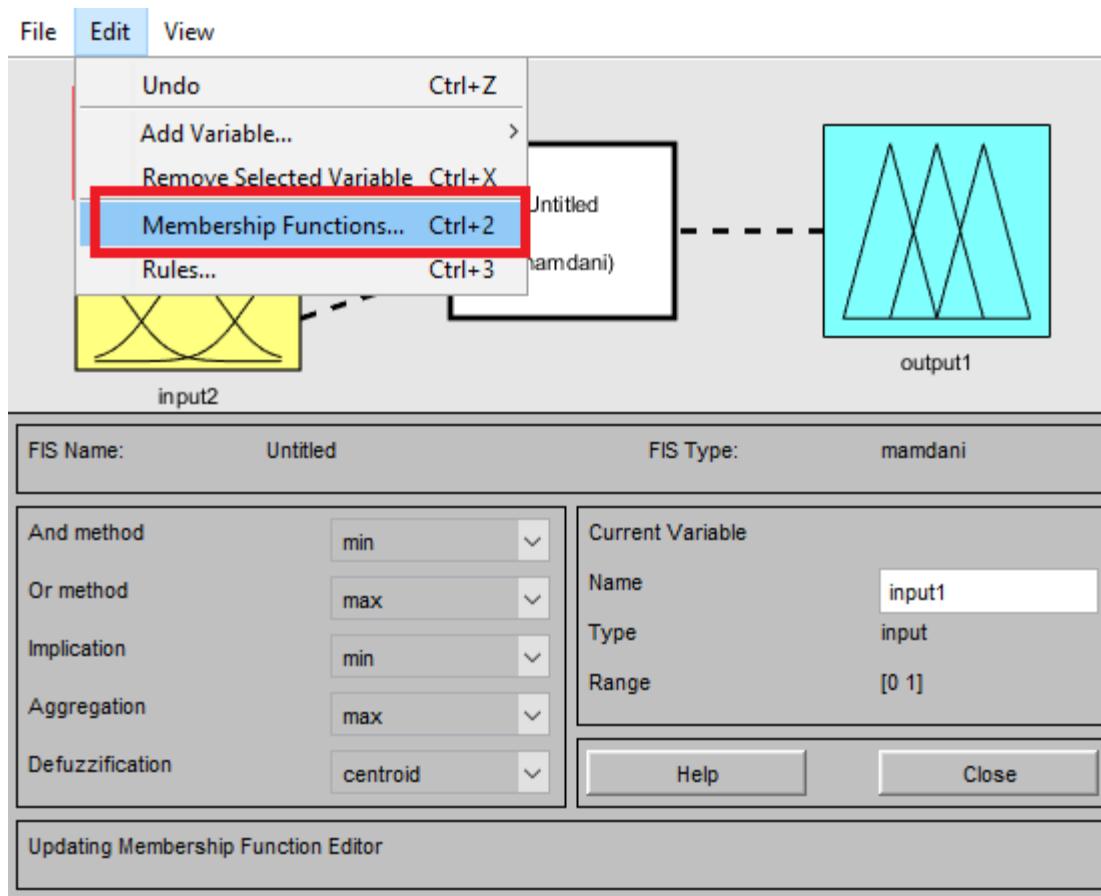
## 1º Passo:

Adicione a quantidade adequada de variáveis de entrada e saída.



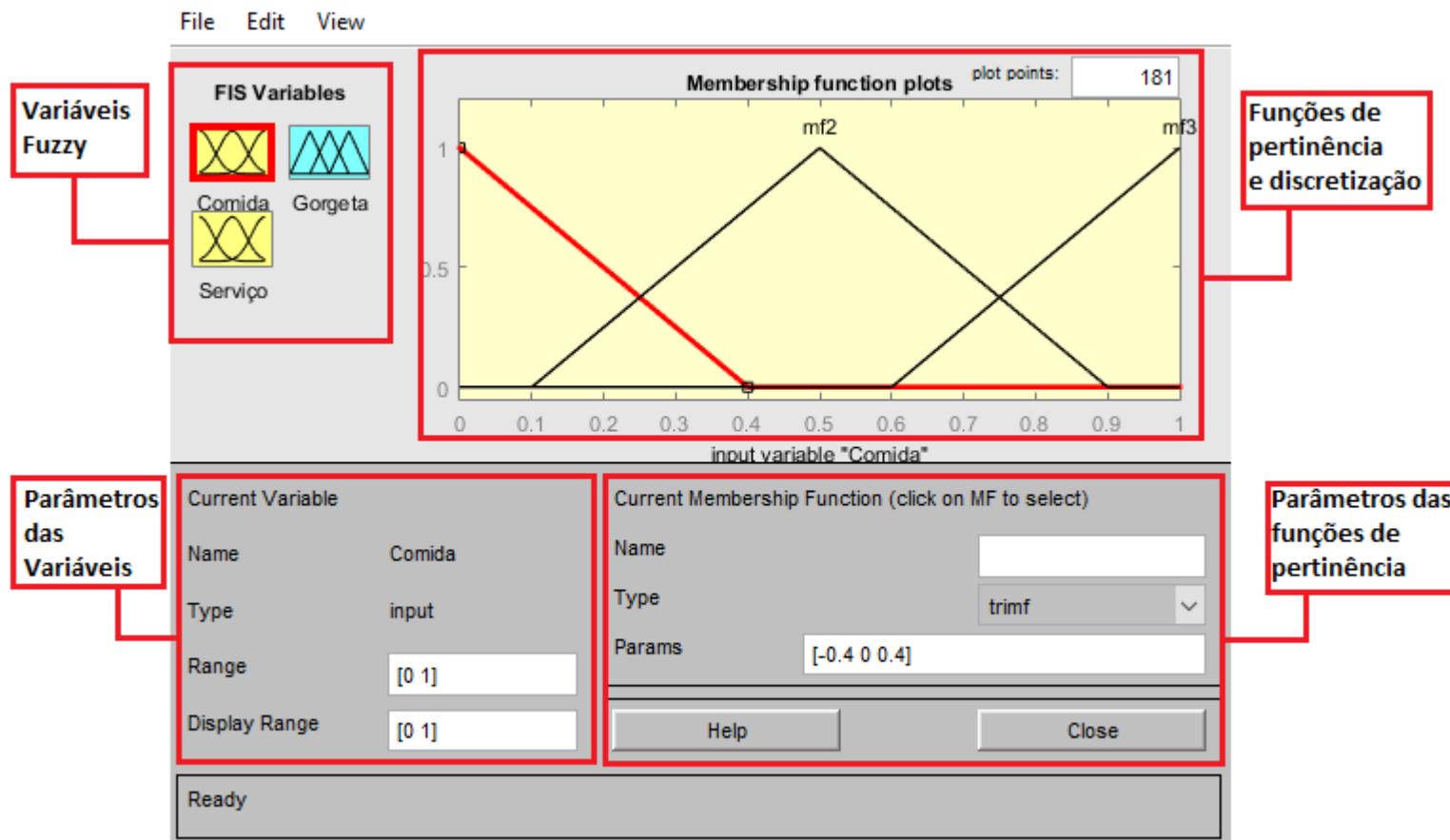
## 2º Passo:

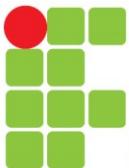
Edite as funções de pertinência desejadas.



## 2º Passo (cont.):

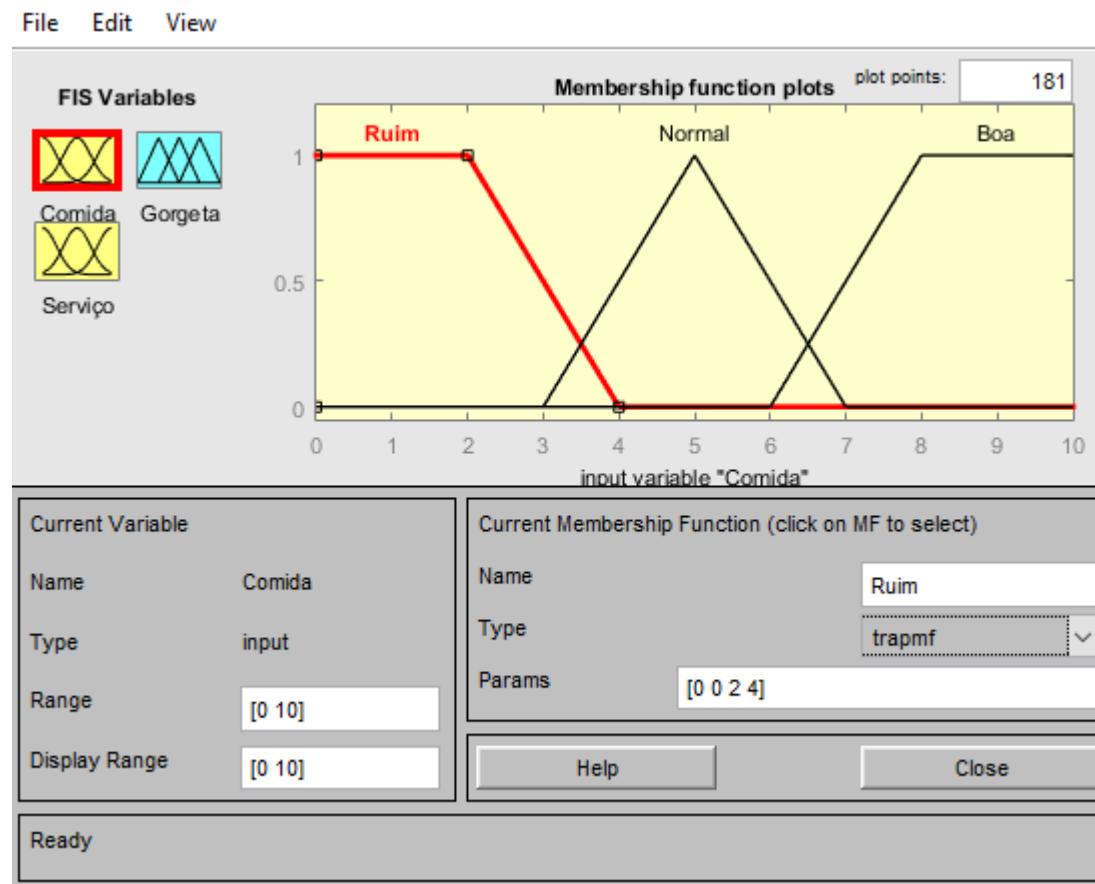
Edita as funções de pertinência desejadas.





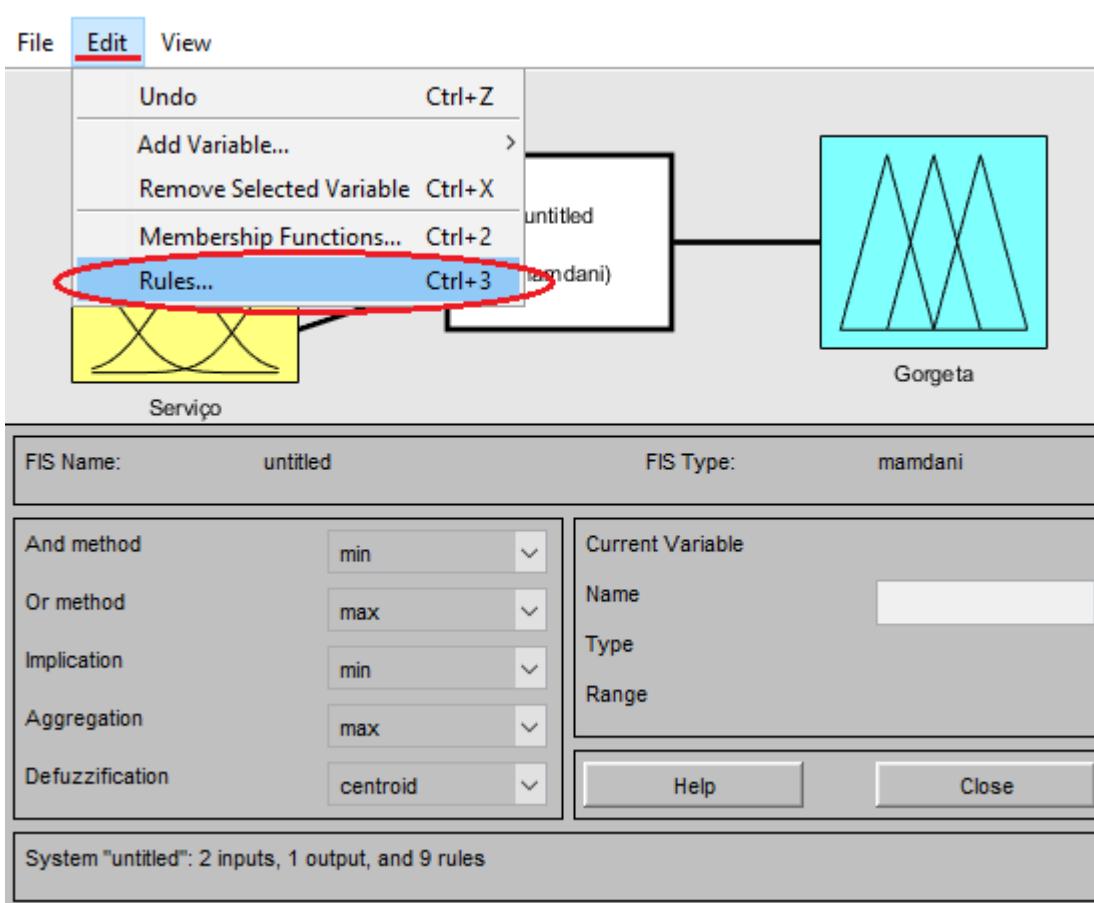
## 2º Passo (cont.):

Edita as funções de pertinência desejadas. Exemplo:



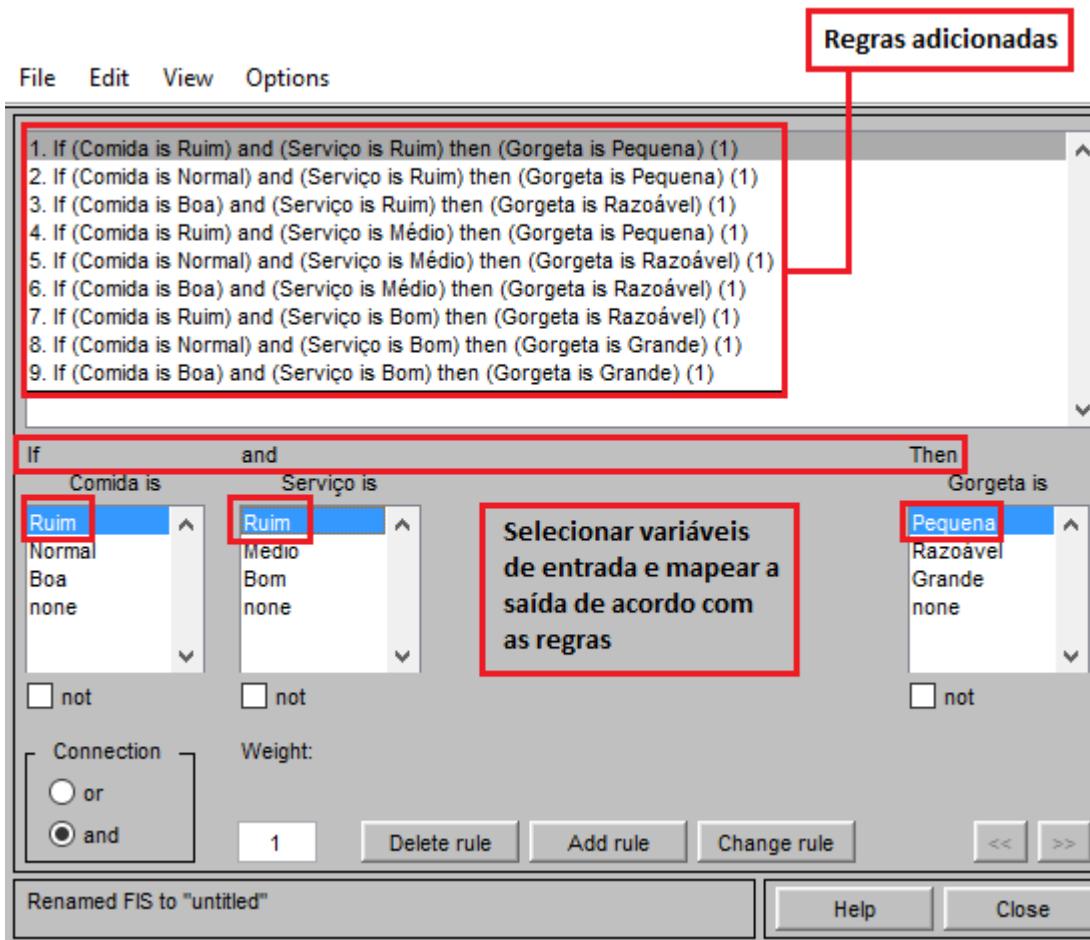
## 3º Passo:

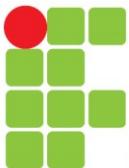
Adicione as regras desejadas.



## 3º Passo (cont.):

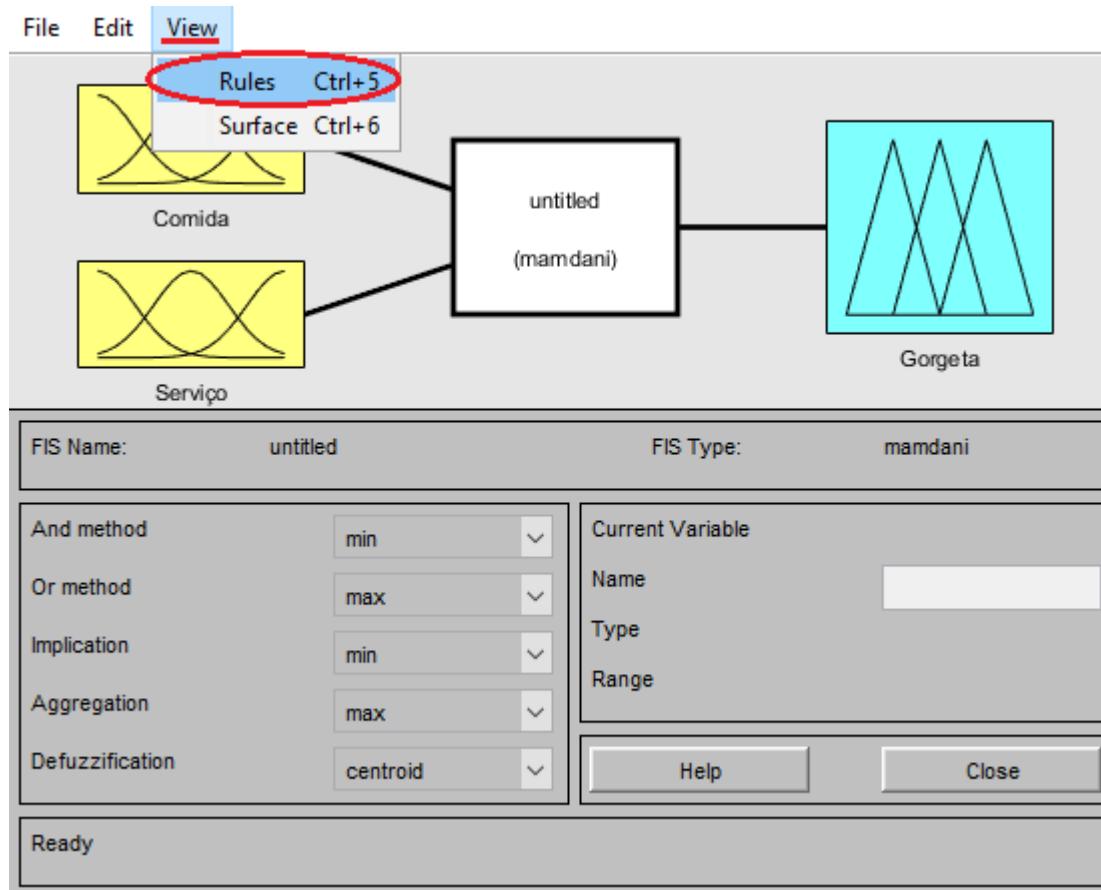
Adicione as regras desejadas.





## 4º Passo:

Visualizando Resultados.



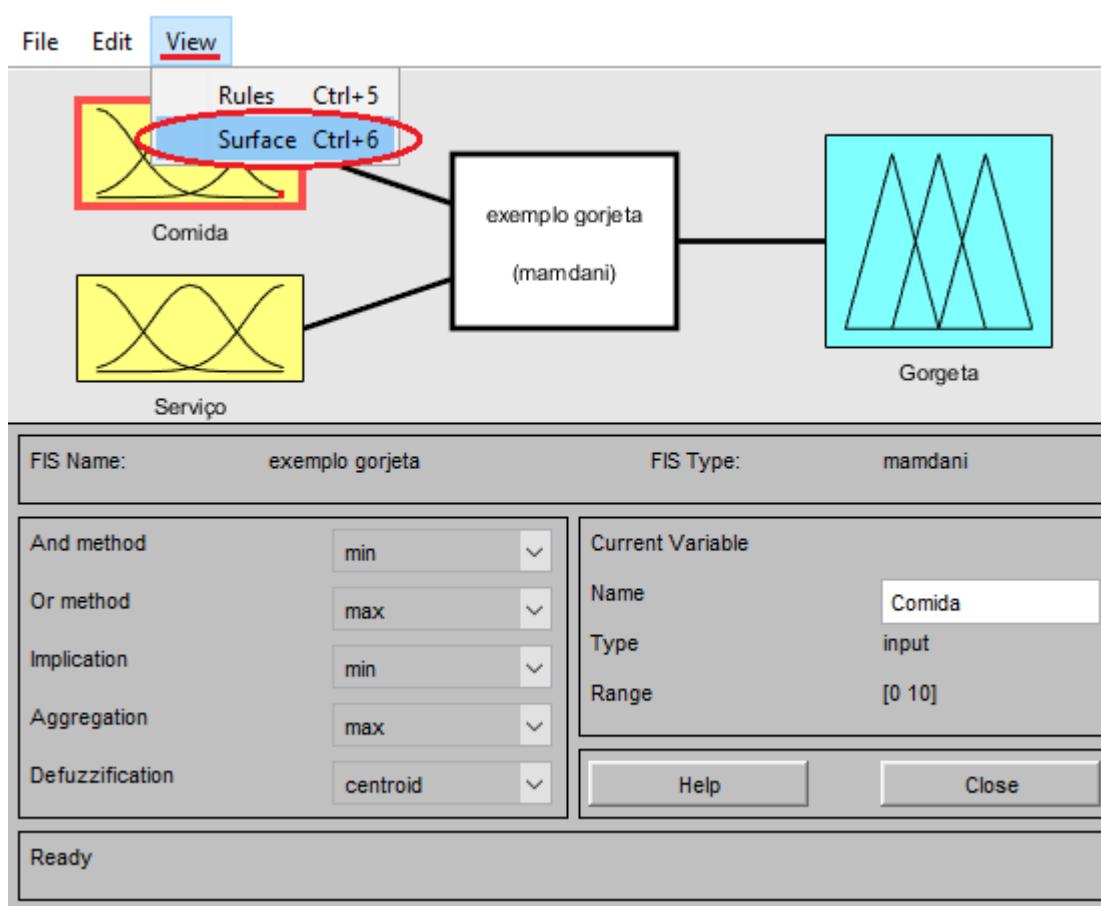
## 4º Passo (cont.):

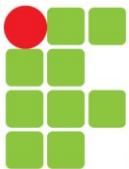
Janela Interativa de Resultados.



## 5º Passo:

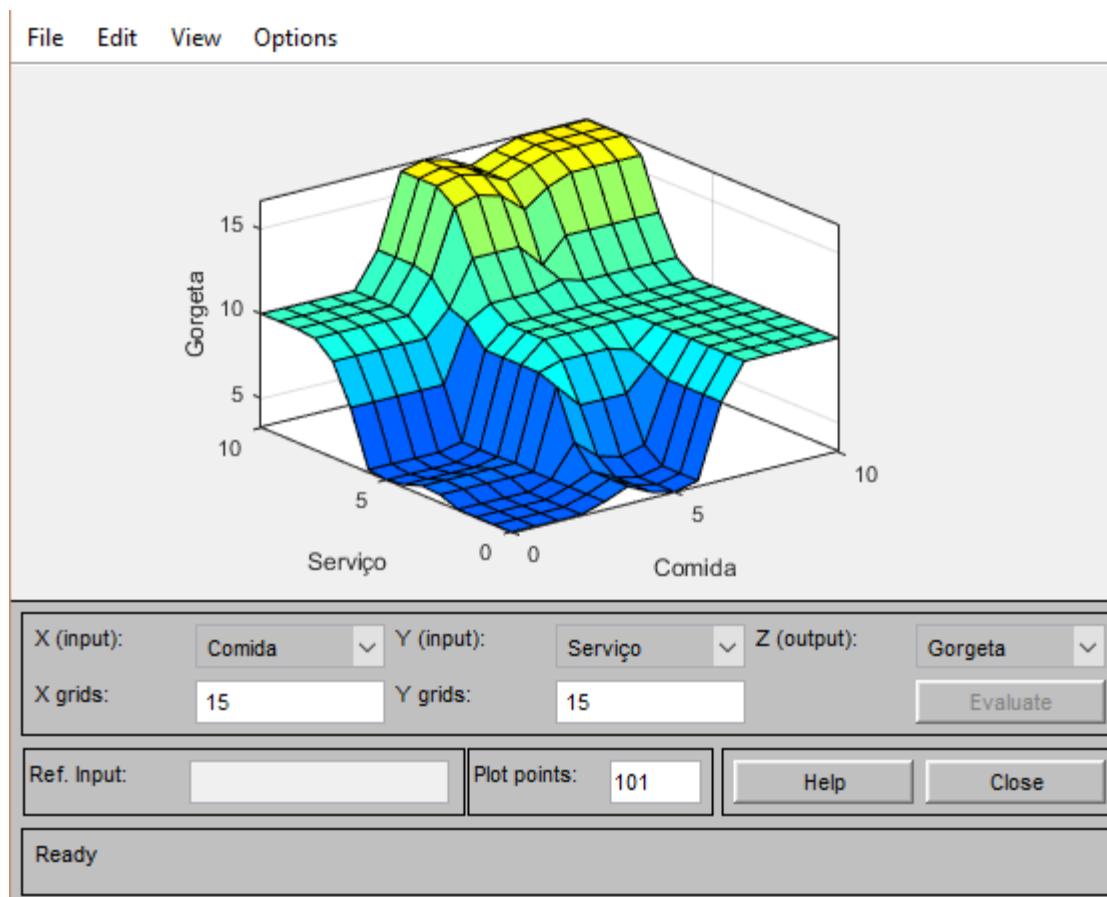
O Matlab permite mapear todas as possibilidades de entradas e suas respectivas saídas em um gráfico de superfície 3D.

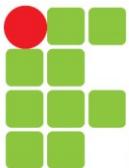




## 5º Passo (cont.):

Janela superfície.





## Funções úteis

Depois de salvar as configurações fuzzy do toolbox (em "file", "export to file"), é de valia conhecer duas funções do Matlab que manipulam o arquivo salvo.

### Leitura do Sistema Fuzzy

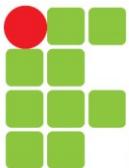
➤ `var_fis = readfis('arquivo_fis')`

% Atribui o sistema fuzzy definido por  
"arquivo\_fis" à variável "var\_fis".

### Respostas do Sistema Fuzzy

➤ `saída = evalfis(M, var_fis)`

% Simula o sistema fuzzy para uma matriz M de  
entradas, onde cada linha de M é um vetor de entrada.

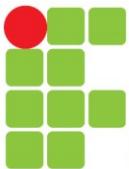


## Funções úteis

Script a seguir gera vetor de superfície

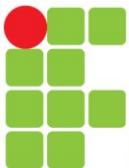
```
clc
clear all
close all
var_fis = readfis('myfile.fis'); %Salva o arquivo do toolbox
%no workspace
serv = linspace(0,10,40); % quarenta pontos de resolucao
alim = linspace(0,10,40);
M = zeros(40,40); %Inicializa o vetor M
for i =1:40 % Loop para mapear todos pontos
    for j =1:40
        M(i,j) = evalfis([serv(i),alim(j)],var_fis);
    end
end

figure
surf(M) %Plotar a superficie
save dados.txt M -ASCII; % Salvar vetor M em arquivo txt
```



## Exercício

- Usina sucroalcooleira, que decide queimar o bagaço de cana para alimentar uma planta de cogeração em sua caldeira.
- Não há atualmente nenhuma medição na vazão clássica (consumo) do combustível.
- A empresa quer uma solução para contabilizar a quantidade de bagaço a caldeira está demandando, porém as soluções triviais para pesar dinamicamente o bagaço sendo transportado falharam ou são muito custosas.
- A sua tarefa é utilizar a lógica Fuzzy para estimar a quantidade de bagaço que entra na fornalha.
- Para isso, você decide utilizar como dados de entrada um valor medido já presente, a vazão de vapor na caldeira e instalar um sensor barato de umidade para o combustível, ciente de que a umidade afetará o poder calorífico do mesmo.



## Exercício (cont.)

- Sugestão para modelagem das funções de pertinência e regras (você é livre para utilizar outros valores):

Vazão de vapor [ton/h]

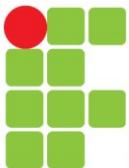
- Baixa: Trapezoidal -  $a = 0; b = 50; c = 60; d = 80$
- Normal : Trapezoidal -  $a = 60; b = 80; c = 90; d = 110$
- Alta : Trapezoidal -  $a = 90; b = 110; c = 120; d = 121$

Umidade em base úmida [%]

- Seco: Trapezoidal -  $a = 0; b = 45; c = 49; d = 54$
- Normal : Trapezoidal -  $a = 50; b = 54; c = 56; d = 60$
- Úmido: Trapezoidal -  $a = 56; b = 61; c = 65; d = 66$

Consumo de biomassa [ton/h]

- Baixo: Trapezoidal -  $a = 0; b = 20; c = 26; d = 33$
- Médio: Trapezoidal -  $a = 27; b = 33; c = 36; d = 42$
- Elevado: Trapezoidal -  $a = 36; b = 43; c = 50; d = 51$

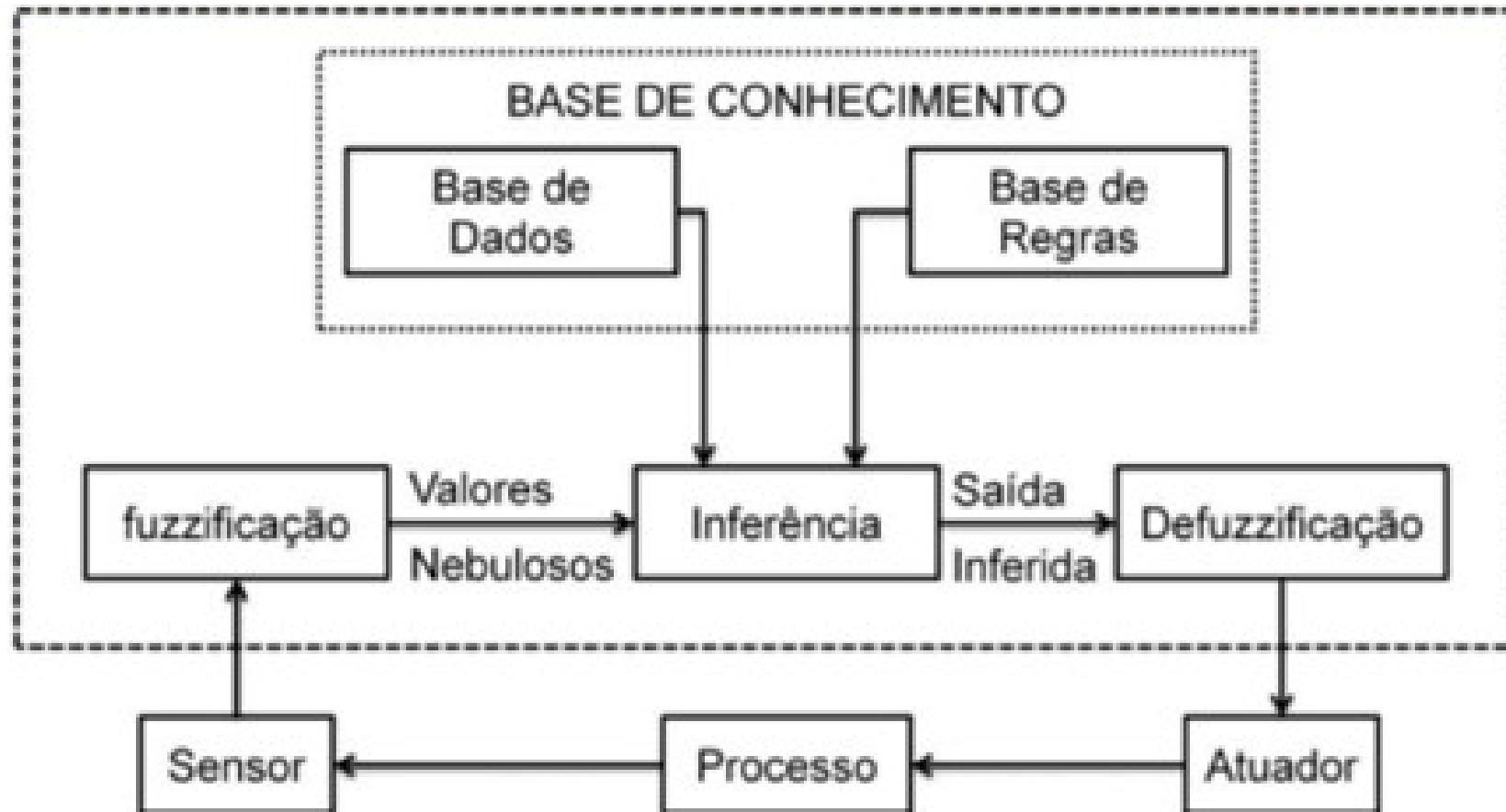


## Exercício (cont.)

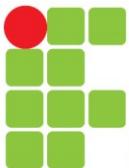
- Regras:
  - Se vazão é baixa E umidade é seco ENTÃO consumo é baixo;
  - Se vazão é baixa E umidade é normal ENTÃO consumo é baixo;
  - Se vazão é baixa E umidade é úmido ENTÃO consumo é médio;
  - Se vazão é normal E umidade é seco ENTÃO consumo é médio;
  - Se vazão é normal E umidade é normal ENTÃO consumo é médio;
  - Se vazão é normal E umidade é úmido ENTÃO consumo é elevado;
  - Se vazão é alta E umidade é seco ENTÃO consumo é médio;
  - Se vazão é alta E umidade é normal ENTÃO consumo é elevado;
  - Se vazão é alta E umidade é úmido ENTÃO consumo é elevado;

# Sistema de Controle Fuzzy

## Modelo Mamdani



Fonte: Adaptado de Simões e Shaw (2007)



## Vantagens:

- Robusta;
- Sistemas matemáticos não complexos;
- Farta referência e aplicações;
- Ferramentas e bibliotecas disponíveis;
- Soluções híbridas possíveis (neuro-fuzzy, paraconsistente-fuzzy,...).

## Limitações:

- Não reversível (caixa preta);
- Regras advindas de um especialista;
- Pode exigir grande quantidade de parâmetros, regras tipo *if-then*, número de funções de pertinência e inferências.



# Referências

- Zadeh, L.A. (1976). "Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility". *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 1: 3-28.
- SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. Controle e modelagem fuzzy. Editora Blucher, 198p. 2º Edição, 2007.
- PATO, P. A. V. Introdução à Lógica Fuzzy, Disciplina Controle Não Linear Aplicado – SEL0364, Depto. Eng. Elétrica – USP, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5126797/course/section/5937666/Lógica%20fuzzy.pdf>, acessado em 02/05/2024.
- PRADO, J. A.; DE OLIVEIRA, A. S. Lógica Fuzzy, Sistemas Autonomos Inteligentes, UTFPR, 2022. Disponível em: <https://pessoal.dainf.ct.utfpr.edu.br/andreoliveira/doku.php>. Acessado em 02/05/2024.
- PUC-RJ. Apostila 2. Lógica Fuzzy. Certificado Digital Nº 0721406/CA. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32823/32823\\_3.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32823/32823_3.PDF). Acessado em 02/05/2024.
- ZANETTI, M. V. Lógica Fuzzy Utilizando Toolbox do Matlab. Apresentação, EESC, USP, 2016. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4533515/course/section/5827037/apresentação%20Matheus%20Zanetti.pdf>. Acessado em 06/05/2024.



# Para Finalizar



Perguntas?



aedcarvalhojr@ifsp.edu.br