



## Avanços em sistemas de controle difuso para gerenciamento de energia em casas inteligentes

10.56238/isevmjv2n1-013

Recebimento dos originais: 01/12/2023

Aceitação para publicação: 02/07/2023

**Leonardo da Silva, Marcelo Bortolin Coro e Eliomar Gotardi Pessoa**

### RESUMO

O impulso para a eficiência energética e a sustentabilidade tem impulsionado inovações tecnológicas para a gestão do consumo de energia nas residências, destacando-se os sistemas de controle difuso. Esses sistemas, baseados em lógica fuzzy, oferecem soluções adaptativas e intuitivas para otimizar o uso de energia em casas inteligentes, lidando com incertezas e imprecisões nas condições ambientais e nas preferências dos ocupantes. A lógica difusa permite o controle refinado de dispositivos como iluminação, aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC), ajustando-se em tempo real às variações nas condições e comportamentos do usuário. Estudos recentes têm demonstrado a eficácia desses sistemas em diversas aplicações. Kontogiannis, Bargiotas e Daskalopulu (2021) desenvolveram um sistema de controle difuso para recomendar valores ótimos de consumo de energia com base em dados ambientais, usando a abordagem Mamdani e a linearização da árvore de decisão. Keshtkar e Arzanpour (2017) introduziram um termostato autônomo que combina aprendizado supervisionado com sensores sem fio e preços dinâmicos de eletricidade, ajustando as temperaturas e mantendo o conforto do usuário. Ain et al. (2018) propuseram um Sistema de Inferência Fuzzy que incorpora variações de umidade e temperatura interna para otimizar o consumo de energia sem sacrificar o conforto. Além disso, Khalid et al. (2019) apresentaram um controlador de gerenciamento de energia para redes inteligentes usando técnicas de lógica difusa e otimização heurística, melhorando o gerenciamento de carga e reduzindo custos e consumo. Collotta e Pau (2015) exploraram a integração da tecnologia IoT com sistemas baseados em fuzzy usando Bluetooth Low Energy (BLE) para gerenciar o consumo de energia em redes de automação residencial. Esses estudos destacam que os sistemas de controle difusos são cruciais para otimizar o consumo de energia em casas inteligentes, equilibrando eficiência e conforto, com avanços contínuos prometendo melhorias contínuas no gerenciamento de energia.

**Palavras-chave:** Controle Fuzzy, Casas Inteligentes, Gerenciamento de Energia, Lógica Fuzzy, Tecnologias de Automação.

### 1 INTRODUÇÃO

A crescente ênfase na eficiência energética e na sustentabilidade estimulou avanços em tecnologias projetadas para gerenciar o consumo de energia em ambientes residenciais. Entre essas inovações, os sistemas de controle difusos surgiram como ferramentas eficazes para reduzir o uso de energia em casas inteligentes. Esses sistemas aproveitam a lógica difusa, que lida com incerteza e imprecisão, para tomar decisões mais adaptáveis e intuitivas em relação ao gerenciamento de energia.

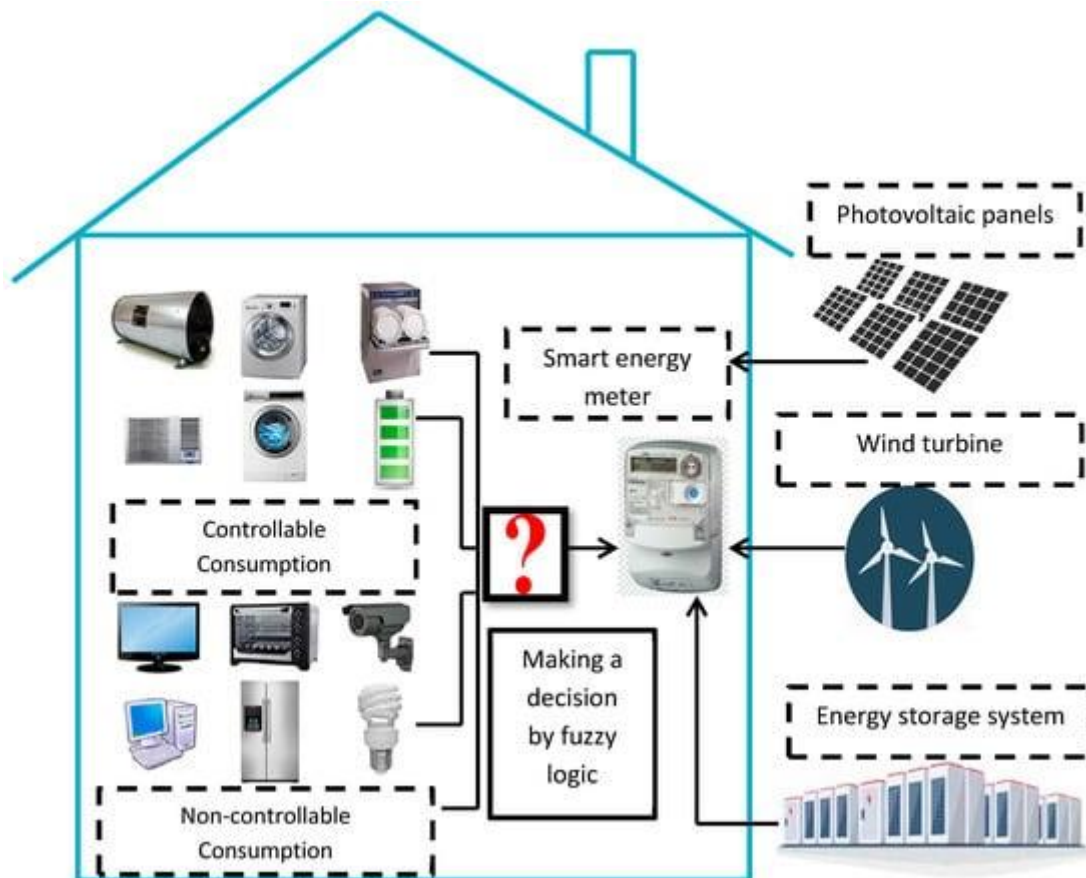


Os sistemas de controle difuso são baseados em conceitos de lógica difusa, estendendo-se além da lógica booleana tradicional para lidar com nuances e graus variados de informação. Ao contrário da lógica binária, que opera com valores verdadeiros/falsos, a lógica difusa usa uma variedade de valores verdadeiros para abordar a natureza contínua e imprevisível dos ambientes residenciais.

Em casas inteligentes, os sistemas de controle difusos podem aumentar a eficiência dos sistemas de iluminação, aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC). Por exemplo, esses sistemas ajustam o aquecimento ou resfriamento não apenas com base nas temperaturas atuais, mas também considerando as preferências pessoais e as condições climáticas externas, levando a um controle mais preciso e eficiente em termos de energia sem sacrificar o conforto.

Uma das principais vantagens dos sistemas de controle difusos é sua adaptabilidade. Eles podem se ajustar dinamicamente às mudanças nos padrões de uso e mudanças ambientais em tempo real, o que é particularmente benéfico em casas inteligentes, onde o comportamento dos ocupantes flutua ao longo do dia e ao longo das estações. Por exemplo, em dias quentes, um sistema de controle difuso pode otimizar o uso do ar condicionado levando em consideração a umidade, a temperatura externa e a ocupação, economizando energia.

Figura 1: Sistema de gerenciamento de energia baseado em lógica difusa. Fonte: Zhang, Sathishkumar e Samuel (2020).



Além disso, a integração de sistemas de controle difusos com tecnologias da Internet das Coisas (IoT) aprimora sua funcionalidade. Sensores inteligentes podem fornecer dados em tempo real sobre ocupação residencial, clima e uso de energia, permitindo que o sistema difuso faça ajustes dinâmicos. Essa integração melhora a eficiência energética e oferece um ambiente de vida mais personalizado e confortável.

Estudos recentes promoveram o desenvolvimento de sistemas de controle difuso para gerenciamento de energia. Kontogiannis, Bargiotas e Daskalopulu (2021) exploraram aplicações modernas de automação de energia e resposta à demanda, apresentando um sistema de controle difuso que processa dados ambientais para recomendar valores ideais de consumo de energia para edifícios residenciais. Seu sistema usa a abordagem Mamdani e a linearização da árvore de decisão para gerar regras difusas, obtendo maior precisão e computação mais rápida.

Keshtkar e Arzanpour (2017) se concentraram em melhorar a eficiência energética do HVAC, desenvolvendo um termostato autônomo que combina Aprendizado Lógico Fuzzy Supervisionado com sensores sem fio e preços dinâmicos. Seu sistema ajusta as temperaturas



definidas de forma autônoma, adaptando-se às preferências do usuário e contribuindo para a economia de energia e custos, mantendo o conforto.

Ain et al. (2018) introduziram um Sistema de Inferência Fuzzy (FIS) que equilibra o consumo de energia com o conforto do usuário, incorporando a umidade como uma entrada adicional. Seu sistema, que usa geração automática de base de regras, demonstrou uma redução de 28% no consumo de energia, mantendo o conforto térmico.

Khalid et al. (2019) abordaram o gerenciamento de energia de rede inteligente desenvolvendo um controlador baseado em lógica difusa para gerenciamento do lado da demanda. Seu sistema, que usa lógica difusa e técnicas de otimização heurística, alcançou reduções significativas no consumo de energia, custos e relação pico-média (PAR).

Collotta e Pau (2015) examinaram o papel da IoT na automação residencial, propondo uma solução baseada em fuzzy para gerenciamento de energia usando Bluetooth Low Energy (BLE). Sua abordagem melhorou a eficiência energética e o conforto do consumidor, com métricas de desempenho mostrando redução efetiva na carga de pico e no consumo de eletricidade.

Por fim, Khalid et al. (2017) propuseram um controlador de gerenciamento de energia baseado em lógica difusa para sistemas de iluminação, otimizando os níveis de iluminação com base em preços e outros parâmetros. Este sistema totalmente automático ajuda a gerenciar o consumo de energia em alinhamento com os custos flutuantes de eletricidade, demonstrando benefícios práticos para os consumidores.

Em conclusão, a integração de sistemas de controle difusos em ambientes domésticos inteligentes representa um avanço significativo na tecnologia de gerenciamento de energia. Aproveitando a lógica difusa, esses sistemas abordam as complexidades do consumo de energia residencial, equilibrando eficiência com conforto do usuário. Os estudos revisados destacam as diversas aplicações e benefícios dos sistemas de controle difuso, desde a otimização das operações de HVAC e sistemas de iluminação até o aumento da eficiência energética geral em redes inteligentes.

A pesquisa de Kontogiannis, Bargiotas e Daskalopulu ressalta a eficácia do controle difuso no processamento de dados ambientais para recomendar o uso ideal de energia, enquanto o desenvolvimento de um termostato autônomo por Keshtkar e Arzanpour demonstra as vantagens práticas de integrar a lógica difusa com preços dinâmicos e tecnologia de sensores. A introdução de Ain et al. de um Sistema de Inferência Fuzzy que mantém o conforto do usuário enquanto reduz o consumo de energia ilustra ainda mais o potencial dos sistemas difusos para abordar o conforto e a eficiência.



As contribuições de Khalid et al. para o gerenciamento de redes inteligentes e programação de energia, juntamente com a exploração de Collotta e Pau de soluções difusas baseadas em IoT, reforçam a versatilidade e a eficácia dos sistemas de controle difusos em uma variedade de contextos. Esses estudos mostram coletivamente que os sistemas de controle difusos não são apenas adaptáveis e capazes de lidar com dados em tempo real, mas também essenciais para otimizar o consumo de energia e melhorar a experiência do usuário.

No geral, o desenvolvimento e a implementação contínuos de sistemas de controle difusos prometem impulsionar mais inovações no gerenciamento de energia, tornando as casas inteligentes mais eficientes e confortáveis, ao mesmo tempo em que apoiam metas de sustentabilidade mais amplas. À medida que a tecnologia avança, a integração da lógica difusa com tecnologias emergentes, como IoT e aprendizado de máquina, provavelmente continuará a refinar e expandir os recursos desses sistemas, oferecendo soluções cada vez mais sofisticadas para os desafios de gerenciamento de energia.



## REFERÊNCIAS

AIN, Q. et al. IoT operating system based fuzzy inference system for home energy management system in smart buildings. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18092802>.

COLLOTTA, M.; PAU, G. A solution based on Bluetooth low energy for smart home energy management. *Energies*, v. 8, p. 11916-11938, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/EN81011916>.

KESHTKAR, A.; ARZANPOUR, S. An adaptive fuzzy logic system for residential energy management in smart grid environments. *Applied Energy*, v. 186, p. 68-81, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2016.11.028>.

KHALID, R. et al. Fuzzy energy management controller for smart homes. In: *Proceedings of the 14th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*, 200-207, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61542-4\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61542-4_19).

KHALID, R. et al. Fuzzy energy management controller and scheduler for smart homes. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 21, p. 103-118, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SUSCOM.2018.11.010>.

KONTOGIANNIS, D.; BARGIOTAS, D.; DASKALOPULU, A. Fuzzy control system for smart energy management in residential buildings based on environmental data. *Energies*, v. 14, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/EN14030752>.

ZHANG, R.; SAMUEL, R. D. J. Fuzzy efficient energy smart home management system for renewable energy resources. *Sustainability*, v. 12, n. 8, p. 3115, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12083115>.