

# Trabalho Computacional - ICA

Departamento de Engenharia de Teleinformática  
Programa de Pós-Grad. em Eng. de Teleinformática (PPGETI)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Responsável: Prof. Guilherme de Alencar Barreto  
gbarreto@ufc.br

## 1 Sistemas de Inferência Fuzzy (Mandani e Takagi-Sugeno)

**Questão 1** - Com o auxílio do código Matlab/Octave disponibilizado no SIGAA, adapte-o a fim de implementar uma solução para o problema de interesse (ver anexo) por meio de um sistema de inferência fuzzy Mandani do tipo “Agrega, depois Desfuzzifica” (*Aggregate, then Infer*). Pede-se:

1. Gráficos das Funções de Pertinência das Variáveis de Entrada.
2. Exemplo típico de funcionamento do sistema, ilustrando todas as etapas do processo de inferência (fuzzificação, ativação das regras, implicação, agregação das regras e desfuzzificação).

**Questão 2** - Repita a questão anterior implementando agora uma solução para o problema de interesse por meio de um sistema de inferência fuzzy Mandani do tipo “Desfuzzifica, depois Agregação” (*Infer, then Aggregate*). Compare a solução obtida com a do exemplo anterior e discuta os resultados.

**Questão 3** - Com o auxílio do código Matlab/Octave disponibilizado no SIGAA, aplique o sistema de inferência fuzzy do tipo Takagi-Sugeno para obter um modelo de regressão não-linear aplicado aos dados disponíveis no link abaixo:

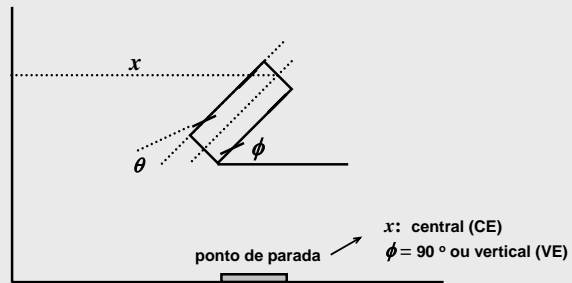
<http://www.itl.nist.gov/div898/strd/nls/data/gauss3.shtml>.

Compare o resultado com o obtido por regressão polinomial.

Boa Sorte!!!

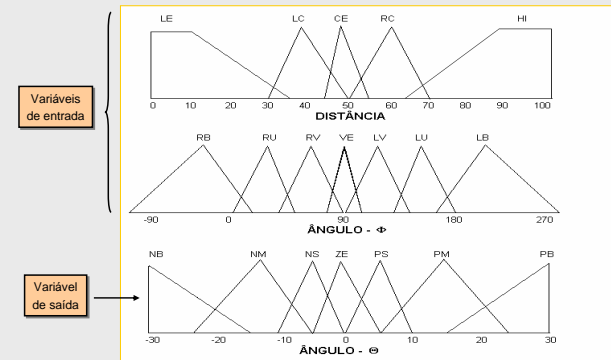
## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

**Exemplo:** Estacionamento de um veículo



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Conjuntos fuzzy:



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

**BASE DE REGRAS: FUZZY ASSOCIATIVE MEMORY**

$\phi \backslash x$	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS

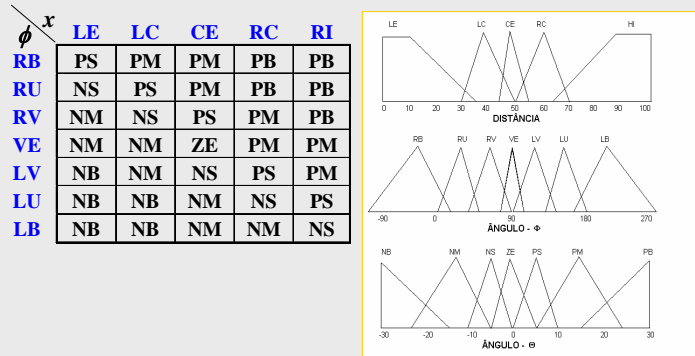
## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$\phi \backslash x$	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS

**Regra:** se ( $x$  é LE) e ( $\phi$  é RB) então ( $\theta$  é PS)

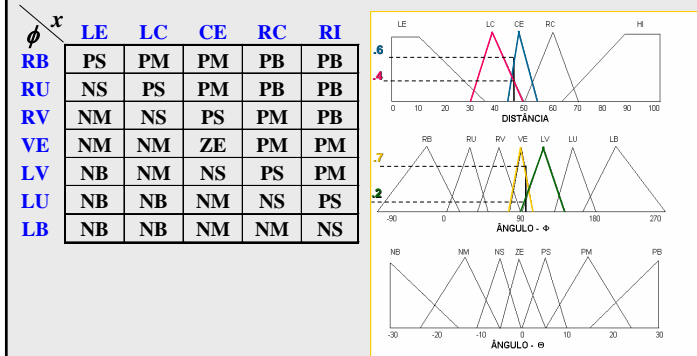
## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Entradas precisas:  $x = 47,5m$   $\phi = 99^\circ$



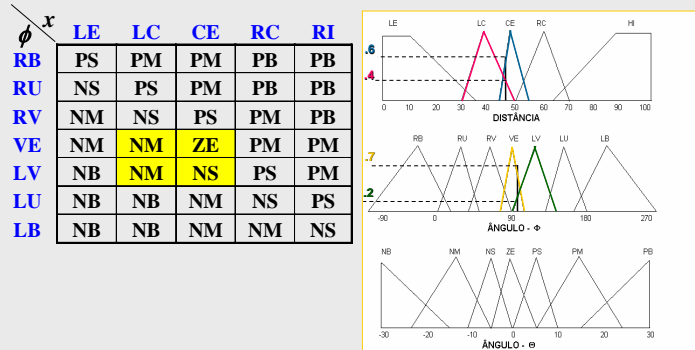
## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Entradas precisas:  $x = 47,5m$   $\phi = 99^\circ$



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Entradas precisas:  $x = 47,5m$   $\phi = 99^\circ$



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Operadores considerados *neste exemplo*:

- conectivo e ( $f_e$ )  $\Rightarrow$  **min**
- implicação  $\Rightarrow$  **min**
- **norma-t no modus ponens generalizado**  $\Rightarrow$  **min**  
(regra de inferência – composição de relações)
- conectivo ou ( $f_{ou}$ )  $\Rightarrow$  **max**

## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

**Exemplo:** Regra<sup>4,2</sup>: se (x é LC) e (φ é VE) então (θ é LM)

- conectivo e ( $f_e$ )  $\Rightarrow$  **min**
- implicação  $\Rightarrow$  **min**
- norma-t no **modus ponens generalizado**  $\Rightarrow$  **min**  
(regra de inferência – composição de relações – **sup-star**)

$A_1^*$  e  $A_2^*$  são conjuntos singletons

$$\mu_{B'}(\theta) = \max_{x, \phi} [(\mu_{A_1}(x) \wedge \mu_{A_2}(\phi)) * \mu_{A \rightarrow B}(x, \phi, \theta)] \Rightarrow \mu_{B'}(\theta) = \mu_{A \rightarrow B}(x', \phi', \theta)$$

$$\mu_{B'}(\theta) = (\mu_{A_1}(x') \wedge \mu_{A_2}(\phi')) \wedge \mu_B(\theta)$$

- conectivo ou ( $f_{ou}$ )  $\Rightarrow$  **max** (união das quatro regras)

## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Dois antecedentes:  $\mu_{B'}(\theta) = (\mu_{A_1}(x') \wedge \mu_{A_2}(\phi')) \wedge \mu_B(\theta)$

Para cada uma das regras ativadas, tem-se:  
(cf. figuras a seguir)

$$\mu_{NM'}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0,4 \wedge 0,7) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0,4 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

$$\mu_{NM'}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0,4 \wedge 0,2) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0,2 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

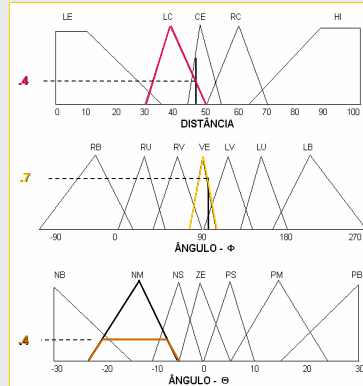
$$\mu_{ZE'}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = (0,6 \wedge 0,7) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = 0,6 \wedge \mu_{ZE}(\theta)$$

$$\mu_{NS'}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NS}(\theta) = (0,6 \wedge 0,2) \wedge \mu_{NS}(\theta) = 0,2 \wedge \mu_{NS}(\theta)$$

## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$$\mu_{NM'}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0,4 \wedge 0,7) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0,4 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

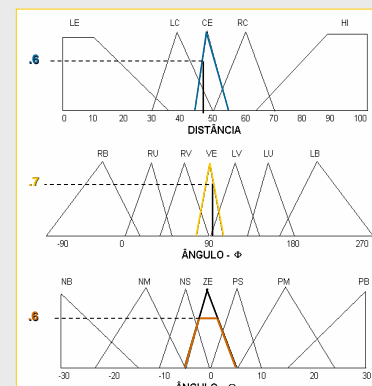
$\phi \backslash x$	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$$\mu_{ZE'}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{VE}(\phi')) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = (0,6 \wedge 0,7) \wedge \mu_{ZE}(\theta) = 0,6 \wedge \mu_{ZE}(\theta)$$

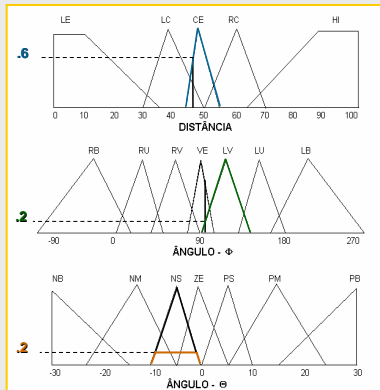
$\phi \backslash x$	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

$$\mu_{NS'}(\theta) = (\mu_{CE}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NS}(\theta) = (0,6 \wedge 0,2) \wedge \mu_{NS}(\theta) = 0,2 \wedge \mu_{NS}(\theta)$$

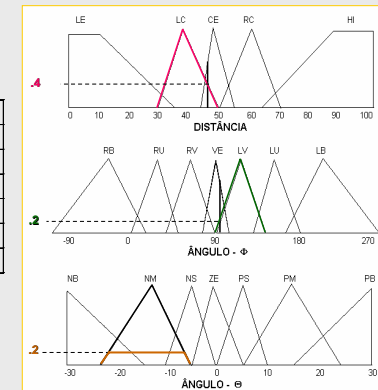
$\phi$	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

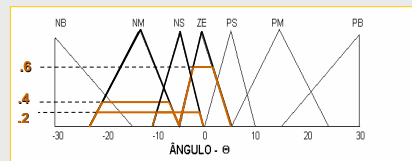
$$\mu_{NM'}(\theta) = (\mu_{LC}(x') \wedge \mu_{LV}(\phi')) \wedge \mu_{NM}(\theta) = (0,4 \wedge 0,2) \wedge \mu_{NM}(\theta) = 0,2 \wedge \mu_{NM}(\theta)$$

$\phi$	LE	LC	CE	RC	RI
RB	PS	PM	PM	PB	PB
RU	NS	PS	PM	PB	PB
RV	NM	NS	PS	PM	PB
VE	NM	NM	ZE	PM	PM
LV	NB	NM	NS	PS	PM
LU	NB	NB	NM	NS	PS
LB	NB	NB	NM	NM	NS



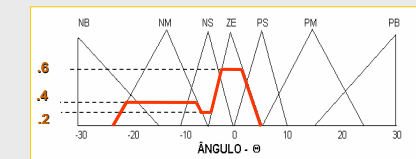
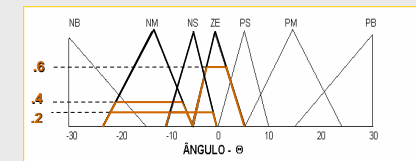
## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

União dos consequentes de cada regra



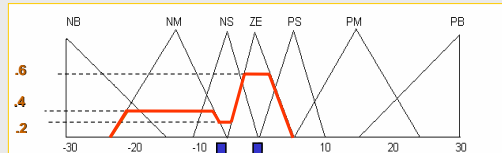
## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

União dos consequentes de cada regra



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

### Defuzzificação:



COG

MOM

considera todas as regras

considera somente as regras com o maior grau de ativação

forma dos conjuntos é importante



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Número de conjuntos (ou de funções de pertinência) dos antecedentes



Número de regras possíveis  
( $5 \times 7 = 35$ , no exemplo)

muitos conjuntos



- dificuldade na construção da base de regras
- maior custo computacional
- menor interpretabilidade (lingüística)



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Formas das funções de pertinência



- arbitrárias, de início
- ajustadas de acordo com o desempenho



sistemas neuro-fuzzy e fuzzy-genéticos



## SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY

Conclusão  $\Rightarrow$  o desempenho de um sistema fuzzy é afetado por:

- base de regras
- número e forma dos conjuntos fuzzy
- operador de implicação
- método de defuzzificação

