



**11ª Jornada Científica e  
Tecnológica do IFSULDEMINAS**  
& **8º Simpósio de  
Pós-Graduação**

**ANÁLISE SISTEMÁTICA DOS MÉTODOS DE INFERÊNCIA UTILIZADOS NA LÓGICA  
FUZZY**

**Lucas R. FAGUNDES<sup>1</sup>; David da S. FONSECA<sup>2</sup>; Régis M. de Souza<sup>3</sup>**

**RESUMO**

Este trabalho trata-se de uma análise sistemática quantitativa sobre os principais métodos de inferência utilizados na modelagem *fuzzy*. Esta abordagem justifica-se pela necessidade de uma melhor compreensão dos métodos de inferência devido à grande variedade de métodos existentes. Este intento foi conseguido mediante uma revisão bibliográfica acerca dos métodos de inferência, buscando sintetizar suas principais características. Além disso, foi realizada uma análise entre os principais métodos visando identificar o método com maior potencial e suas aplicações. O estudo demonstrou que o método Takagi-sugeno foi o mais utilizado, seguido pelo método de Mamdani, já o método de Tsukamoto demonstrou uma baixa aplicabilidade devido a sua natureza específica.

**Palavras-chave:** Inteligência Artificial; Mamdani; Sugeno; Tsukamoto;

**1. INTRODUÇÃO**

Nota-se atualmente que, mesmo com uma maior automatização dos processos, diversos setores de produção acabam sendo dependentes de operadores humanos para tomada de decisões. Devido à complexidade do fator humano, sujeito a ambiguidade e imprecisão, esses sistemas, quando representados por modelos matemáticos, tendem a sofrer uma série de simplificações, o que, conseqüentemente, diminui sua assertividade.

No entanto, a representação de sistemas complexos tornou-se possível com a utilização de sistemas inteligentes, como os sistemas *fuzzy*. Esses sistemas são capazes de trabalhar com imprecisões e incertezas características do pensamento humano e obter excelentes resultados, além da possibilidade de modelar sistemas reais com grande precisão.

Dessa forma, o presente estudo visa demonstrar o funcionamento de sistemas *fuzzy* por meio de uma revisão bibliográfica, apresentando um breve histórico sobre seu desenvolvimento, suas características, síntese dos principais métodos utilizados para inferência, e, por fim, verificação de qual método de inferência é mais utilizado atualmente.

1 Aluno, IFSULDEMINAS – *Campus* Pouso Alegre. E-mail: lucas.rodrigues.fagundes@gmail.com.

2 Aluno, IFSULDEMINAS – *Campus* Pouso Alegre. E-mail: david\_sf07@hotmail.com.

3 Orientador, IFSULDEMINAS – *Campus* Pouso Alegre. E-mail: regis.souza@ifsuldeminas.edu.br.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Lukasiewicz (1878-1956), por meio da teoria dos conjuntos com grau de pertinência, deu sustentação para que o professor Zadeh, em 1965, implementasse e desenvolvesse os conceitos de lógica *fuzzy* (BĚLOHLÁVEK; DAUBEN; KLIR, 2017).

A lógica *fuzzy*, diferente de lógica convencional a qual somente admite um resultado binário para um problema, é baseada na forma humana de tomar decisões, permitindo resultados ambíguos para resolução, gerando soluções com maior grau de assertividade (GÜROCAK; LAZARO, 1994). Para isso, um sistema baseado em lógica *fuzzy* é compreendido por três processos, sendo eles: a fuzzificação, a inferência e a defuzzificação (TAMBARUSSI et al., 2019; YAZDANBAKHS; DICK, 2018).

A fuzzificação consiste em transformar valores *crisp*, valores numéricos presentes no conjunto dos números reais, em variáveis linguísticas, também chamadas de funções de pertinência (MENDEL; MENDEL, 2017). O processo de inferência constitui em combinar as funções de pertinência, geradas na fuzzificação, por meio de regras de controle do tipo causa e consequência, a fim de obter as respostas *fuzzy* de saída (CAO et al., 2018; SIMÕES; SHAW, 2007). Com isso a resposta gerada pelo processo de inferência é um dado linguístico e, para que seja possível a sua aplicação, é necessário um processo de defuzzificação dos dados. Dessa forma, o dado nebuloso é transformado em um dado *crisp*, podendo então ser utilizado (ROSS, 2017).

Segundo Ross (2017), dentro dos processos de inferência destacam-se três métodos, sendo eles: o método de Mamdani; Sugeno e Tsukamoto. De acordo com Jassbi et al. (2006), o método de Mamdani utiliza dados linguísticos no processo de inferência, tanto na causa quanto na consequência, facilitando a interpretação devido a sua natureza intuitiva e estrutura simples. O método de Sugeno emprega um sistema de regras de causa e consequência, em que a entrada é dada por uma variável linguística e a saída por uma função matemática, sendo este um método popular em sistemas *fuzzy* baseados em amostras (ZAHER; KANDIL; FAHMY, 2014). E, por fim, o método de Tsukamoto também utiliza um sistema de regras de causa e consequência com funções de pertinência para entrada e tendo como saída uma resposta *crisp* para cada função, utilizando a média ponderada para estes valores, a fim de obter um resultado como saída geral, dispensando o processo de defuzzificação (ROSS, 2017).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise dos principais métodos de inferência utilizados na lógica *fuzzy*, foi realizada uma busca nas plataformas CAPES e SciELO delimitando a pesquisa à artigos. Para isso, a busca foi feita utilizando o termo “*fuzzy inference*” encontrando inicialmente 4901 artigos, a busca foi limitada

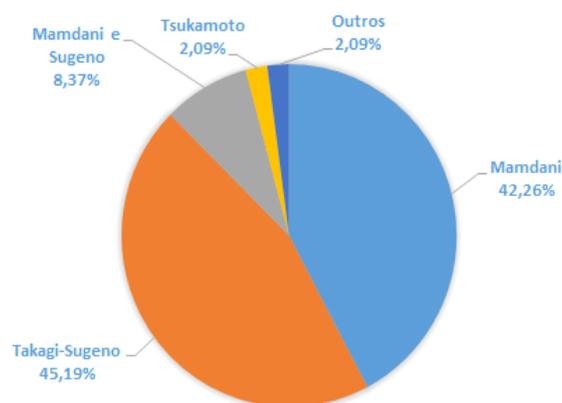
entre os anos de 2005 até 2019 e para uma análise mais precisa, no portal CAPES, a pesquisa foi restringida à artigos que possuíam o termo “*fuzzy inference*” como assunto. Dentre estes foram avaliados os métodos de inferência utilizados e, por fim, foi realizada uma análise quantitativa dos dados.

Dessa forma, foram selecionados 180 artigos do banco de dados da CAPES e 106 artigos do banco de dados da SciELO totalizando 286 artigos, dentre esses foram descartados os artigos repetidos ou que não possuíam relação com os processos de inferência. Por fim, restaram 239 artigos os quais foram analisados quantitativamente, com o intuito determinar o método de inferência mais utilizado e o desempenho para as mais diversas aplicações.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando os resultados obtidos pela contagem dos materiais, é possível observar que o método de inferência mais utilizado foi o método de Takagi-Sugeno, conforme a Figura 1. O método de Takagi-Sugeno, apesar da difícil interpretabilidade, permite a integração com ferramentas de otimização, além de utilizar métodos de defuzzificação simplificados, o que gera um ganho considerável de tempo (WANG e CHEN, 2014; SIGLA, 2015; HANSAN *et al.*, 2017), o método de Takagi-Sugeno torna-se mais robusto quando os dados de entrada são obtidos por meio de sensores (HAMAM e GEORGANAS, 2008).

Figura 1 - Comparação entre os métodos de inferência.



Fonte: Autores

Além disso, foi observado uma grande utilização do método de Takagi-Sugeno em pesquisas envolvendo “*adaptive neuro-fuzzy inference system*” (ANFIS). Nota-se ao observar os trabalhos envolvendo o processo de inferência de Takagi-Sugeno que 18,75% estavam relacionados ao sistema ANFIS e que 8,37% dos estudos tinham como intuito comparar os métodos de Mamdani e Takagi-Sugeno.

Apesar disso, ainda é possível observar a grande utilização do método de inferência de Mamdani devido a sua simplicidade e por possibilitar o trabalho com múltiplas variáveis de entrada e de saída, diferentemente do método de Sugeno que trabalha apenas com saídas únicas (JASSBI, 2006). Também foi possível observar uma baixa aplicação do método de inferência de Tsukamoto, que pode estar relacionado às características de suas funções de saída, que acabam por restringir a sua aplicabilidade, como sugerido por Ross (2017). Por fim, o estudo demonstrou uma pequena utilização de outros métodos de inferência como o método de Larsen, Committee e modelo FITA (*First Infer Then Aggregate*).

## 5. CONCLUSÕES

Conclui-se que o método de Takagi-Sugeno foi capaz de superar o número de utilizações do método de Mamdani, podendo esse fato estar relacionado a melhor integração do método com outras ferramentas de otimização, permitindo que o processo de inferência seja realizado por sistemas inteligentes, dispensando o fator humano na inferência.

Além disso, outros métodos de inferência, como os métodos de: Larsen, Committee e FITA, demonstram um baixo número de aplicações, sendo necessário a realização de mais estudo a fim de verificar suas limitações e campos de aplicação.

## REFERÊNCIAS

- BĚLOHLÁVEK, R.; DAUBEN, J. W.; KLIR, G. J. *Fuzzy logic and mathematics: a historical perspective*. New York: Oxford University Press, 2017.
- CAO, H. L. B. et al. *Fuzzy Sets Theory Preliminary: Can a Washing Machine Think?* 1. ed. Guangzhou, China: Springer Nature, 2018.
- GÜROCAK, H. B.; LAZARO, A. D. S. A fine tuning method for *fuzzy* logic rule bases. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994.
- HAMAM, A.; GEORGANAS, N. D. A comparison of Mamdani and Sugeno *fuzzy* inference systems for evaluating the quality of experience of haptic-audio-visual applications. In: **2008 IEEE International Workshop on Haptic Audiovisual Environments and Games**. Ottawa, Canadá: IEEE, 2008. p. 87–92.
- HASAN, M. H. et al. A Comparative Study of Mamdani and Sugeno *Fuzzy* Models for Quality of Web Services Monitoring. *IJACSA: International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, v. 8, n. 9, 2017.
- JASSBI, J. J. et al. **A comparison of Mamdani and Sugeno inference systems for a space fault detection application**. World Automation Congress. 2006
- MENDEL, J. M.; MENDEL, J. M. **Uncertain Rule based Fuzzy Systems**. 2ª ed. Cham, Suíça: Springer Natura, 2017.
- ROSS, T. J. **Fuzzy Logic with Engineering Applications**. 4ª ed. Reino Unido: Wiley, 2017.
- SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. Blucher ed. São Paulo: FAPESP, 2007.
- SINGLA, J. Comparative study of mamdani-type and sugeno-type *fuzzy* inference systems for diagnosis of diabetes. In: **IEEE. 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications**. 2015. p. 517–522
- TAMBARUSSI, T. et al. A *fuzzy* logic model for zone delineation in a preservation area in Brazil. **Applied ecology and environmental research**, v. 17, n. 2, 2019.
- WANG, Y.; CHEN, Y. A comparison of Mamdani and Sugeno *fuzzy* inference systems for traffic flow prediction. **Journal of computers**, v. 9, n. 1, p. 12-21, 2014.
- YAZDANBAKHS, O.; DICK, S. A systematic review of complex *fuzzy* sets and logic. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 338, p. 1–22, 2018.
- ZAHER, H.; KANDIL, A. E.; FAHMY, R. **Comparison of Mamdani and Sugeno Fuzzy Inference Systems for Prediction (With Application to Prices of Fund in Egypt)**. v. 4, n. 21, p. 3014–3022, 2014.