



## **SISTEMAS INTELIGENTES**

### Prática 09 – Sistemas de Inferência Fuzzy (Especificação Estrutural)

Ivan Nunes da Silva



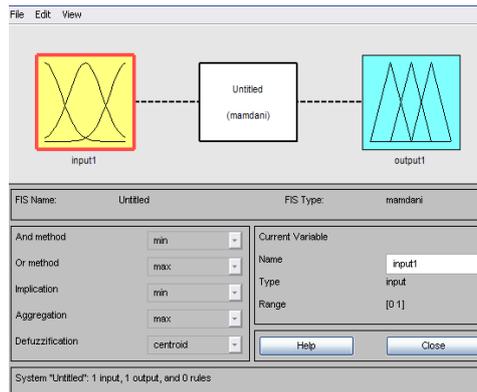
### **Objetivos da Aula**

- Fixar a teoria sobre os Sistemas de Inferência Fuzzy vista nas aulas teóricas.
- Introduzir os principais componentes da Toolbox de Sistemas Fuzzy do Matlab.
- Implementar soluções inteligentes para problemas envolvendo Automação de Processos.



## Sistemas Fuzzy no Toolbox do Matlab (I)

- A ToolBox de Sistemas Fuzzy do Matlab possui uma interface gráfica amigável e eficiente.
- Basta digitar **'fuzzy'** na linha de comando.

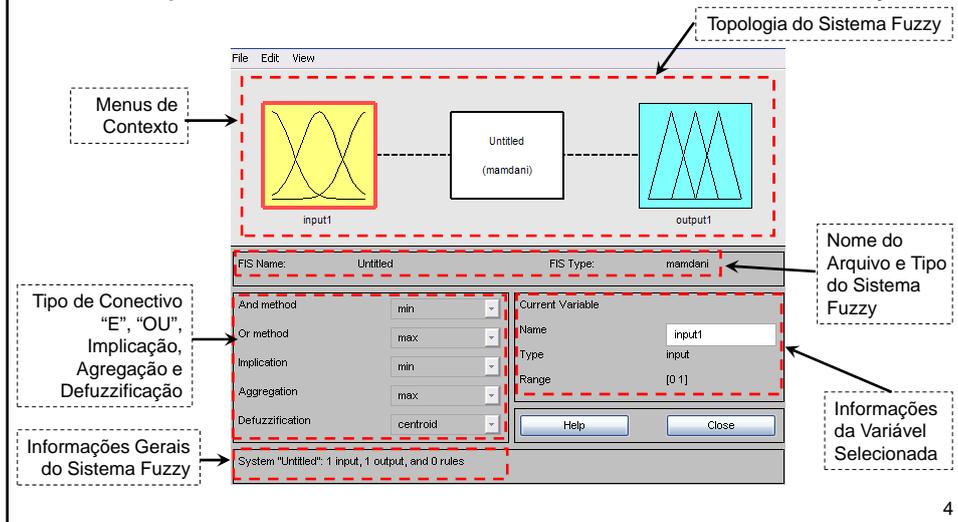


3



## Sistemas Fuzzy no Toolbox do Matlab (II)

- Principais elementos da Toolbox de Sistemas Fuzzy:



4



## Sistemas Fuzzy no Toolbox do Matlab (III)

### ➤ Menus de Contexto

#### ▪ File

- New Fis
  - Mamdani
  - Sugeno
- Import
  - From Workspace
  - From Disk
- Export
  - To Workspace
  - To Disk
- Print
- Close

### ➤ Menus de Contexto

#### ▪ Edit

- Undo
- Add Variable
  - Input
  - Output
- Remove Selected Variable
- Membership Functions
- Rules



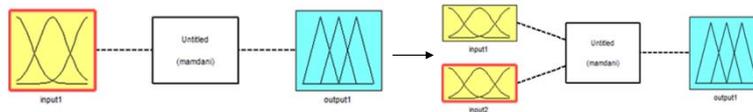
## Sistemas Fuzzy no Toolbox do Matlab (IV)

### ➤ Menus de Contexto

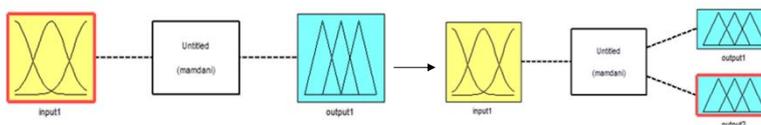
#### ▪ Edit

##### • Add Variable

##### ➤ Input



##### ➤ Output





## Sistemas Fuzzy no Toobox do Matlab (V)

➤ **Menus de Contexto**

▪ **Edit**

• **Membership Function**

The screenshot shows the MATLAB FIS editor interface. At the top, there is a 'FIS Variables' section with icons for 'input1', 'output1', and 'output2'. A 'Membership function plots' window displays three fuzzy membership functions: 'mf1' (a decreasing line), 'mf2' (a triangular function), and 'mf3' (an increasing line). Below the plots, there are two panels for parameter configuration. The 'Current Variable' panel shows 'input1' with a range of [0 1]. The 'Current Membership Function' panel shows 'mf1' with a type of 'trimf' and parameters [-0.4 0 0.4].

Annotations with dashed boxes and arrows point to:

- Variáveis Fuzzy**: Points to the FIS Variables section.
- Funções de Pertinência e Discretização**: Points to the membership function plots.
- Parâmetros das Variáveis**: Points to the Current Variable configuration panel.
- Parâmetros das Funções de Pertinência**: Points to the Current Membership Function configuration panel.



## Sistemas Fuzzy no Toobox do Matlab (VI)

➤ **Menus de Contexto**

▪ **Edit**

• **Rules**

The screenshot shows the MATLAB FIS editor's rule editor. It displays a list of 'Regras Fuzzy Completas' (Complete Fuzzy Rules) with their corresponding fuzzy logic expressions. Below the list, there is a visual editor for creating rules. It includes dropdown menus for 'input1 is', 'input2 is', and 'output1 is', each with options for 'mf1', 'mf2', 'mf3', and 'none'. Logical connectives 'and' and 'not' are used to combine these. A 'Connection' section allows selecting 'or' or 'and' with a 'Weight' of 1. Buttons for 'Delete rule', 'Add rule', and 'Change rule' are also present.

Annotations with dashed boxes and arrows point to:

- Regras Fuzzy Completas**: Points to the list of rules.
- Antecedentes das Regras**: Points to the 'input1 is' and 'input2 is' dropdown menus.
- Conseqüentes das Regras**: Points to the 'output1 is' dropdown menu.
- Tipo de Conectivo Lógico**: Points to the 'or' and 'and' radio buttons.

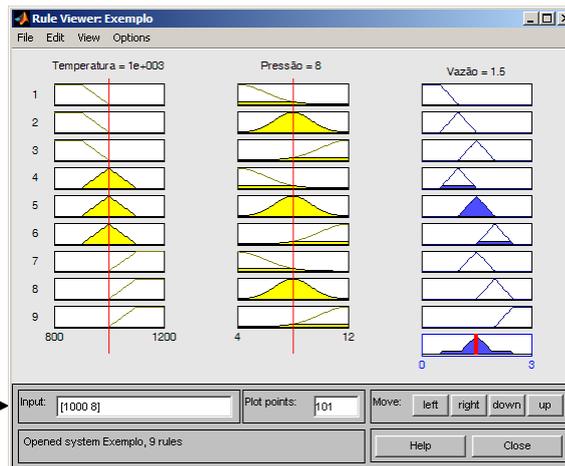


## Sistemas Fuzzy no Toolbox do Matlab (VII)

### ➤ Menus de Contexto

#### ▪ View

- Rules
- Surface



Digitar Valores de Entrada e Teclar ENTER



## Definição de Problema Prático (I)

Em um determinado processo industrial, a vazão ideal de saída de um produto de uma caldeira pode ser estimada mediante às grandezas físicas de Pressão e Temperatura.

O especialista do processo forneceu alguns dados que foram utilizados para o projeto de um sistema fuzzy para mapear o comportamento existente entre as variáveis de entrada e saída, e assim, efetuar o controle de abertura da válvula da caldeira.

### Variáveis de Entrada:

**Temperatura:** varia de 800°C até 1200°C

**Pressão:** varia de 4 atm até 12 atm

### Variável de Saída:

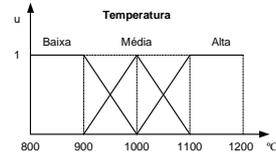
**Vazão:** varia de 0 m<sup>3</sup>/s até 3m<sup>3</sup>/s



## Definição de Problema Prático (II)

### Entrada 1: Temperatura (T)

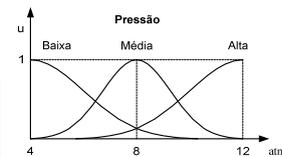
- Variável Linguística: T (°C)
- Termos Linguísticos: “Baixa”, “Média” e “Alta”
- Funções de Pertinência: “Trapezoidal” e “Triangular”
- Universo de discurso: [800 ; 1200] (°C)



### Entrada 2: Pressão (P)

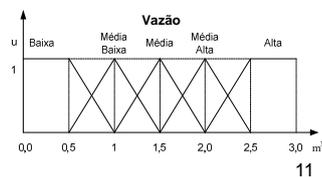
- Variável Linguística: Pressão
- Termos Linguísticos: “Baixa”, “Média”, “Alta”
- Funções de Pertinência: “Gaussiana”
- Universo de discurso: [4 ; 12] (atm)

Termo	Variância	Centro
Baixa	2	4
Média	1.3	8
Alta	2	12



### Saída: Vazão Desejada (V)

- Variável Linguística: Vazão
- Termos Linguísticos: “Baixa”, “Média Baixa”, “Média”, “Média Alta”, “Alta”
- Funções de Pertinência: “Trapezoidal” e “Triangular”
- Universo de discurso: [0 ; 3] (m³/s)



11



## Definição de Problema Prático (III)

### Especificação das Regras Fuzzy

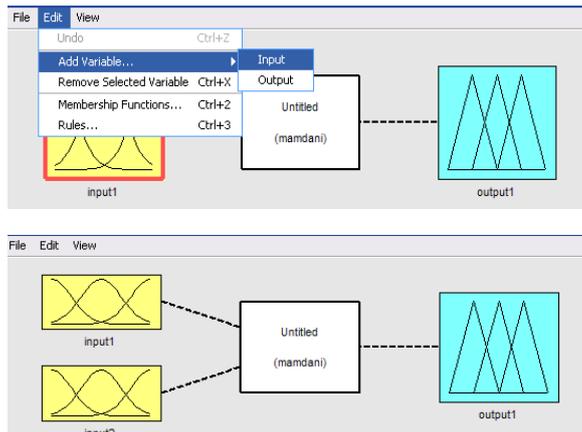
- Regra 1: Se Temperatura é Baixa e Pressão é Baixa então Vazão é Baixa
- Regra 2: Se Temperatura é Baixa e Pressão é Média então Vazão é Média- Baixa
- Regra 3: Se Temperatura é Baixa e Pressão é Alta então Vazão é Média
- Regra 4: Se Temperatura é Média e Pressão é Baixa então Vazão é Média-Baixa
- Regra 5: Se Temperatura é Média e Pressão é Média então Vazão é Média
- Regra 6: Se Temperatura é Média e Pressão é Alta então Vazão é Média-Alta
- Regra 7: Se Temperatura é Alta e Pressão é Baixa então Vazão é Média
- Regra 8: Se Temperatura é Alta e Pressão é Média então Vazão é Média-Alta
- Regra 9: Se Temperatura é Alta e Pressão é Alta então Vazão é Alta

12

## Implementação do Problema Prático {Parte I} (Adicionando as Variáveis de Entrada/Saída)



**Abrir a ToolBox {fuzzy} e adicionar variáveis de Entrada/Saída.**

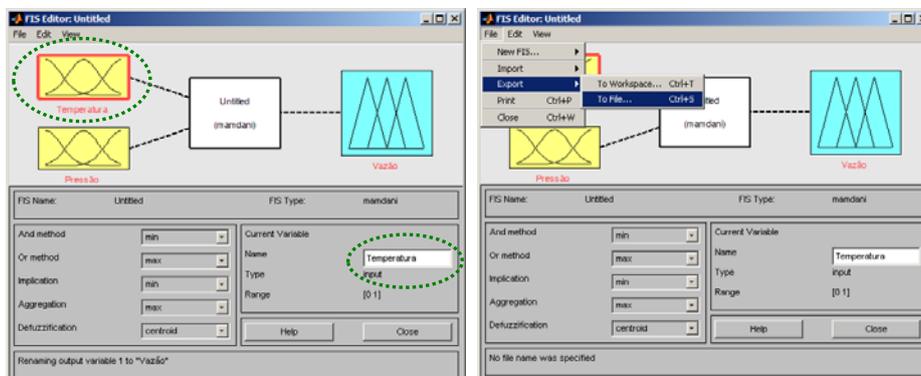


13

## Implementação do Problema Prático {Parte II} (Modificando Variáveis de Entrada/Saída)



**Alterando os nomes das variáveis de Entrada/Saída e salvando o arquivo contendo o projeto.**

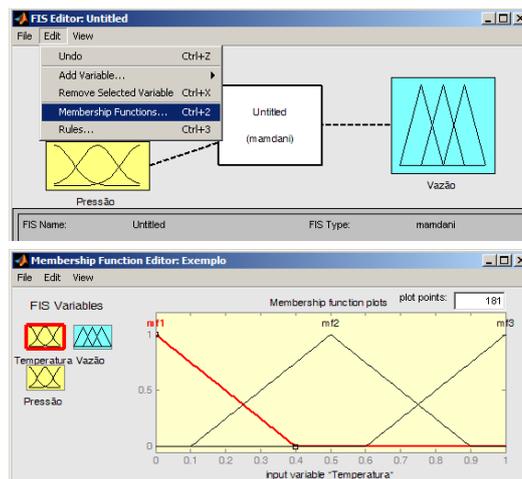


14

## Implementação do Problema Prático {Parte III} (Acessando as Funções de Pertinência)



**Acessando informações das funções de pertinência associadas às variáveis de Entrada/Saída.**

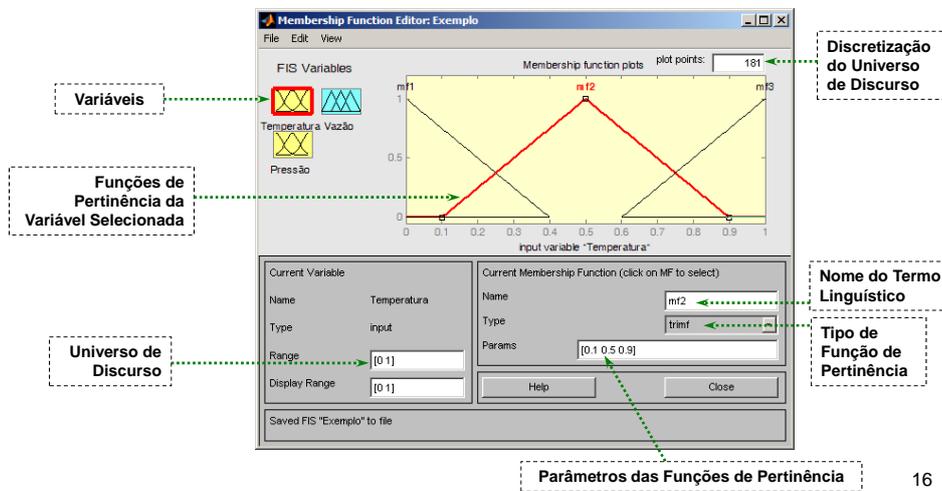


15

## Implementação do Problema Prático {Parte IV} (Especificando Atributos das Funções de Pertinência)



**Definindo os atributos das funções de pertinência associadas às variáveis de Entrada/Saída.**

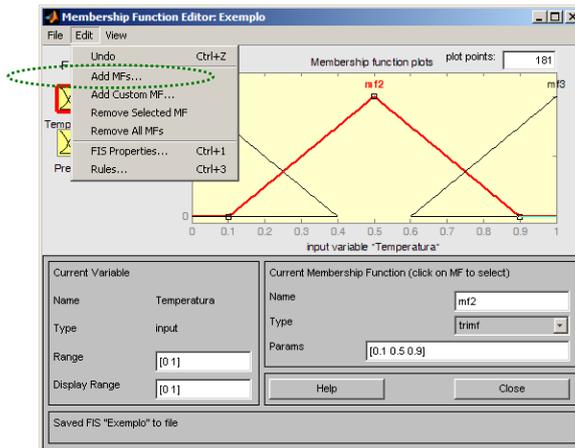


16

## Implementação do Problema Prático {Parte V} (Adicionando Funções de Pertinência)



É possível adicionar mais funções de pertinência por meio do menu "Edit" → "Add MFs..."

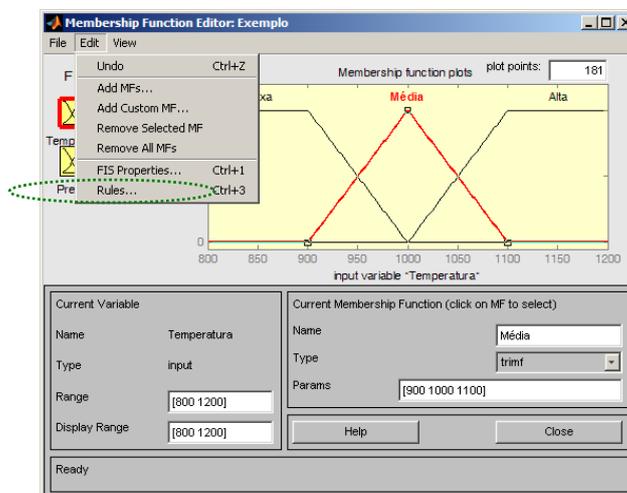


17

## Implementação do Problema Prático {Parte VI} (Acessando as Regras Fuzzy)



Acessando informações das regras Fuzzy que relacionam as variáveis de Entrada/Saída.

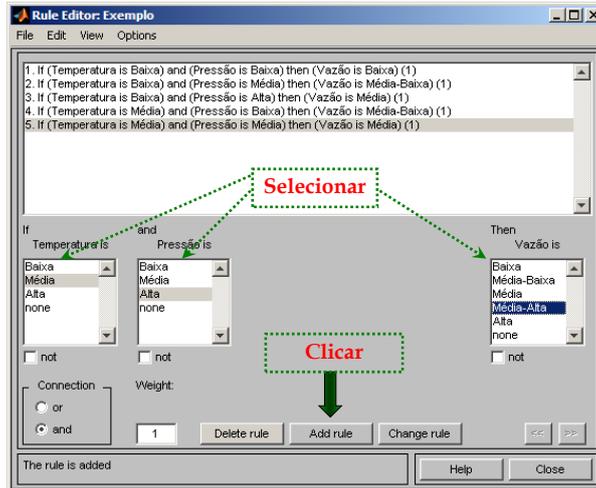


18

Implementação do Problema Prático {Parte VII}  
 (Inserindo as Combinações de Regras Fuzzy)



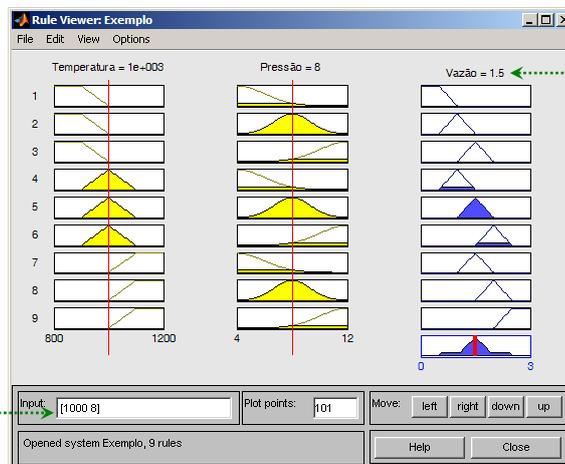
Após ajuste dos atributos das funções de pertinência de Entrada/Saída, insere-se as regras fuzzy (slide 13).



Implementação do Problema Prático {Parte VIII}  
 (Visualizando Valores de Saída do Sistema Fuzzy)



Após configurar toda estrutura do sistema fuzzy, obtém-se então as estimações de saídas desejadas, verificando-se também todas regras ativadas. Para tanto, basta acessar "View" → "Rules"



Entrar com valores de Temperatura e Pressão  
 Pressionar "ENTER"

## Implementação do Problema Prático {Parte IX} (Estimando Valores de Saída do Sistema Fuzzy)



Utilize o sistema fuzzy implementado para gerar as saídas de “Vazão” para os seguintes valores de entrada de “Temperatura” e “Pressão”:

Teste	Temperatura	Pressão	Vazão (Fuzzy)	Vazão (Desejada)	Erro Relativo (%)
1	850	8		<b>1.01</b>	
2	900	4.5		<b>0.42</b>	
3	1000	9		<b>1.63</b>	
4	1100	6		<b>1.70</b>	
5	1150	10		<b>2.43</b>	
6	880	11		<b>1.47</b>	
7	950	7		<b>1.01</b>	
8	1049	5		<b>1.26</b>	
9	1089	7		<b>1.74</b>	
10	1170	9		<b>2.15</b>	

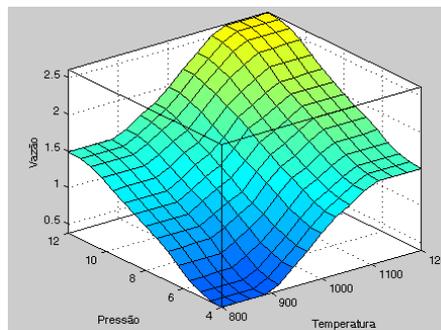
Calcular também o “Erro Relativo Médio” dos resultados do teste.

21

## Implementação do Problema Prático {Parte X} (Superfície Fuzzy de Saída do Sistema Fuzzy)



- A superfície de saída do Sistema Fuzzy em função de suas entradas pode ser também automaticamente obtida para propósitos de implementação direta em hardware.
- Neste caso, basta-se transferir os valores desta superfície fuzzy para um hardware dedicado, evitando-se então a implementação de todo processo de inferência fuzzy.
- Para tanto, basta acessar “View” → “Surface”.



22