

Sistema Fuzzy para Controle de Ventilação em Ambientes Fechados

1º Matheus Coelho

Departamento de Ciência da Computação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil
matheuscoelho060@gmail.com

2º Rodrigo Silva

Departamento de Ciência da Computação
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil
rodrigopiece27@gmail.com

Abstract—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisão baseado em lógica fuzzy, utilizando o modelo de Mamdani, para o controle da ventilação em ambientes fechados. O objetivo é promover conforto térmico e eficiência energética, considerando como variáveis de entrada a temperatura interna, umidade relativa e número de pessoas no ambiente. O sistema fornece uma decisão qualitativa sobre a intensidade da ventilação, sendo validado por meio de simulações em diferentes cenários e análise dos resultados.

Index Terms—Lógica Fuzzy, Controle de Ventilação, Mamdani, Eficiência Energética, Conforto Térmico

I. INTRODUÇÃO

O controle eficiente da ventilação em ambientes fechados é fundamental para garantir o conforto térmico dos ocupantes e otimizar o consumo energético. Sistemas tradicionais de controle, baseados em limiares fixos, podem não ser suficientemente flexíveis para lidar com a incerteza e a subjetividade inerentes ao conforto humano. Neste contexto, a lógica fuzzy surge como uma alternativa robusta, permitindo a modelagem de conhecimento heurístico e linguístico.

II. METODOLOGIA

A. Definição das Variáveis Linguísticas

O sistema fuzzy proposto utiliza três variáveis de entrada:

- Temperatura interna (T), em °C, variando de 15 a 35.
- Umidade relativa (U), em %, variando de 20 a 80.
- Número de pessoas (P), variando de 0 a 20.

A variável de saída é a intensidade da ventilação (V), em % da potência do ventilador.

Cada variável foi particionada em três conjuntos fuzzy, conforme Tabela I.

TABLE I
CONJUNTOS LINGÜÍSTICOS DAS VARIÁVEIS

Variável Entrada	Conjuntos Fuzzy		
	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjunto 3
Temperatura	baixa	média	alta
Umidade	baixa	média	alta
Pessoas	poucas	moderadas	muitas
Ventilação (Saída)	fraca	moderada	forte

B. Funções de Pertinência

As funções de pertinência foram definidas utilizando funções trapezoidais e triangulares, conforme Equação (1) e (2).

$$\mu_{trap}(x; a, b, c, d) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \quad (1)$$

$$\mu_{tri}(x; a, b, c) = \max \left(\min \left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \quad (2)$$

Exemplo para a variável temperatura:

- *baixa*: trapezoidal [15, 15, 18, 22]
- *média*: triangular [18, 25, 30]
- *alta*: trapezoidal [24, 28, 35, 35]

C. Base de Regras Fuzzy

A base de regras foi construída com base em conhecimento comum sobre conforto térmico, totalizando 27 regras do tipo:

Se temperatura é alta e umidade é alta e pessoas são muitas, então ventilação é forte.

A Tabela II ilustra exemplos de regras implementadas.

TABLE II
EXEMPLOS DE REGRAS FUZZY

Regra Número	Entradas			Saída Ventilação
	Temperatura	Umidade	Pessoas	
1	baixa	baixa	poucas	fraca
2	alta	alta	muitas	forte
3	média	média	moderadas	moderada

D. Inferência Fuzzy

O método de inferência utilizado foi o de Mamdani, com operadores lógicos **AND** (mínimo) e **OR** (máximo). A agregação das saídas das regras foi feita pelo operador máximo, e a defuzzificação foi realizada pelo método do centroide (centro de área).

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Simulações

Foram realizados experimentos com cinco cenários distintos de entrada, conforme Tabela III.

TABLE III
CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Cenário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Pessoas
1	20	35	1
2	24	50	4
3	28	55	8
4	30	70	2
5	26	40	15

B. Processo de Inferência Fuzzy: Exemplo do Cenário 3

Para o cenário 3 ($T = 28^\circ\text{C}$, $U = 55\%$, $P = 8$):

- 1) **Fuzzificação:** Calcula-se o grau de pertinência de cada entrada nos conjuntos fuzzy correspondentes. Para $T = 28^\circ\text{C}$:

$$\begin{aligned}\mu_{baixa}(28) &= 0 \\ \mu_{media}(28) &\approx 0.4 \\ \mu_{alta}(28) &\approx 1\end{aligned}$$

(Valores ilustrativos; ver Fig. 1)

Para $P=8$:

$$\begin{aligned}\mu_{baixa}(8) &= 0 \\ \mu_{media}(8) &\approx 0.8 \\ \mu_{alta}(8) &= 0\end{aligned}$$

(Valores ilustrativos; ver Fig. 2)

Para $U=55\%$:

$$\begin{aligned}\mu_{baixa}(55) &= 0 \\ \mu_{media}(55) &\approx 0.33 \\ \mu_{alta}(55) &\approx 0.33\end{aligned}$$

(Valores ilustrativos; ver Fig. 3)

- 2) **Regras Disparadas:** São ativadas todas as regras cujos antecedentes têm pertinência não nula. Por exemplo:

Se temperatura é alta (0.5) e umidade é média (0.6) e pessoas são moderadas (0.7), então ventilação é forte.

O grau de ativação da regra é $\min(0.5, 0.6, 0.7) = 0.5$.

- 3) **Agregação:** As saídas das regras são agregadas pelo operador máximo.
- 4) **Defuzzificação:** O valor crisp da ventilação é obtido pelo método do centroide:

$$V^* = \frac{\int v \cdot \mu_V(v) dv}{\int \mu_V(v) dv}$$

- 5) **Resultado:** Para este cenário, o sistema sugeriu ventilação de $X\%$ (valor obtido na simulação), classificada como *forte*.

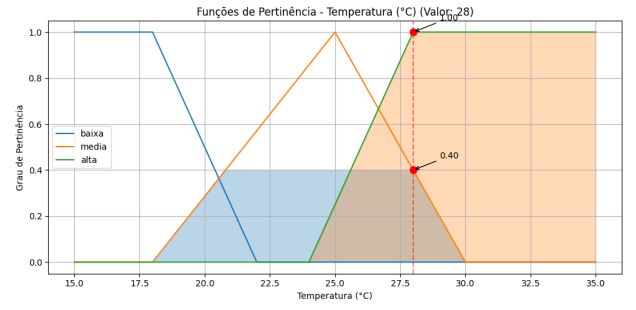


Fig. 1. Funções de pertinência para a variável temperatura e ativação para $T = 28^\circ\text{C}$.

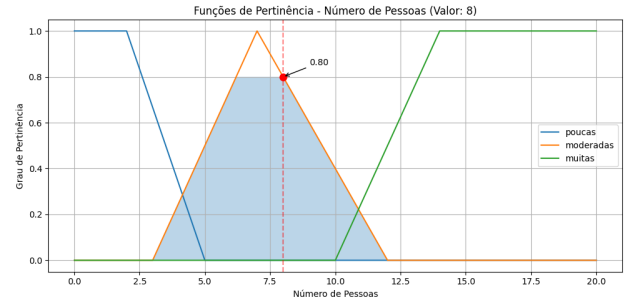


Fig. 2. Funções de pertinência para a variável pessoas e ativação para $P=8$.

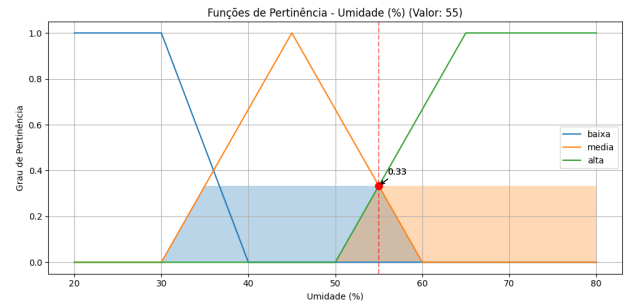


Fig. 3. Funções de pertinência para a variável umidade e ativação para $U=55\%$.

C. Análise dos Operadores e Técnicas de Defuzzificação

Foram testados diferentes operadores lógicos (AND/OR) e técnicas de defuzzificação (centroide, média do máximo, bissetriz). Observou-se que o método do centroide apresentou maior robustez e suavidade na resposta, enquanto a média do máximo pode gerar valores intermediários menos intuitivos.

D. Visualização dos Resultados

As superfícies fuzzy geradas (Fig. 4) ilustram a relação entre as variáveis de entrada e a saída do sistema, evidenciando a transição suave entre os níveis de ventilação. A figura foi gerada colocando pessoas como constante, variando temperatura e umidade apenas.

Temperatura x Umidade (Pessoas = 10)

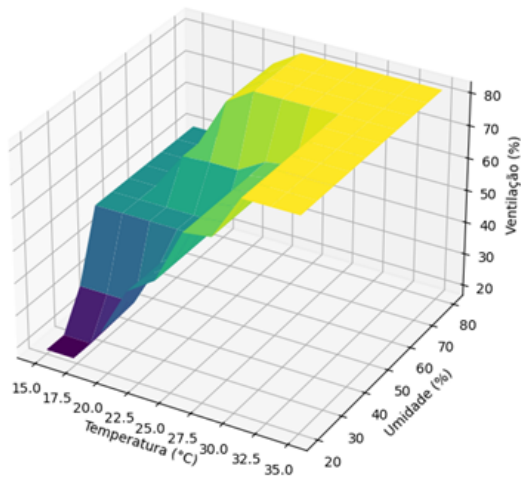


Fig. 4. Superfície fuzzy: ventilação em função da temperatura e umidade (pessoas fixo).

IV. CONCLUSÃO

O sistema fuzzy desenvolvido demonstrou ser eficaz para o controle qualitativo da ventilação em ambientes fechados, promovendo conforto térmico e potencial economia de energia. A abordagem permite flexibilidade e adaptação a diferentes condições ambientais, sendo facilmente ajustável para outros contextos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Doutor Alisson Marques pelo inestimável suporte a esta pesquisa.

REFERENCES

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338–353, 1965.
- [2] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis," *IEEE Transactions on Computers*, vol. C-26, no. 12, pp. 1182–1191, 1977.
- [3] H. R. Berenji, "Fuzzy logic controllers," in *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*, Springer, 1992, pp. 69–96.