

Sistema Fuzzy para Controle de Ventilação em Ambientes Fechados

Felipe Parreiras Dias
Engenharia de Computação.
CEFET-MG — Campus V
email

José Marconi de Almeida Júnior
Engenharia de Computação.
CEFET-MG — Campus V
jose.18@aluno.cefetmg.br

Julia Rezende Gomes Rocha
Engenharia de Computação.
CEFET-MG — Campus V
juliarezende34@gmail.com

I. PROBLEMA ACORDADO

Um sistema fuzzy trata informações imprecisas, baseadas na intuição humana, e foca na descrição das propriedades de um fenômeno. Usando o conhecimento objetivo (modelos matemáticos) e conhecimento subjetivo (regras linguísticas), sistemas de inferência fuzzy capturam informações incertas, descritas em linguagem natural, e as convertem em números.

Um sistema de inferência possui seu próprio conjunto de regras, construído por um especialista ou através de informações numéricas. A estrutura básica da regra fuzzy é: "SE premissa, ENTÃO conclusão". A seção das premissas é denominada antecedente, enquanto a seção da conclusão é chamada de consequente.

Cada valor de entrada tem um grau de pertinência associado a cada regra, também chamado de grau de ativação. Esse valor é obtido pela interseção fuzzy do grau de pertinência do escalar de entrada em relação a cada antecedente da regra.

As regras ativadas são aquelas que possuem o grau de pertinência maior que 0. Uma operação global de agregação gera um conjunto fuzzy que representa as regras ativadas para as entradas utilizadas. O conjunto agregado deve ser defuzzificado por um método a ser escolhido, gerando um valor escalar compatível com sistemas externos.

A estrutura do sistema pode ser representada visualmente conforme a figura abaixo:

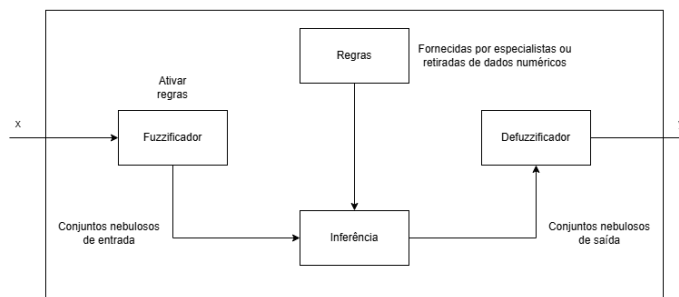


Fig. 1. Diagrama de um sistema fuzzy

O método de Mamdani é um tipo de sistema de inferência fuzzy que utiliza tradicionalmente o máximo dos mínimos para determinar o conjunto agregado. Isso significa que o grau de ativação de uma regra como um todo é o mínimo entre os graus de pertinência de cada antecedente. Posteriormente, utiliza-se

a união, agregação de máximos, como forma de construção do conjunto de valores de ativação agregados. Esse conjunto resultante é, então, defuzzificado em um valor crisp.

Por fim, para entender e aplicar os conceitos da lógica fuzzy e o método de Mamdani, pretende-se desenvolver um sistema de tomada de decisão, que auxilie no controle da ventilação de um ambiente fechado, com o objetivo de promover o conforto térmico e eficiência energética.

O sistema fornecerá uma decisão qualitativa sobre a intensidade de ventilação (variável de saída), a partir das seguintes variáveis de entrada: Temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$); Umidade relativa (%); Número de pessoas no ambiente.

II. SOLUÇÃO PROPOSTA

O sistema fuzzy desenvolvido neste trabalho tem como finalidade o controle qualitativo da ventilação em ambientes fechados, a fim de garantir conforto térmico e eficiência energética. A modelagem foi realizada com base no método de inferência de Mamdani, utilizando três variáveis de entrada: temperatura interna, umidade relativa do ar e número de pessoas presentes no ambiente. A variável de saída representa a intensidade da ventilação, expressa em termos linguísticos como “fraca”, “moderada”, “forte” e “muito forte”.

Cada uma das variáveis foi particionada em conjuntos fuzzy com nomes representativos. A temperatura interna foi dividida em quatro categorias (“negativa”, “baixa”, “moderada” e “alta”) com funções de pertinência do tipo z, gaussianas e s. A umidade relativa foi modelada em cinco níveis, de “perigosamente baixa” a “perigosamente alta”, por meio de funções triangulares para zonas médias e funções z e s para as extremidades. O número de pessoas no ambiente foi representado por três categorias (“baixa concentração”, “média concentração” e “alta concentração”), também utilizando funções z, triangulares e s. Já a variável de saída, intensidade da ventilação, foi definida por quatro conjuntos fuzzy triangulares ao longo do intervalo de 0 a 100.

A base de regras fuzzy foi construída a partir da combinação entre os conjuntos de entrada. Para cada possível combinação, uma regra foi gerada seguindo a estrutura “Se temperatura é X e umidade é Y e número de pessoas é Z, então ventilação é W”. A saída associada a cada regra foi definida com base em um escore calculado a partir dos índices das variáveis linguísticas

de entrada: quanto maior a severidade da combinação (temperatura alta, umidade extrema, maior concentração de pessoas), mais intensa era a resposta de ventilação associada. Esse critério permitiu distribuir logicamente as regras entre os níveis de ventilação esperados. Ao todo, 60 regras compõem a base do sistema.

Durante a execução do sistema, os valores numéricos fornecidos como entrada passam pela etapa de fuzzificação, em que são convertidos em graus de pertinência para cada conjunto fuzzy das variáveis. Esses graus indicam o quanto aquele valor pertence a determinado conceito linguístico. Em seguida, o processo de inferência fuzzy avalia todas as regras utilizando o operador lógico do tipo AND ou OR, considerando o mínimo ou máximo entre os graus de pertencimento das entradas envolvidas em cada regra de acordo com o operador escolhido. As regras com grau de ativação maior que zero são consideradas válidas naquele contexto e contribuem para a formação do conjunto de saída.

Na etapa de agregação, os resultados das regras ativadas são acumulados utilizando o operador máximo, formando um único conjunto fuzzy que representa a resposta agregada do sistema. A função de pertinência de cada saída possível é truncada no grau de ativação da respectiva regra, e todos esses conjuntos cortados são combinados para formar o conjunto final da saída.

Por fim, o conjunto fuzzy de saída é convertido em um valor numérico por meio do processo de defuzzificação. Três métodos diferentes foram aplicados com o objetivo de comparar os efeitos de cada abordagem: o método do Centróide, que calcula o centro de massa do conjunto resultante; o da Bissetriz, que determina o ponto que divide a área sob a curva em duas partes iguais; e o método da Média dos Máximos (mOM), que retorna a média dos valores que atingem o grau máximo de pertinência. Cada técnica oferece uma forma distinta de interpretar a saída fuzzy, resultando em pequenas variações no valor final, o que reforça a importância da escolha do método de defuzzificação conforme o contexto de aplicação.

III. RESULTADOS

Para testar a implementação do método de Mamdani em um sistema de inferência fuzzy, foram determinados os seguintes valores crisp como entradas: temperatura interna ($^{\circ}\text{C}$) = -5, umidade relativa do ar (%) = 10 e número de pessoas = 20.

A propriedade semântica empregada neste teste foi a Max-Min, tradicionalmente usada no processamento de inferências com o modelo de Mamdani. Portanto, para calcular a saída de cada regra, foi escolhido o menor valor de ativação e a agregação, que gera a saída final, foi feita através da união dos conjuntos criados em cada regra. Os valores após a fuzzificação ativaram 2 regras:

ID	Temperatura	Umidade	Pessoas	Saída	Grau de ativação
1	Negativa	Perigosamente baixa	Baixa concentração	Fraca	0.500
16	Baixa	Perigosamente baixa	Baixa concentração	Fraca	0.011

As variáveis, suas regras e os valores fuzzificados podem ser representados graficamente:

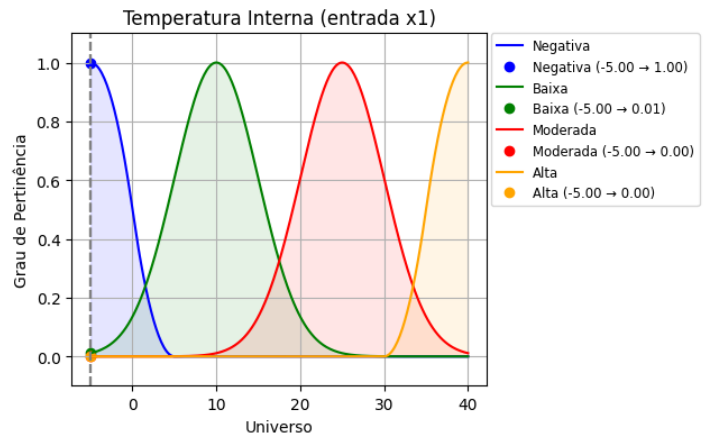


Fig. 2. Entrada - Temperatura interna

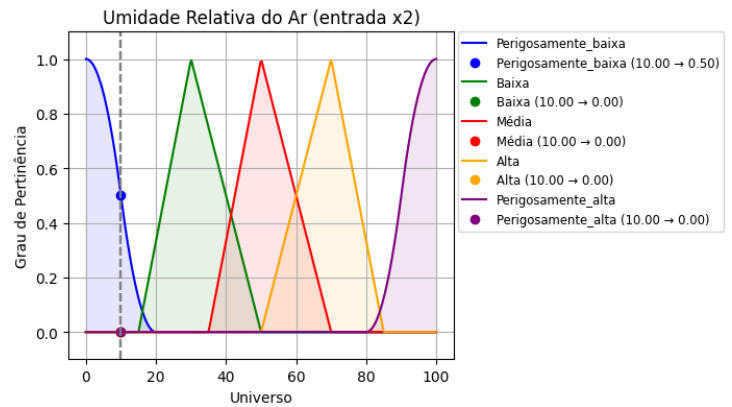


Fig. 3. Entrada - Umidade relativa do ar

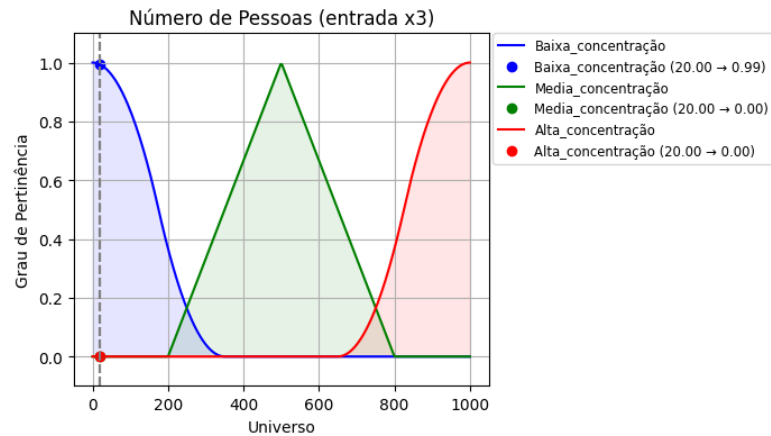


Fig. 4. Entrada - Número de pessoas

Após a obtenção do conjunto agregado, foram aplicados 3 métodos de defuzzificação, visando ter como resultado do processo a saída como um valor crisp: Centróide, Bissetriz e Média dos Máximos. O conjunto agregado com os valores defuzzificados foi representado conforme as figuras abaixo:

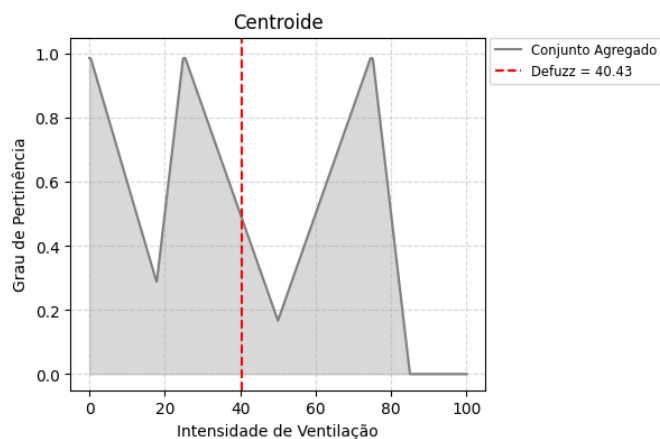


Fig. 5. Centroide

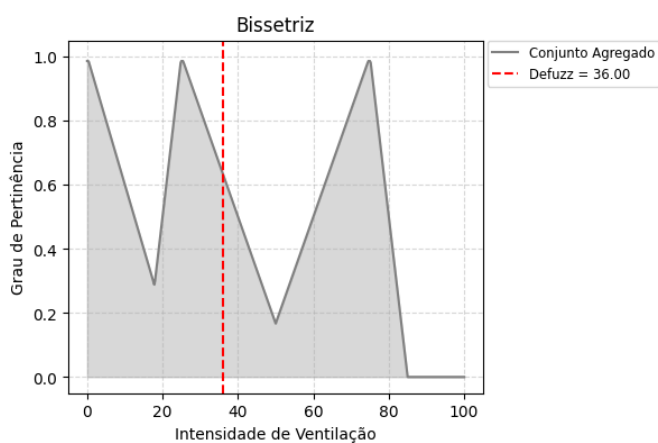


Fig. 6. Bissetriz

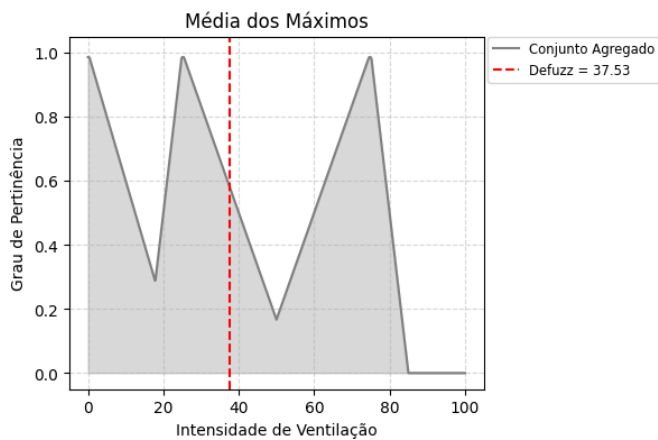


Fig. 7. Média dos Máximos

Em resumo, os valores crisp de saída encontrados com cada método de defuzzificação foram:

Método de Defuzzificação	Valor crisp
Centroide	40.43
Bissetriz	36
Média dos Máximos	37.53

Em relação à variável de saída, todos os métodos de defuzzificação indicam que a intensidade da ventilação deve ser moderada. Esses resultados puderam ser obtidos através dos gráficos abaixo:

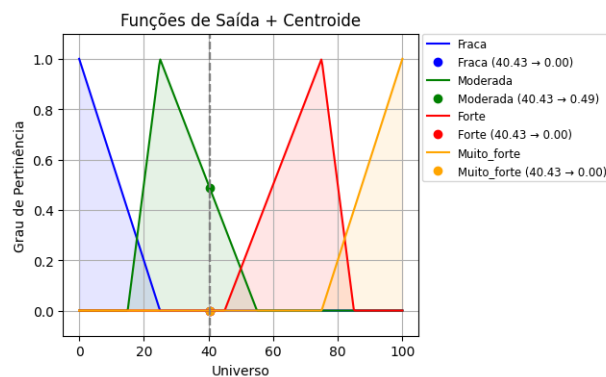


Fig. 8. Saída - Centroid

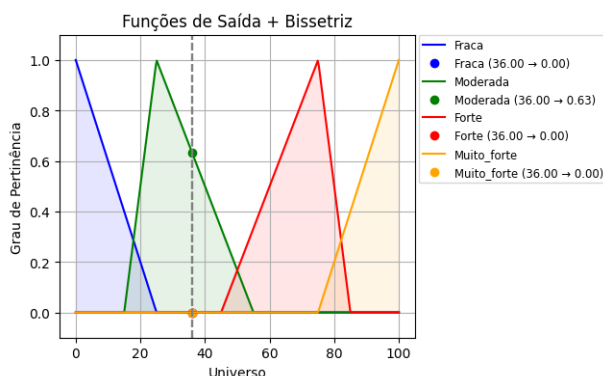


Fig. 9. Saída - Bissetriz

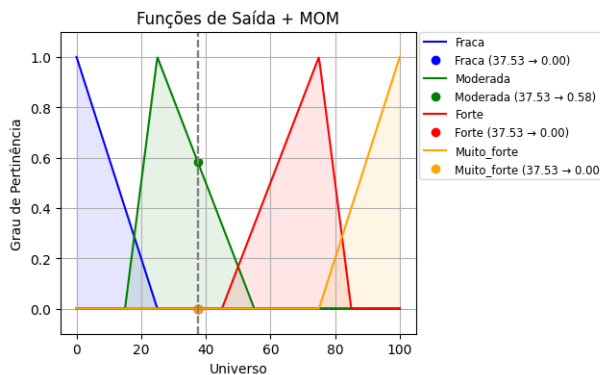


Fig. 10. Saída - Média dos Máximos

IV. CONSIDERAÇÕES E DISCUSSÕES

Durante a realização dos testes, foi possível observar os impactos causados pela escolha dos métodos de inferência, conjunção, agregação e defuzzificação no conjunto fuzzy e valor crisp resultantes.

Sobre os métodos de inferência, o Max-Min recorta a função de saída pelo menor valor entre os graus de pertinência do antecedente da regra. Apesar de ser vantajoso por sua simplicidade, o Max-Min não permite que todos os valores do antecedente impactem o resultado final da regra. Já o Max-Product realiza uma multiplicação direta, resultando em saídas mais suaves. Essa característica torna o sistema mais sensível a variações contínuas nas entradas, promovendo uma inferência mais estável e precisa. Porém, baixos graus de pertinência podem reduzir o impacto de regras relevantes.

No que diz respeito à conjunção dos valores de ativação para determinar a saída de cada regra, a troca do operador AND pelo OR tem alto impacto no sistema de inferência. O uso do operador AND, como visto no teste descrito neste relatório, implica na forte ativação de uma regra apenas quando todas as condições do antecedente apresentam altos graus de pertinência. Essa abordagem pode ser classificada como moderada e conservadora, já que um valor de ativação baixo reduz o impacto da regra na saída final.

Ao utilizar o operador OR em um dos testes, foi possível observar que mais regras são ativadas (44 no teste realizado), já que para isso acontecer basta que apenas uma das condições do antecedente tenha um valor relevante. Diferentemente da abordagem do operador AND, usar o OR promove uma saída mais otimista. Um problema que pode ser causado pelo uso deste operador é a supervalorização de regras, pois apenas um grau de pertinência alto pode elevar consideravelmente o impacto da regra no resultado final.

Por fim, os métodos de defuzzificação aplicados nos testes podem gerar diferentes interpretações para a variável de saída ao extrair um valor crisp do conjunto agregado. O método do Centroide e da Bissetriz consideram toda a forma da função de saída, então ambos tendem a indicar decisões mais equilibradas e estáveis. Por outro lado, o método da Média dos Máximos leva em conta apenas os pontos onde a pertinência atinge seu valor máximo, tornando o resultado mais sensível a picos em locais específicos.

V. REFERÊNCIAS

- **MARQUES**, Alisson. *Inteligência Computacional - Sistemas Fuzzy - Introdução*. Divinópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2025.
- **MARQUES**, Alisson. *Inteligência Computacional - Sistemas Fuzzy - Inferência Fuzzy*. Divinópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2025.