
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Computação Natural

(Sistemas *Fuzzy* ou *Sistemas Nebulosos* _ Parte II)



Sistemas de Inferência Fuzzy (SIF)

A estrutura básica de um sistema fuzzy possui três componentes conceituais:

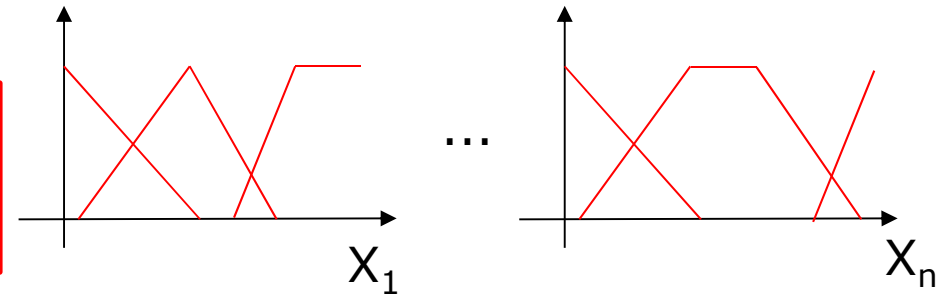
Base de dados (BD): Partição do Universo

Base de regras (BR): Conjunto de regras

Mecanismo de raciocínio: Inferência

Sistemas de Inferência Fuzzy (SIF)

Base de dados (BD):
Partição do Universo



Base de regras (BR): Conjunto de regras

Mecanismo de raciocínio: Inferência

Sistemas de Inferência Fuzzy (SIF)

Base de dados (BD): Partição do Universo

Base de regras (BR):
Conjunto de regras

Mecanismo de raciocínio:
Inferência

Regra	Temp. Superficial das Pernas	Temp. Superficial da Pele	Empenamento	Conforto Térmico (peso)
1	Alta	Alta	Alta	Perigo (1,0)
2	Alta	Alta	Média	Perigo (0,75)
3	Alta	Alta	Baixa	Perigo (0,5)
4	Alta	Média	Alta	Perigo (0,5)
5	Alta	Média	Média	Alerta (1,0)
6	Alta	Média	Baixa	Alerta (0,75)
7	Alta	Baixa	Alta	Alerta (0,75)
8	Alta	Baixa	Média	Alerta (0,5)
9	Alta	Baixa	Baixa	Conforto (0,5)
10	Média	Alta	Alta	Perigo (1,0)
11	Média	Alta	Média	Perigo (0,5)
12	Média	Alta	Baixa	Alerta (1,0)
13	Média	Média	Alta	Alerta (0,75)
14	Média	Média	Média	Conforto (0,5)
15	Média	Média	Baixa	Conforto (0,75)
16	Média	Baixa	Alta	Alerta (0,5)
17	Média	Baixa	Média	Conforto (0,75)
18	Média	Baixa	Baixa	Conforto (1,0)
19	Baixa	Alta	Alta	Alerta (1,0)
20	Baixa	Alta	Média	Alerta (0,75)
21	Baixa	Alta	Baixa	Alerta (0,5)
22	Baixa	Média	Alta	Conforto (0,75)
23	Baixa	Média	Média	Conforto (1,0)
24	Baixa	Média	Baixa	Conforto (0,75)
25	Baixa	Baixa	Alta	Conforto (1,0)
26	Baixa	Baixa	Média	Conforto (0,75)
27	Baixa	Baixa	Baixa	Conforto (0,5)

Sistemas de Inferência Fuzzy (SIF)

Base de dados (BD): Partição do Universo

Base de regras (BR):
Conjunto de regras

Mecanismo de raciocínio:
Inferência

Operadores (Exemplo):

agregação de antecedentes: min

semântica da regra: prod

agregação das regras: max

método de defuzzificação: centroide

Exemplo: sistema de controle de freios

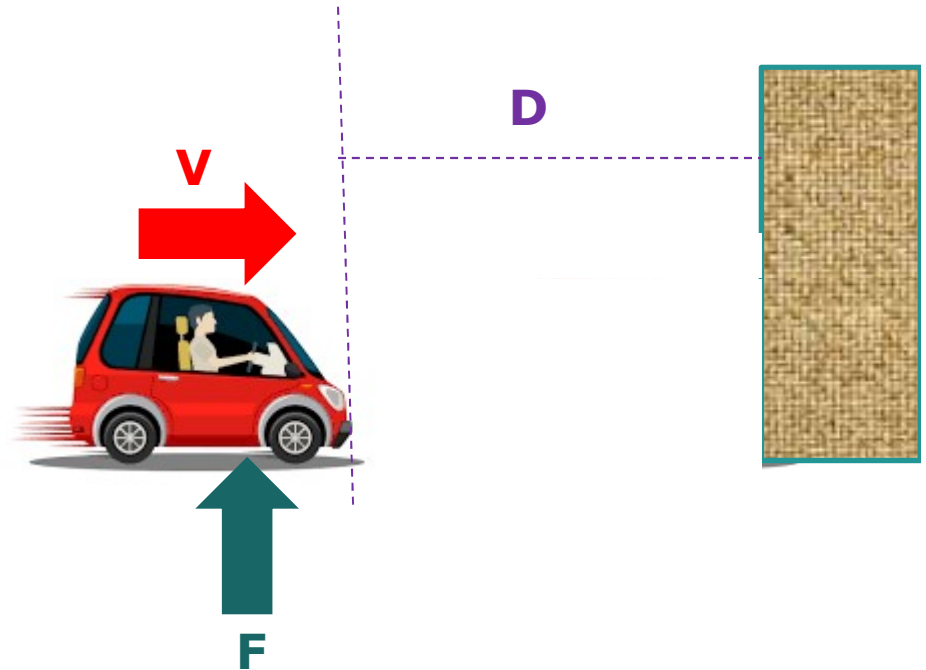
Variáveis de entrada:

Velocidade do carro (**V**)

Distância para o obstáculo (**D**)

Variável de saída:

Força no freio (**F**)



Exemplo: sistema de controle de freios

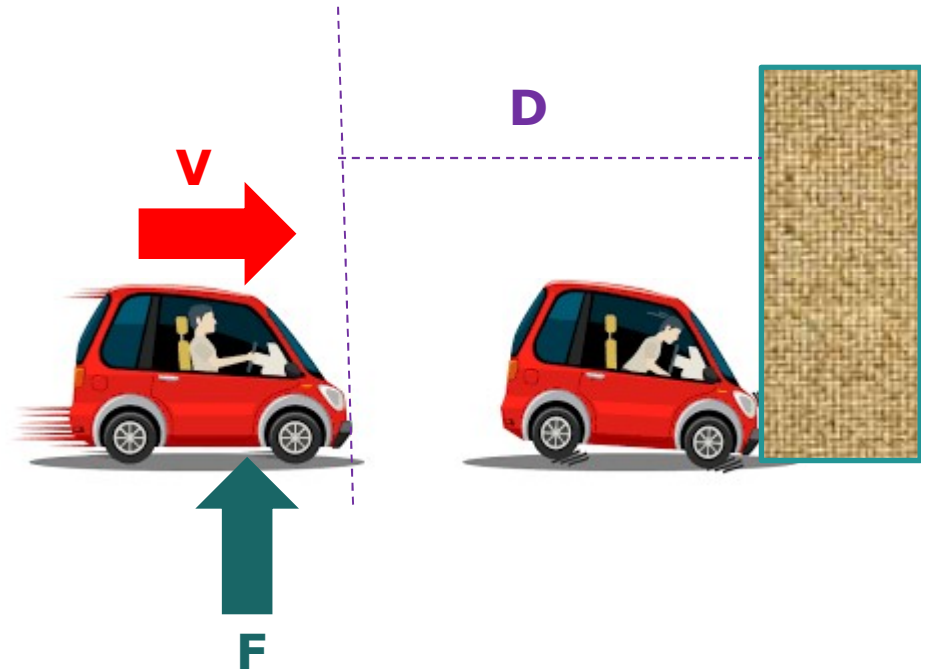
Variáveis de entrada:

Velocidade do carro (**V**)

Distância para o obstáculo (**D**)

Variável de saída:

Força no freio (**F**)





Exemplo: sistema de controle de freios

Base de dados:

Velocidade do carro: $\tau(V) = \{\text{alta}, \text{média}, \text{baixa}\}$

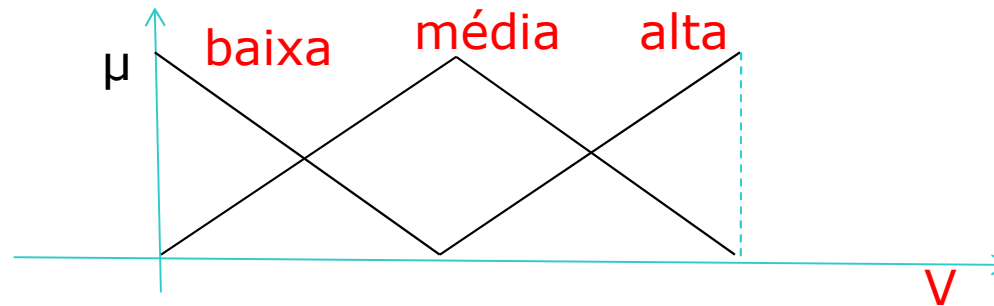
Distância para o obstáculo: $\tau(D) = \{\text{pequena}, \text{grande}\}$

Força no freio: $\tau(F) = \{\text{pouco forte}, \text{força média}, \text{muito forte}\}$

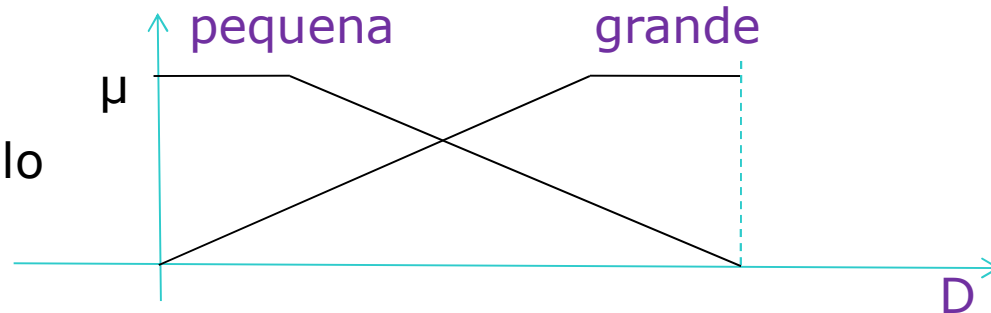
Exemplo: sistema de controle de freios

Base de dados:

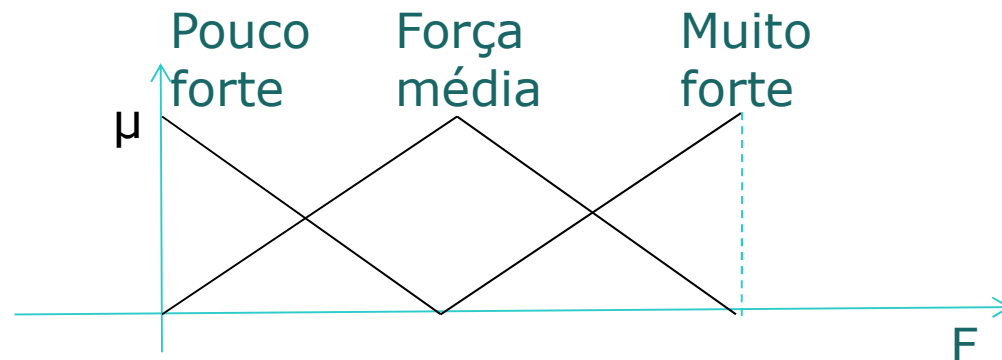
Velocidade do carro



Distância para o obstáculo



Força no freio





Exemplo: sistema de controle de freios

Base de Regras:

Máximo de regras: $|\tau(V)| \times |\tau(D)| = 3 \times 2 = 6$

Algumas regras possíveis:

Se V é **baixa** AND D é **grande** então pisar **pouco forte** no freio

Se V é **média** AND D é **grande** então pisar com **força média** no freio

Se V é **alta** AND D é **pequena** então pisar com **muito forte** no freio

.....



Exemplo: sistema de controle de freios

Mecanismo de Raciocínio:

Se V é *baixa* **AND** D é *grande* **então** pisar *pouco forte* no freio

Se V é *média* **AND** D é *grande* **então** pisar com *força média* no freio

Se V é *alta* **AND** D é *pequena* **então** pisar com *muito forte* no freio

....

Qual operador de agregação **AND** ? produto ou min

Na base de regras: Se <antecedente> **então** <consequente>

Qual operador para a **semântica da regra** ?

Conjuntiva ou implicação?

Como agregar as regras ativas? Max ou média?



BRF do sistema de controle de freio

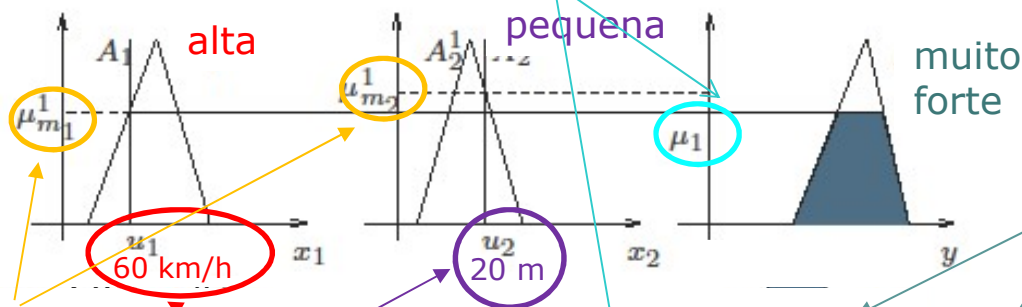
Exemplo de regras

Se velocidade é alta E distância é pequena
ENTÃO pisar muito forte no freio

Se velocidade é baixa E distância é grande
ENTÃO pisar pouco forte no freio

Inferência Fuzzy: Min Max

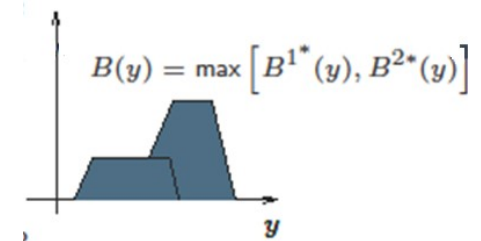
2) Cálculo do nível de disparo da regra



1) Matching das entradas com as regras

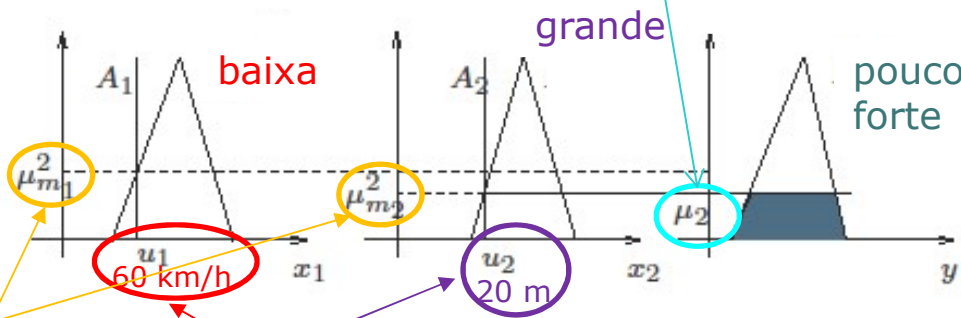
4) Agregação das regras

3) Saída Inferida pela regra



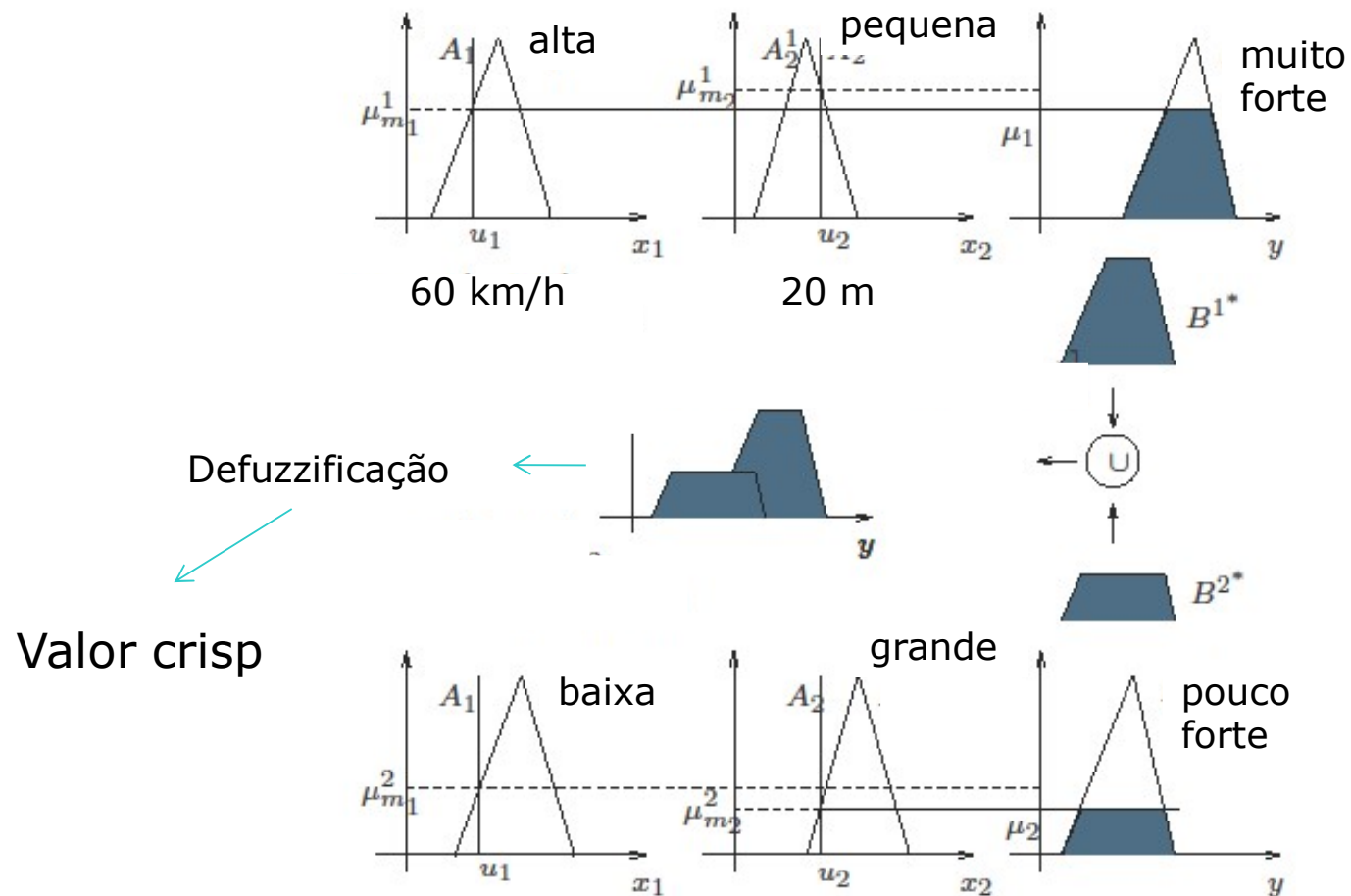
5) Saída Inferida pelo SIF

Pisar Levemente no freio



1) Matching das entradas com as regras

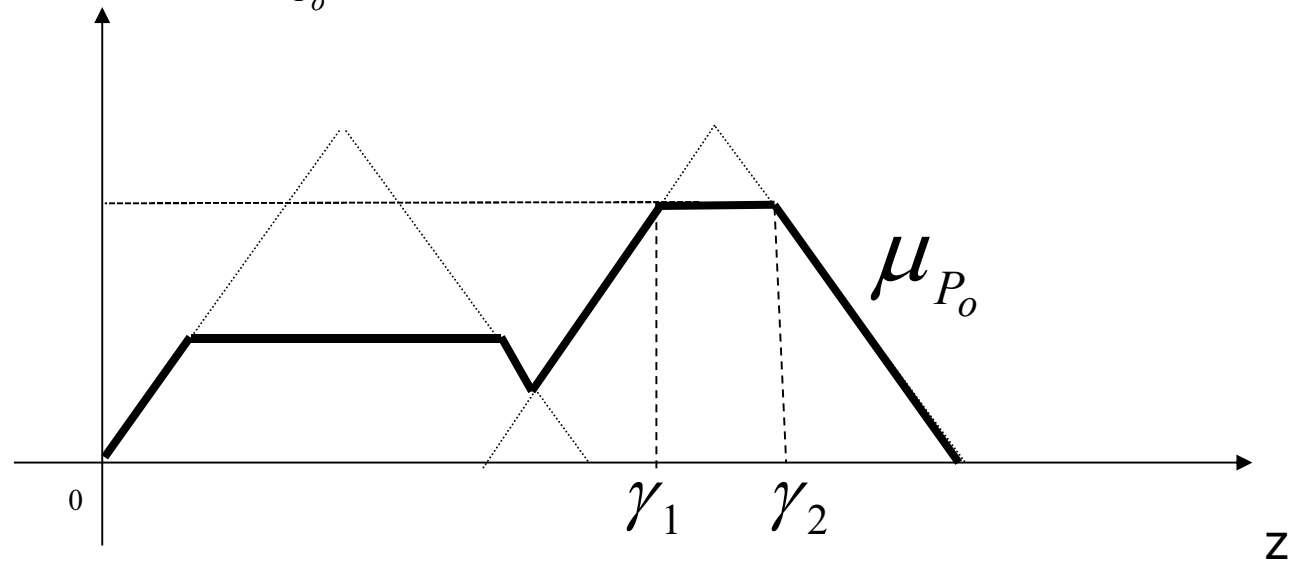
Inferência Fuzzy: Min Max



Métodos de Defuzzificação

Os métodos de defuzzificação produzem saídas crisp a partir da função de pertinência da saída inferida

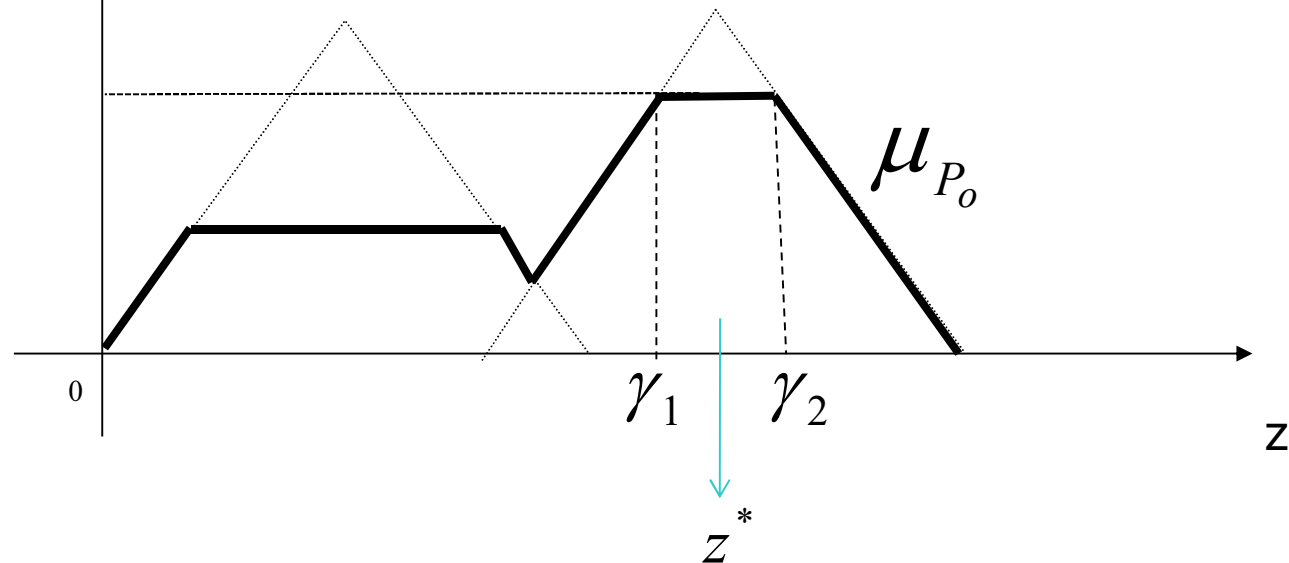
Seja o resultado inferido μ_{P_o} dado por um conjunto fuzzy com função de pertinência :



Métodos de Defuzzificação

MÉDIA DOS MÁXIMOS (MoM): Os valores relativos ao máximo da função são selecionados e é tomada a sua média.

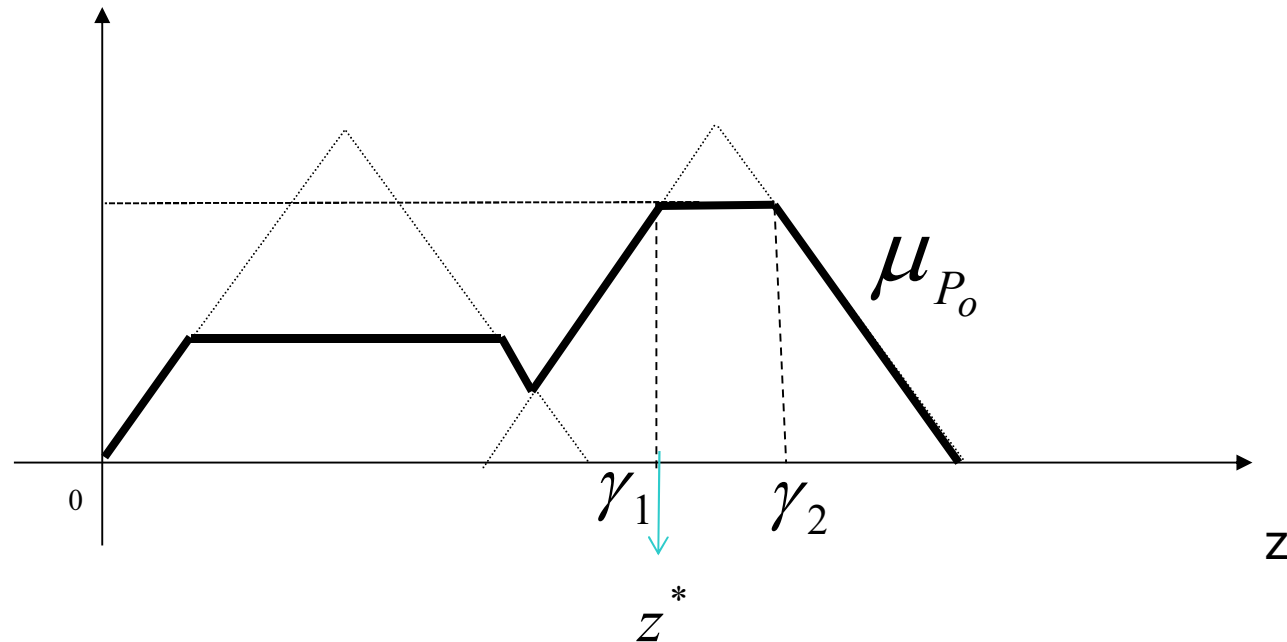
$$z^* = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$$



Métodos de Defuzzificação

MÍNIMO dos MÁXIMOS): Os valores relativos ao máximo da função são seleccionados e é tomada O MENOR.

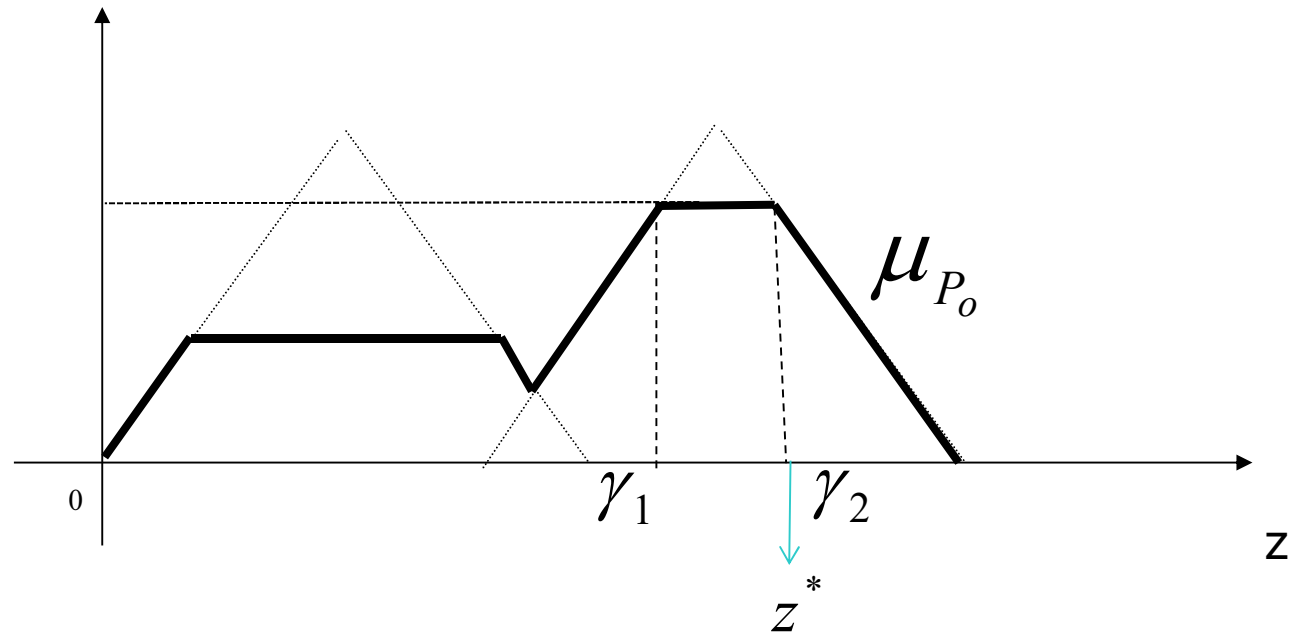
$$z^* = \gamma_1$$



Métodos de Defuzzificação

MÁXIMO dos MÁXIMOS: Os valores relativos ao máximo da função são seleccionados e é tomada O MAIOR.

$$z^* = \gamma_2$$

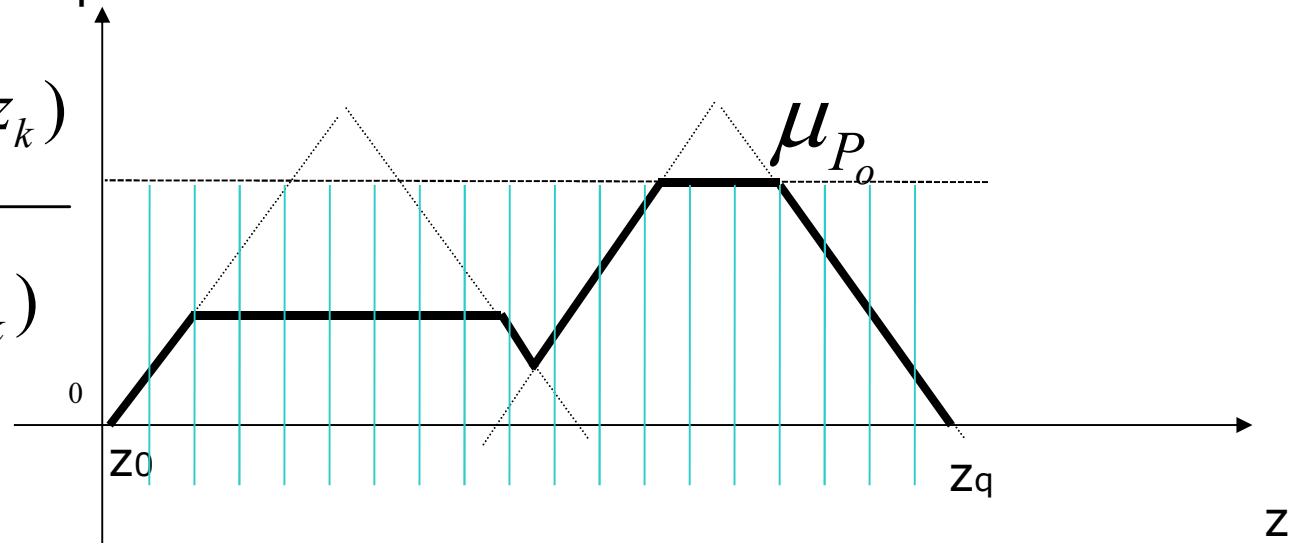


Métodos de Defuzzificação

CENTROIDE OU CENTRO DE GRAVIDADE(CoG):
$$z^* = \frac{\int \mu_{P_o}(z)zdz}{\int \mu_{P_o}(z)dz}$$

Para o caso discreto (ou a discretização da função contínua) temos que, subdividindo-se o intervalo $[z_0, Z_q]$ em q sub-intervalos próximos, o valor crisp é dado por:

$$z^* = \frac{\sum_{k=1}^q z_k \mu_{P_o}(z_k)}{\sum_{k=1}^q \mu_{P_o}(z_k)}$$





Aplicações: Controle

Máquina de Lavar Fuzzy

Considere o problema da **Máquina de Lavar com Controle *Fuzzy***.

Neste problema temos duas variáveis de entrada:

- Grau de sujeira da roupa (Sujeira)
- Manchas presentes na roupa (Manchas)

e uma variável de saída

- Tempo de lavagem da máquina

Suponha um sistema *fuzzy* (modelo MAMDANI definido por um especialista para resolver este problema) composto por uma base de dados, base de regras e mecanismo de inferência conforme mostrado a seguir:



Aplicações: Máquina de Lavar Fuzzy

BASE DE DADOS

Na base de dados, as variáveis linguísticas e possuem os seguintes conjuntos de termos linguísticos:

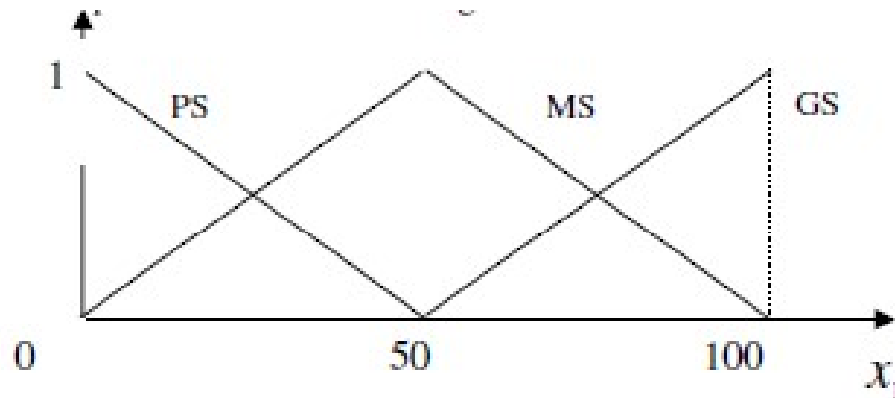
$$T(X_1) = \{PS(\text{pequena sujeira}), MS(\text{média sujeira}), GS(\text{grande sujeira})\}$$

$$T(X_2) = \{SM(\text{sem mancha}), MM(\text{média mancha}), GM(\text{grande mancha})\}$$

$$T(Y) = \{MC(\text{muito curto}), C(\text{curto}), M(\text{médio}), L(\text{longo}), ML(\text{muito longo})\}$$

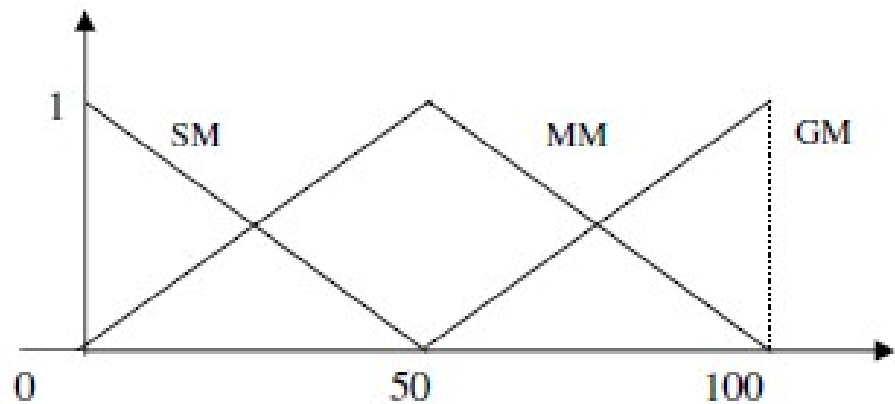
Aplicações: Máquina de Lavar Fuzzy

BASE DE DADOS: Variáveis de Entrada



Partição no
universo X_1

Grau de sujeira na roupa

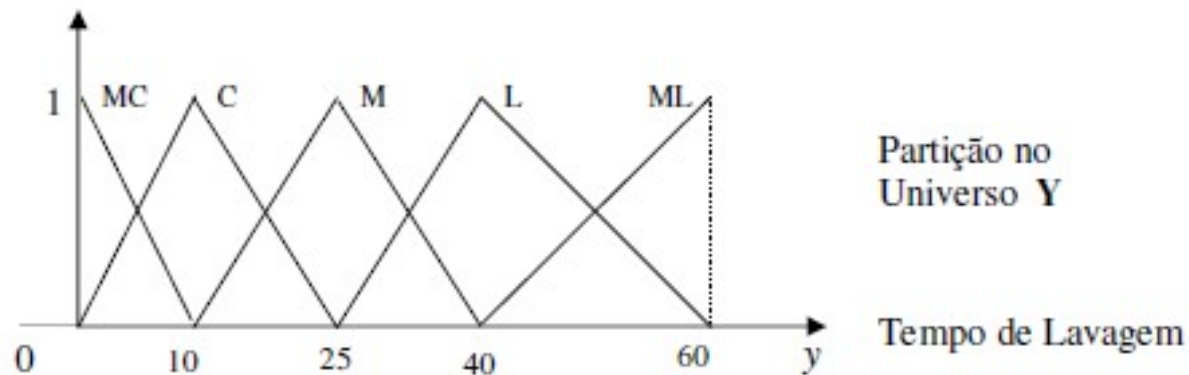


Partição no
Universo X_2

Manchas na roupa

Aplicações: Máquina de Lavar Fuzzy

BASE DE DADOS: Variável de Saída



Aplicações: Máquina de Lavar Fuzzy

BASE DE REGRAS

A base de regras envolvendo as entradas (grau de sujeira e manchas na roupa) e a saída (tempo de lavagem) é dada por:

	SM	MM	GM
PS	MC	M	L
MS	C	M	L
GS	M	L	ML

O que define o seguinte conjunto de regras *fuzzy*:

R1: Se X_1 é **PS** E X_2 é **SM** então Y é **MC**

R2: Se X_1 é **PS** E X_2 é **MM** então Y é **M**

.

.

R9: Se X_1 é **GS** E X_2 é **GM** então Y é **ML**

E de forma não abreviada:

R1: Se grau de sujeira é **pequena sujeira** E manchas na roupa é **sem manchas** então o tempo de lavagem é **muito curto**

Base de Regras: Máquina de Lavar Fuzzy

