

### T3 – Atividade com Lógica Fuzzy

#### 1. Descrição da aplicação

A aplicação escolhida tem como objetivo demonstrar a capacidade da lógica Fuzzy no desenvolvimento de controladores para otimização de processos cervejeiros.

Dentre os diversos fatores envolvidos no processo de fabricação de uma cerveja, a temperatura é a variável que se deseja maior precisão, pois exerce um grande efeito na velocidade da fermentação e no sabor do produto final. Portanto, deseja-se controlar a temperatura de modo que fique sempre em um determinado valor, no caso do artigo escolhido, 16°C (Cerveja Guinness Nigeria Plc).

#### 2. Sistema Fuzzy

##### a. Dados de entrada/saída

O valor de temperatura ( $T_0$ ) é obtido através de sensores e serve como dado de entrada para o controlador Fuzzy. Este dado é então comparado com o valor desejado ( $T_x$ ) e o controlador opera de modo a reduzir a diferença entre eles.

O dado de saída do controlador é a tensão que deve ser aplicada a um motor de forma que esta abra ou feche uma válvula, a qual é responsável por liberar o aditivo de resfriamento para o recipiente em que a mistura se encontra.

##### b. Variáveis e valores linguísticos

As variáveis linguísticas utilizadas são *temp\_error*, *temp\_error\_dot* e *output\_voltage*, indicando a diferença entre  $T_0$  e  $T_x$ , a variação de mudança de temperatura e a tensão necessária para ativação do motor, respectivamente.

Os valores linguísticos da variável *output\_voltage* são Zero, Small, Middle e Large, enquanto os valores linguísticos das variáveis *temp\_error* e *temp\_error\_dot* são:

- (N) - Negativo, quando  $T_x < T_0$
- (Z) - Zero, quando  $T_x = T_0$
- (P) - Positivo, quando  $T_x > T_0$

A partir da definição das variáveis e valores linguísticos, o artigo informa as funções de pertinência, conforme Figura 1. 2 e 3:

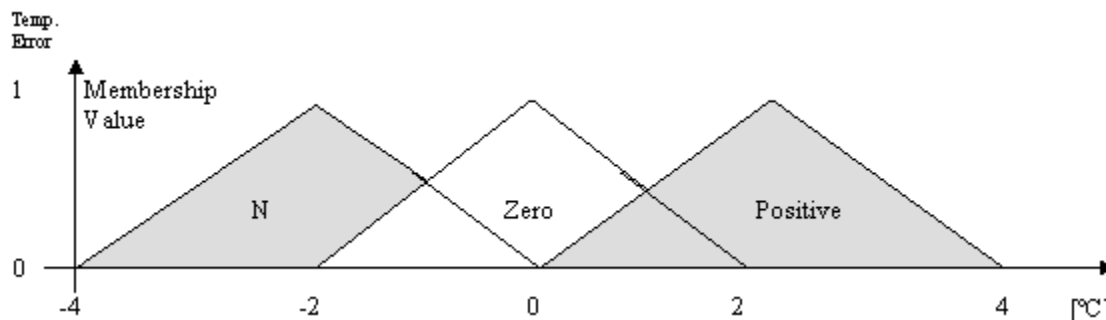


Figura 1 – Função de pertinência de *temp\_error*

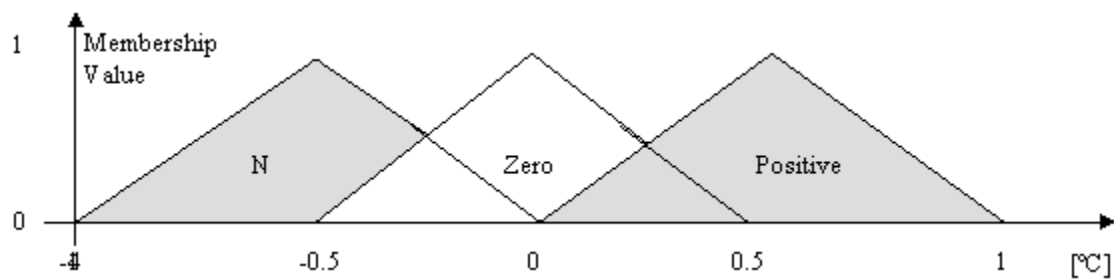


Figura 2 - Função de pertinência de temp\_error\_dot

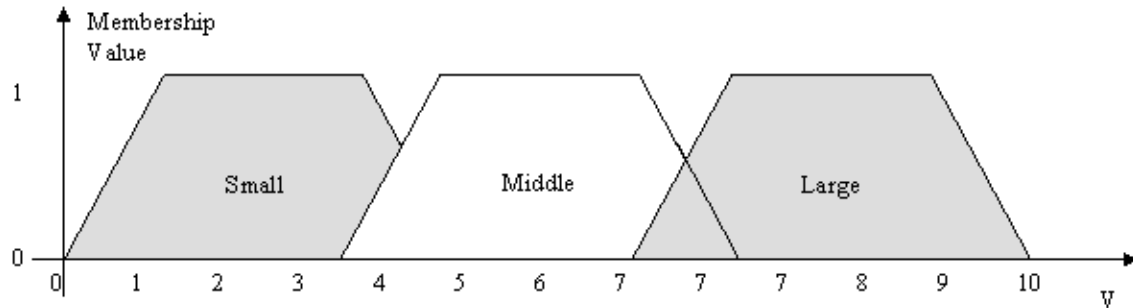


Figura 3 - Função de pertinência de output\_voltage

### c. Regras Fuzzy utilizadas

Através da matriz de regras disponibilizada no artigo (Figura 4), foi possível extrair o seguinte conjunto de regras:

Output = output voltage		Temperature error (°C)		
		N	Z	P
Temperature error_dot (°C/S)	N	Zero	Zero	Zero
	Z	Zero	Zero	Small
	P	Small	Middle	Large

Figura 4 - A matriz de regras

- R1 : SE temp\_error\_dot é N (E) temp\_error é N ENTÃO output\_voltage é zero  
R2 : SE temp\_error\_dot é N (E) temp\_error é Z ENTÃO output\_voltage é Zero  
R3 : SE temp\_error\_dot é N (E) temp\_error é P ENTÃO output\_voltage é Zero  
R4 : SE temp\_error\_dot é Z (E) temp\_error é N ENTÃO output\_voltage é Zero  
R5 : SE temp\_error\_dot é Z (E) temp\_error é Z ENTÃO output\_voltage é Zero  
R6 : SE temp\_error\_dot é Z (E) temp\_error é P ENTÃO output\_voltage é Small  
R7 : SE temp\_error\_dot é P (E) temp\_error é N ENTÃO output\_voltage é Small  
R8 : SE temp\_error\_dot é P (E) temp\_error é Z ENTÃO output\_voltage é Middle  
R9 : SE temp\_error\_dot é P (E) temp\_error é P ENTÃO output\_voltage é Large

### 3. Exemplo de funcionamento

Considerando que a diferença entre Tx e T0 seja igual a 1 (temp\_error) e variação da mudança seja de -0,5 (temp\_error\_dot), qual a tensão de saída necessária para deixar a temperatura em 16°C?

### a. Fuzzyfication

Inicialmente, verifica-se os valores da função de pertinência para cada variável linguística, conforme Tabela 1:

temp_error	N(u)	$(u - -4) / (-2 - -4)$	caso $-4 \leq u \leq -2$
		$(0 - u) / (0 - -2)$	caso $-2 < u \leq 0$
		0	caso $-4 > u > 0$
	Z(u)	$(u - -2) / (0 - -2)$	caso $-2 \leq u \leq 0$
		$(2 - u) / (2 - 0)$	caso $0 < u \leq 2$
		0	caso $-2 > u > 2$
	P(u)	$(u - 0) / (2 - 0)$	caso $0 \leq u \leq 2$
		$(4 - u) / (4 - 2)$	caso $2 < u \leq 4$
		0	caso $0 > u > 4$

temp_error_dot	N(u)	$(u - -1) / (-0.5 - -1)$	caso $-1 \leq u \leq -0.5$
		$(0 - u) / (0 - -0.5)$	caso $-0.5 < u \leq 0$
		0	caso $-0.5 > u > 0$
	Z(u)	$(u - -0.5) / (0 - -0.5)$	caso $-0.5 \leq u \leq 0$
		$(0.5 - u) / (0.5 - 0)$	caso $0 < u \leq 0.5$
		0	caso $-0.5 > u > 0.5$
	P(u)	$(u - 0) / (0.5 - 0)$	caso $0 \leq u \leq 0.5$
		$(1 - u) / (1 - 0.5)$	caso $0.5 < u \leq 1$
		0	caso $0 > u > 1$

Tabela 1 - Descrição das funções de pertinência que regem o problema

Através das funções de pertinência, podemos realizar o processo de fuzzyfication, o qual transforma os valores de entrada (crisp) em valores difusos, conforme Tabela 2:

temp_error	temp_error_dot
$N(1) = 0$	$N(-0.5) = (-0.5+1)/(-0.5+1) = 1$
$Z(1) = (2-1)/(2-0) = 0.5$	$Z(-0.5) = (-0.5+0.5)/(0+0.5) = 0$
$P(1) = (1-0)/(2-0) = 0.5$	$P(-0.5) = 0$

Tabela 2 –Fuzzyfication

### b. Inferencia

Após realizado a fuzzyfication, é realizada a inferência dos valores difusos nas regras previamente estabelecidas utilizando a definição de Mamdani. O resultado é dado na Tabela 3:

Regra	Inferência	Resultado	Saída	Resultado
R1	MIN(0,1)	0	zero	MAX(0,0,0) = 0
R2	MIN(0,0)	0	zero	
R3	MIN(0,0)	0	zero	
R4	MIN(0.5,1)	0.5	zero	MAX(0.5,0,0) = 0
R5	MIN(0.5,0)	0	zero	
R6	MIN(0.5,0)	0	small	
R7	MIN(0.5,1)	0.5	small	MAX(0.5,0,0) = 0
R8	MIN(0.5,0)	0	medium	
R9	MIN(0.5,0)	0	large	

Tabela 3 - Inferência nas regras R1 à R9

### c. Defuzzyfication

Para o processo de Defuzzyficação, foi escolhido o método do centroide e 21 valores distintos para Z. Os valores obtidos, assim como o resultado final, são expressos na Tabela 4:

	Small	Medium	Large	U(Z) * Z	U(Z)
0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0
1.5	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
2.5	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
3.5	0	0	0	0	0
4	0	0.5	0	2	0.5
4.5	0	0.5	0	2.25	0.5
5	0	0.5	0	2.5	0.5
5.5	0	0.5	0	2.75	0.5
6	0	0.5	0	3	0.5
6.5	0	0.5	0	3.25	0.5
7	0	0	0.5	3.5	0.5
7.5	0	0	0.5	3.75	0.5
8	0	0	0.5	4	0.5
8.5	0	0	0.5	4.25	0.5
9	0	0	0.5	4.5	0.5
9.5	0	0	0.5	4.75	0.5
10	0	0	0	0	0

**Centroid: 6.75 VOLTS**

#### **4. Referências**

OSOFISAN, Philip Babatunde. Optimization of the Fermentation Process in a Brewery with a Fuzzy Logic Controller. Disponível em: <[http://ijs.academicdirect.org/A11/079\\_092.htm](http://ijs.academicdirect.org/A11/079_092.htm)>  
Acesso em: 26 de Maio de 2018