

Introdução a Sistemas Inteligentes

Raciocínio Aproximado e Sistemas Fuzzy – Parte II:
Sistemas Baseados em Regras Fuzzy

Prof. Ricardo J. G. B. Campello

ICMC / USP

Créditos

- Parte deste material consiste de adaptações e extensões dos originais gentilmente cedidos:
 - pelo Prof. Dr. Fernando Antonio Campos Gomide da FEEC/Unicamp

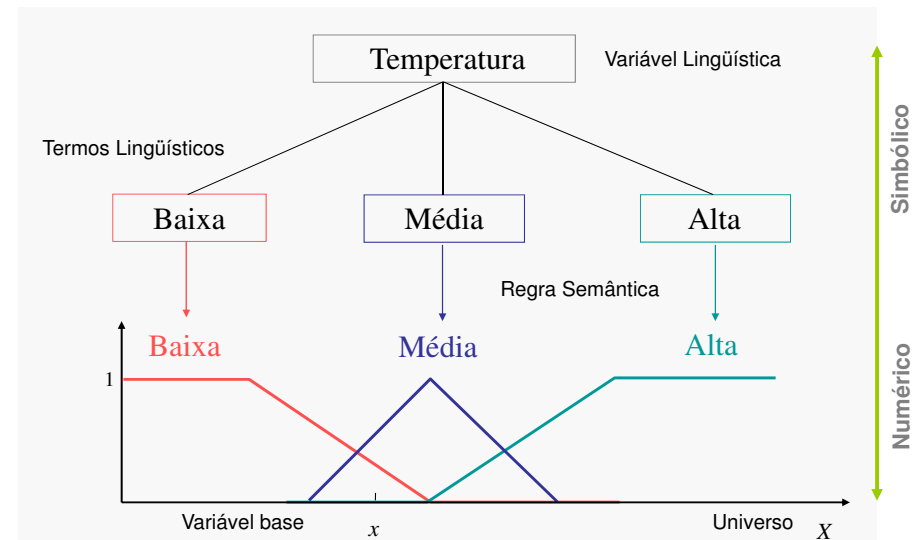
2

Aula de Hoje

- Sistemas Baseados em Regras Fuzzy
 - fuzzificação, defuzzificação e inferência de Mamdani
- Modelos Linguísticos
 - Método de Extração de Regras
- Modelos de Takagi-Sugeno (TS)
 - Treinamento de Modelos TS

3

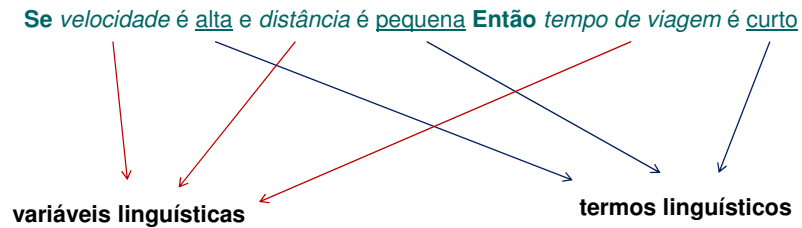
Variáveis Linguísticas



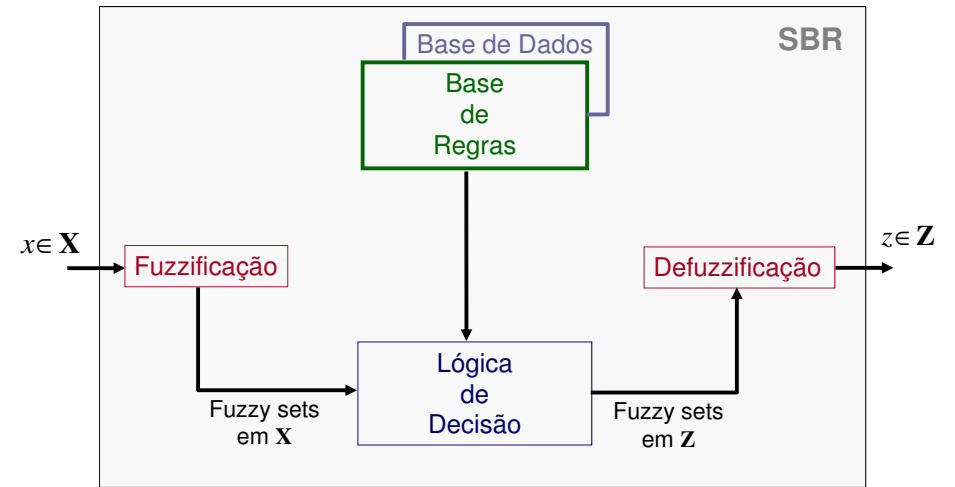
©DcaFeecUnicampGomide

Regras Lingüísticas

- Geralmente são proposições “Se – Então”
- A forma mais usual é do tipo



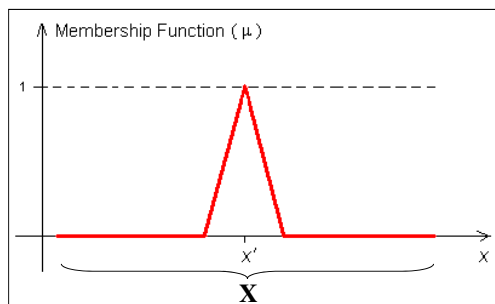
Sistemas Baseados em Regras Nebulosas



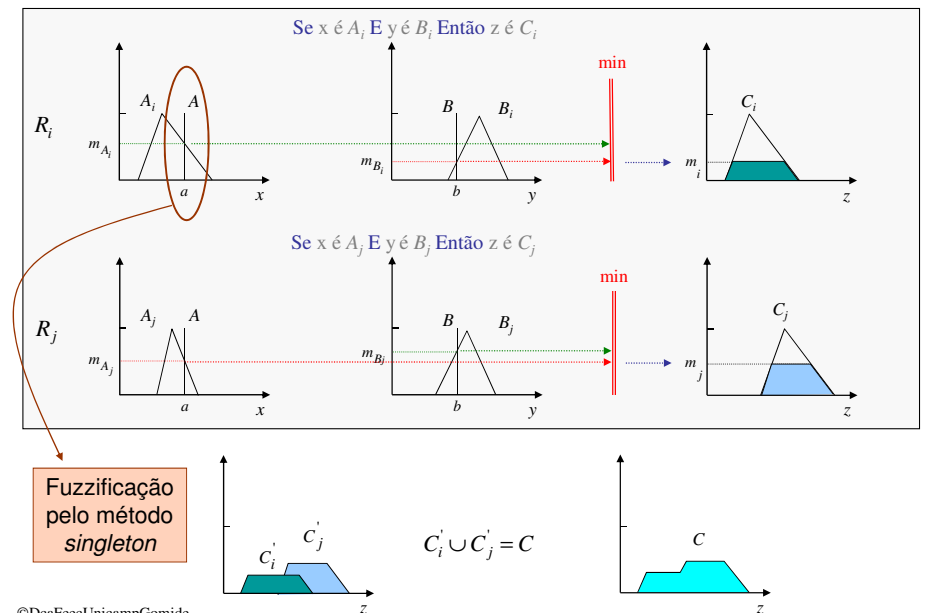
Fuzzificação

• Singleton:
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x = x' \\ 0, & \text{se } x \neq x' \end{cases}$$

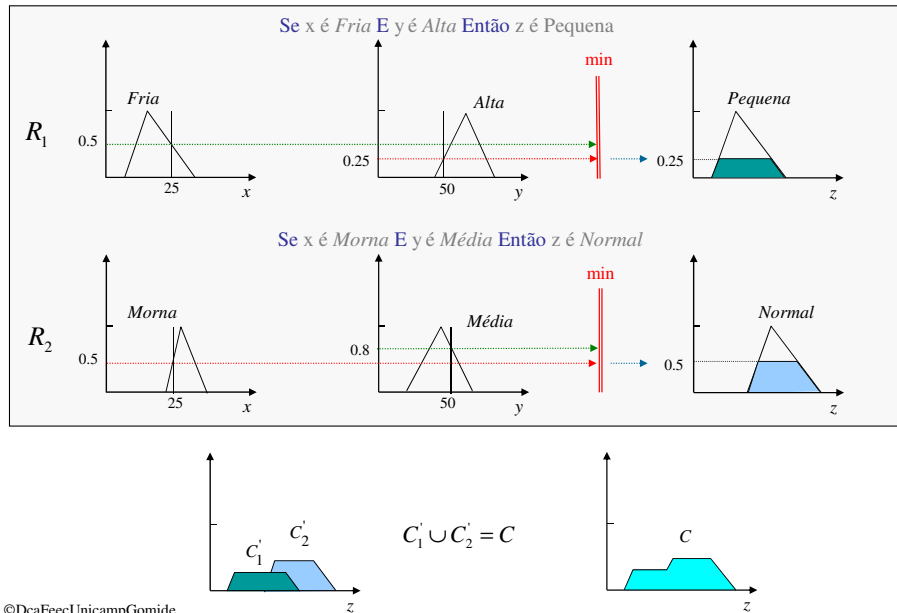
- Método do Triângulo:



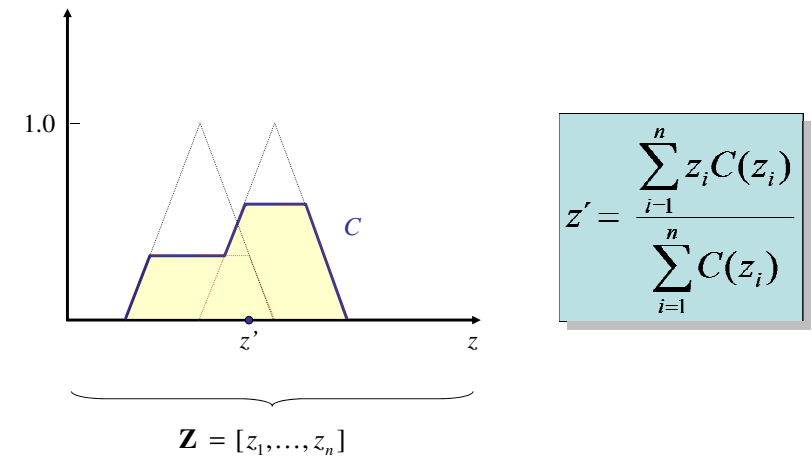
Lógica de Decisão: Inferência Clássica de Mamdani



Exemplo Simples



Defuzzificação: Método do Centro de Gravidade / Área



Defuzzificação: Método do Centro de Gravidade / Área

Exemplo:

$$C = \{ 0/5, 0/6, 0.25/7, 0.25/8, 0.25/9, 0.75/10, 0.75/11, 0.25/12, 0/13, 0/14, 0/15 \}$$

No quadro...

Modelos Lingüísticos

Geração de Bases de Regras (Método Ingênuo)

Li-Xin Wang, Adaptive Fuzzy Systems and Control, Prentice Hall, 1994
K. M. Passino & S. Yurkovich, Fuzzy Control, Addison-Wesley, 1997

- **Dado:** Conjunto de pares entrada/saída (atributos / atributo meta)

$$(x^1, y^1; z^1), (x^2, y^2; z^2), \dots, (x^i, y^i; z^i), \dots$$

x, y entradas / atributos

z saída / atributo meta

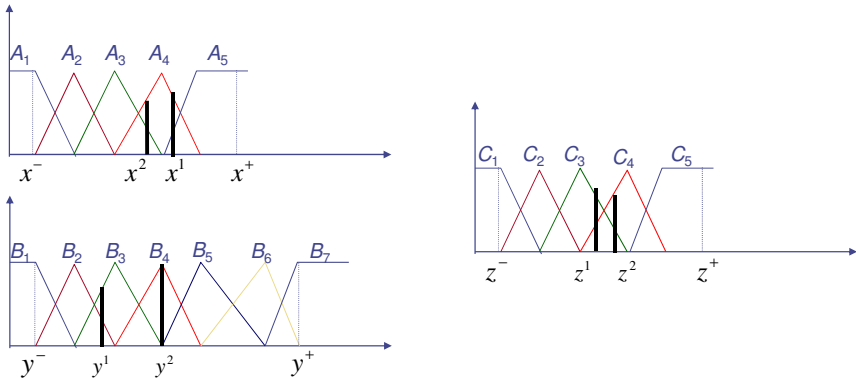
- **Determinar:** Base de Regras Se-Então tal que

$$F : (X, Y) \rightarrow Z$$

Modelos Lingüísticos

1 - Granularizar espaços de entrada e saída

- Determinar universos de discurso: $[x^-, x^+]$, $[y^-, y^+]$, $[z^-, z^+]$
- Particionar universos (em geral usando de 2 a 7 termos lingüísticos em cada):



©DcaFecUnicampGomide

2 - Gerar regras a partir dos dados

- Determinar graus de ativação
- Criar regras correspondentes aos graus mais altos:
 $R_1 : \text{Se } x \text{ é } A_4 \text{ e } y \text{ é } B_3 \text{ então } z \text{ é } C_3$
 $R_2 : \text{Se } x \text{ é } A_4 \text{ e } y \text{ é } B_4 \text{ então } z \text{ é } C_4$

3 - Resolver conflitos

- Determinar grau de cada regra: $\text{Grau}(\text{Regra}) = A_k(x) \times B_l(y) \times C_m(z)$
- Resolva **conflitos** tomando a regra de maior grau

4 - Sintonia fina opcional (modelagem quantitativa)

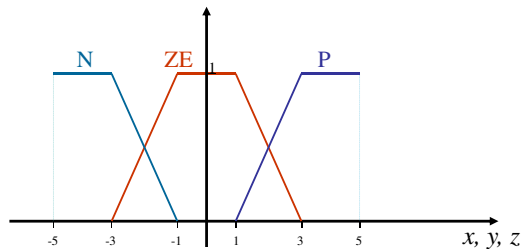
- Ajuste das funções de pertinência (fuzzy sets)

©DcaFecUnicampGomide

©ICMC-USP-Campello

Exemplo

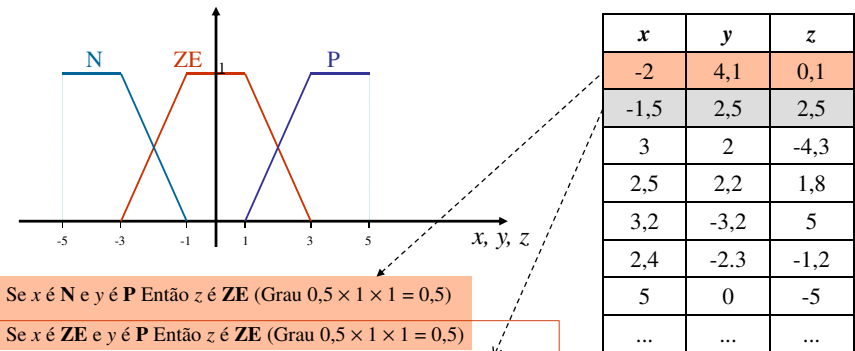
- Instâncias de 3 variáveis, sendo 2 entradas (x, y) e 1 saída (z), com valores no mesmo universo de discurso:



x	y	z
-2	4,1	0,1
-1,5	2,5	2,5
3	2	-4,3
2,5	2,2	1,8
3,2	-3,2	5
2,4	-2,3	-1,2
5	0	-5
...

Exemplo

- Instâncias de 3 variáveis, sendo 2 entradas (x, y) e 1 saída (z), com valores no mesmo universo de discurso:



Se x é N e y é P Então z é ZE (Grau $0,5 \times 1 \times 1 = 0,5$)

Se x é ZE e y é P Então z é ZE (Grau $0,5 \times 1 \times 1 = 0,5$)

Se x é ZE e y é P Então z é P (Grau $0,75 \times 0,75 \times 0,75 = 0,422$)

conflito! sobrevive a regra (ZE, P) → ZE

Exercício: Completar o exemplo para as demais instâncias da base de dados !

Exercícios

1. Fuzzificar a grandeza numérica $r = 10\text{Mbps}$ utilizando o método do triângulo com uma incerteza máxima de $\pm 1\text{Mbps}$
2. Calcular e representar graficamente (em detalhes) o conjunto fuzzy de saída inferido através do Método de Mamdani e as seguintes regras:

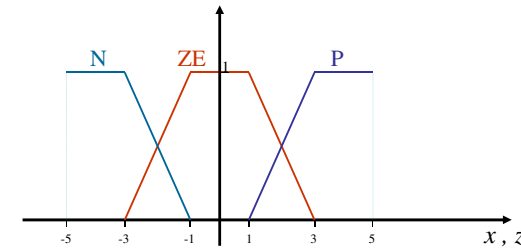
R1: Se x é Negativo Então z é Positivo

R2: Se x é Zero Então z é Zero

onde a entrada é dada por $x = -1.5$ e os conjuntos fuzzy Negativo* (N), Zero* (ZE) e Positivo* (P) são dados (tanto para a entrada como para a saída) a seguir

Exercícios

continuação...



3. Calcular a saída numérica referente ao exercício anterior utilizando o método do centro de gravidade. Use uma discretização 0.5 do universo de discurso
4. Repetir 2 e 3 para $x = -2.5$

Referência Principal

- W. Pedrycz & F. Gomide, "An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design", MIT Press, 1998.