

## OTIMIZAÇÃO BASEADA EM LÓGICA FUZZY E APLICAÇÕES EM MICRO-REDES

Mateus G. Nadur (IC), Antonio C. Zambroni de Souza(PQ)  
*Universidade Federal de Itajubá*

**Palavras-chave:** Energia renovável.

### Introdução

A presente pesquisa discute sobre a aplicação da lógica fuzzy como forma de otimização para micro-redes. O mundo da produção de energia está sempre em constante mudança para acompanhar e enfrentar os problemas crescentes que surgem com o avanço da tecnologia. Desta forma, é notório o crescimento da geração distribuída renovável e a implantação de micro-redes como uma das soluções para esse avanço energético.

Entretanto, com a utilização de diversas fontes de energia renováveis, que são de natureza intermitente e ocorrem a partir do armazenamento de energia, a complexidade do sistema aumenta significativamente. E, para isso, é necessário um bom sistema de tomada de decisão para a utilização correta dos controladores, visando uma melhor eficiência e um menor custo. Neste cenário, a lógica fuzzy surge como uma importante ferramenta para esta tomada de decisão.

Deste modo, a pesquisa consiste na primeira parte, em apresentar de forma didática todos os conceitos relacionados à lógica fuzzy, abrangendo sua motivação, sua criação, seu desenvolvimento histórico junto à matemática, seus pontos mais importantes e alguns exemplos simples. A fim de que um leitor que nunca teve contato com o assunto possa ter um bom entendimento sobre o tópico, compreendendo toda estrutura que compõe os conjuntos fuzzy e a aplicação em micro-redes.

### Metodologia

Para discutir sobre lógica fuzzy foi feito, primeiramente, uma retrospectiva histórica, incorporando os conceitos primitivos de lógica, que segundo [1] lógica é a ciência que estuda princípios e métodos de inferência, tendo como objetivo principal determinar em que condições certas coisas se seguem. Então, pode-se a lógica pode ser entendida como um raciocínio dedutivo, onde através de informações iniciais é possível manipulá-las e chegar a um resultado. Um exemplo simples seria olhar para o céu e deduzir que irá chover porque está nublado. Trazendo para a área da engenharia e da matemática, a

**Lógica fuzzy. Micro-redes**

lógica estuda como se relacionam as equações e os demais elementos matemáticos. Como em uma modelagem de uma planta e processos industriais, onde com um problema inicial, é possível analisar os sinais de distúrbio, ou construir equações diferenciais que irão definir o controlador do sistema e proporcionar a sua estabilidade para chegar a resultado adequado ao problema.

Em seguida, foi tratado o desenvolvimento da lógica com a matemática, que inicialmente foi lento, com poucos de trabalhos de contribuição relevante. E, apenas no século XIX, Gottlob Frege fundou o que podemos chamar de lógica moderna segundo [2]. A lógica foi misturada com elementos matemáticos para o entendimento de enunciados e distinguir as noções de sentido e referente. Portanto, a lógica matemática tem como princípio básico a proposição que consiste em classificar algo como verdadeiro ou falso.

Assim, com os conceitos de lógica bem estabelecidos, e o desenvolvimento com a matemática, foram tratados as principais concepções da lógica clássica, que serve como principal motivação para entender a lógica fuzzy. A lógica clássica caracteriza-se principalmente pela bivalência, ou seja, uma sentença pode ser apenas verdadeira ou falsa, não trabalhando com meias verdades ou com pensamentos que não são estritamente definidos. É um pensamento que pode ser deduzido de forma natural, pois a matemática é exata. Por isso, essa teoria é até hoje muito utilizada em diversos setores da sociedade, como por exemplo, na área da ciência da computação, onde os computadores utilizam do sistema binário para seu funcionamento. Ou, na eletrônica e digital, que trabalha com portas lógicas e tabelas verdade. A valoração nesta lógica é sempre dada de modo que uma variável pode ser atribuída com 0 ou 1 (falso ou verdadeiro, quente ou frio, ligado ou desligado), onde que as fronteiras que separam os conjuntos são muito bem definidas, demonstrando até uma certa restrição para a realização de alguns estudos ou análises simples: a faixa de meia idade de uma pessoa compreende de 35 a 55 anos. Uma pessoa com 34 anos só iria fazer parte deste grupo ao completar exatamente 35 anos, enquanto uma pessoa com 56 já não faz parte deste grupo. Portanto, a lógica clássica ou

tradicional se torna limitada por não refletir de forma fiel a realidade, pois a pertinência de um elemento a um conjunto fica estritamente definida. Dado um conjunto A em um universo X, os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não pertencem a aquele conjunto.

É um ótimo sistema para lidar com situações e vários problemas de complexidade relativamente alta. Todavia, fica clara a dificuldade em tratar problemas com termos subjetivos, em situações reais que cercam a sociedade tanto nas indústrias, comércio e até mesmo no dia-a-dia. Ou seja, com essa teoria é muito mais difícil de tratar da incerteza.

Com todo o material extraído, foi trabalhada então a motivação da lógica fuzzy, que surgiu justamente da necessidade de se representar esses sistemas que são imprecisos, vagos e mal definidos. O ponto de partida é utilizar do raciocínio humano para fazer tomadas de decisões de forma muito mais inteligente e precisa, onde, por exemplo, controladores industriais possam ser estudados com o fundamento de operadores humanos. Estes operadores sabem trabalhar com sistemas que são “nebulosos”, e conseguem ter uma tomada de decisão mais precisa, de acordo com experiências anteriores e padrões definidos. A lógica fuzzy pode representar integrar esses processos mal definidos em que o pensamento clássico não consegue preencher.

Então, foi trabalhada a importância desta lógica junto à inteligência artificial e a processos industriais, pois o grande problema relacionado à operação computacional, é que este trabalha de forma precisa e binária, enquanto que o raciocínio humano trabalha de maneira imprecisa, vaga e nebulosa. Se, este limite da operação computacional fosse eliminado, e máquinas pudessem “pensar” como humano, esta seria uma operação computacional inteligente. Isso é o princípio básico do estudo da inteligência artificial segundo [3]. Um dos principais objetivos na realização de projeto de engenharia, como por exemplo, em plantas industriais, é que uma situação real possa ser modelada matematicamente, transformando o problema em algo muito mais simples e viável, desta forma possa ser descrito através de modelos matemáticos como equações diferenciais. A modelagem praticamente elimina a necessidade de analisar muitos valores de entrada e de se fazer diversas medições. Considerando um problema, onde o sistema tenha valores bem precisos e lineares, é possível encontrar uma teoria geral e padrões conhecidos para lidar com este tipo de situação. Todavia, em muitas situações da vida real, os sistemas são não lineares, e colocam alguns empecilhos para sua resolução. Eventos como, fenômenos físicos dificilmente compreendidos, parâmetros que não

possuem valores precisos, complexidade da situação e perturbações externas são alguns fatores que mostram como os métodos convencionais nem sempre são a melhor solução.

Com isso, foi destacada a diferença crucial entre a modelagem dita clássica e a modelagem inteligente. No caso da modelagem convencional, o foco está no processo (planta industrial, controles, tempo de respostas), enquanto o operador é linear caracterizado por equações que o definem e assim o sistema observa o comportamento do processo. Já na modelagem inteligente, o enfoque está nos operadores, que como no raciocínio humano conseguem tomar decisões baseados em experiências, padrões de comportamento, se ajustando a sistemas onde a situação é vaga e mal definida. Em outras palavras, na modelagem inteligente, são os operadores que “raciocinam” para controlar um processo específico.

Por conseguinte foi estudada a criação da lógica fuzzy, que tem suas origens desde o princípio da incerteza de Heisenberg, que serviu como alicerce principal da teoria quântica [4], e mais tarde auxiliando no desenvolvimento da lógica fuzzy. Esta que segundo [5] teve seu início com Jan Lukasiewicz em 1920, que desenvolveu e introduziu conjuntos com graus de pertinência combinando com os conceitos da lógica clássica. Jan ampliou os conceitos as classes de objetos e suas inter-relações ocorrem em um universo definido, pertencendo ou não a certo conjunto (0 ou 1). Para isso, ele propôs conjuntos com graus de pertinência sendo: 0,  $\frac{1}{2}$  e 1. E, mais tarde expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1. Desta forma, as classes dos objetos já não estão mais estritamente definidas em um conjunto, podendo uma situação ser “quase verdadeira” ou “quase falsa”. Entretanto, apenas em 1965, o professor e filósofo Lofti Asker Zadeh, observando que muitas regras do cotidiano não podiam ser explicadas (como por exemplo, olhar para uma pessoa e imaginar que ela tenha 50 anos, mas não saber como explicar isso) desenvolveu o que se conhece por lógica fuzzy ou teoria dos conjuntos nebulosos. Desse modo, Zadeh criou a lógica fuzzy combinando os conceitos da lógica clássica e os conjuntos de Lukasiewicz, definindo os graus de pertinência contínuos [6].

Assim sendo, foram definidas as ideias principais a cerca da lógica fuzzy, uma lógica que utiliza a ideia de que todas as coisas (temperatura, altura, velocidade e etc.) admitem graus de pertinência. Com isso, ela tenta modelar o senso de palavras, tomada de decisão ou senso comum do ser humano. Pode-se dizer que os conjuntos fuzzy que classificam os elementos de um dado universo, são menos rígidos do que aqueles utilizados na teoria clássica. Segundos [7] ao longo da

vida, as pessoas utilizam sem perceber os termos fuzzy: ao dizer o dólar está estável, o trabalho está parcialmente feito, a chuva está forte. Todos estes exemplos são termos fuzzy por admitirem incerteza na informação. Uma das mais importantes percepções de Zadeh foi que a matemática pode ser utilizada para fazer uma ligação entre a linguagem e a inteligência humana. A teoria dos conjuntos fuzzy é uma teoria na qual tudo é objeto de gradação, ou de uma forma mais simples, tudo tem elasticidade. Ela se baseia no princípio de que o pensamento humano é estruturado não em números, mas sim em classes de objetos cuja transição entre pertencer e não pertencer a um conjunto é gradual e não abrupta. Isso é aplicável em praticamente todas as áreas da vida humana. A água do banho pode estar um pouco fria para um indivíduo, mas isto não significa que ela realmente esteja, em certo grau, quente. O raciocínio humano não trabalha somente com dicotomia (água fria 0, água quente 1), mas também com inúmeros intervalos entre esses dois extremos. Portanto, lógica fuzzy trabalha com calor e não com 50°.

Por conseguinte, alguns conceitos técnicos sobre a lógica fuzzy foram apurados. O primeiro deles refere-se ao grau de pertinência, onde na lógica fuzzy cada elemento difuso tem um grau de pertinência que está no intervalo [0,1], permitindo uma transição gradual da falsidade para a verdade. Pode-se dizer que o grau de pertinência reflete o conhecimento que se tem em relação a intensidade com que o objeto pertence a um determinado conjunto. Pensando na altura de uma pessoa, pode-se relacionar a pertinência de um elemento (pessoa) ao quanto (intensidade) que ela pode ser baixa, média ou alta. Esta pessoa é muito baixa, ou é pouco alta são termos que exemplificam de forma simples o que são os graus de pertinência.

Outro conceito de suma importância refere-se as variáveis linguísticas. São variáveis cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy. E, seu principal objetivo é fornecer uma aproximação desses eventos que são mal definidos e imprecisos segundo [8]. É uma forma de representar linguisticamente uma equação envolvendo conjuntos fuzzy. A variável linguística pode ser qualquer substantivo, e o seu valor é representado por um adjetivo que intensifica de maneira vaga ou imprecisa o que está acontecendo. Um caso bem simples é quando uma pessoa diz que, por exemplo, a chuva está forte. A chuva é uma variável linguística que está recebendo o atributo de forte. De um modo mais formal, a variável linguística  $x$  no universo  $U$  é uma variável cujos valores assumidos por ela são subconjuntos fuzzy de  $U$ .

Por fim, foi desenvolvido o conceito da inferência fuzzy. Este é processo de aplicação da lógica fuzzy em

um conjunto de dados. Os dados iniciais, que são entradas imprecisas obtidas através de medições ou observações, são submetidos aos processos de análise e as regras referentes à lógica fuzzy, e no final são obtidos dados mais precisos modulados ao pensamento humano. Este processo é dividido em três partes, sendo o primeiro deles a fuzzificação. Neste processo, os dados imprecisos obtidos são mapeados para filtrar o que é relevante para cada tipo de situação. Assim, é nesta parte que as entradas crisp são transformadas em entradas fuzzy. Para isso, são definidos os nomes para os domínios de cada condição e também são definidos os graus de pertinência de cada conjunto (geralmente através de um especialista). Com os nomes dos domínios e as funções de pertinência já definidos, a fuzzificação consegue manipular uma entrada, comparar com o dado de pertinência e produzir uma entrada fuzzy. Depois do processo de fuzzificação, o segundo estágio refere-se à ativação de regras. Esta parte pode ser considerada como o núcleo do controlador fuzzy, pois manipulará os dados que serão mais tarde interpretados no estágio final da inferência. Esses dados fuzzificados são submetidos a esse conjunto de regras que estabelecem relações de causa e efeito entre as variáveis de entrada e saída. Tais regras de ativação geralmente referem-se a utilização dos conectivos SE e ENTÃO, onde uma ação é descrita sendo resposta das entradas fuzzy formadas no processo de fuzzificação. Pensando no exemplo de uma lâmpada controlada por lógica fuzzy, ela poderia ter a seguinte condição: SE o ambiente está escuro, ENTÃO a iluminação deve ser muito alta. Por fim, o processo e defuzzificação a interpretação final dos dados, onde as saídas são precisas e modeladas de forma similar ao pensamento humano. Segundo [5] é a etapa onde os números fuzzy são convertidos em números reais em um conjunto de saída matematicamente definido. Segundo [9] os defuzzificadores mais utilizados são: centro de área, média dos máximos e primeiro máximo.

## Resultados e discussão

Para obtenção de um resultado envolvendo lógica fuzzy, foi realizado um exemplo simples de aplicação, onde foi avaliado o custo benefício para reserve de hospedagem em um hotel, utilizando um algoritmo em Python. No exemplo, foi possível analisar todas as fases de aplicação da lógica fuzzy, desde a fuzzificação, a ativação das regras e a defuzzificação. Para isso, foram definidos alguns parâmetros: Preço da diária (500 a 1000) e conforto (10 a 15) como entrada e custo benefício (0 a 10) como saída. As regras foram definidas, tendo uma delas como exemplo: SE o preço é

baixo OU o conforto é baixo, ENTÃO o custo benefício é médio. Dessa maneira, foi possível obter graficamente a indicação do custo benefício caso os parâmetros de entrada escolhidos fossem 700 para preço e 13 para conforto:

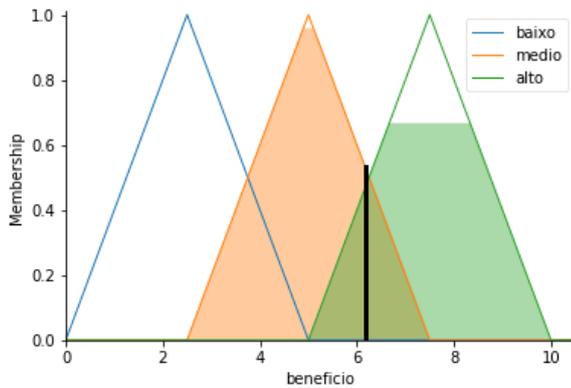


Figura 1 – Custo benefício

### Conclusões

Pode-se concluir que a lógica fuzzy é um método eficiente para otimização, pois ela consegue modelar o raciocínio humano aos mais variados processos. A utilização deste raciocínio pode ser de suma importância para processos industriais, pois estes estão sujeitos a perturbações, imprevistos, fenômenos físicos e diversos outros obstáculos. Assim, um controlador fuzzy pode se adequar ao processo, analisando padrões de comportamento observando os contratempos, e modelando a resposta de maneira precisa.

Trazendo para a área da engenharia elétrica, e mais especificamente das micro-redes, a lógica fuzzy pode desenvolver um importante papel para contornar alguns problemas. As placas fotovoltaicas podem ter momentos de sombreamento durante o dia, que pode afetar sua eficiência. Um processo de aplicação da lógica fuzzy pode ser feito, tendo como entradas, por exemplo, preço da eletricidade, tempo de sombreamento, excesso de demanda e carga. E como saída o custo benefício, carga modificada e troca de energia com a rede principal.

### Agradecimentos

Professor Antônio Carlos Zambroni, Universidade Federal de Itajubá  
Universidade Federal de Itajuba  
CNPq. Fapemig

### Referências

[1] MORTARI, Cezar A. **Introdução à lógica**. Unesp, 2001.

[2] DE ARAÚJO FEITOSA, Hércules. **Um prelúdio à lógica**. Unesp, 2005.

[3] SIMÕES, Marcelo Godoy; SHAW, Ian S. **Controle e modelagem fuzzy**. Editora Blucher, 2007.

[4] AGUADO, Alexandre Garcia; CANTANHEDE, Marco André. **Lógica fuzzy**. *Artigo sem*, 2010.

[5] COX, Earl. **The fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems**. New York: AP Professional, 1994.

[6] ZADEH, Lotfi A. **Fuzzy logic**. *Computer*, v. 21, n. 4, p. 83-93, 1988.

[7] KLIR, George J. **On fuzzy-set interpretation of possibility theory**. *Fuzzy sets and systems*, v. 108, n. 3, p. 263-273, 1999.

[8] GONCALVES, Marlene; TINEO, Leonid. **Fuzzy dominance skyline queries**. In: **Database and Expert Systems Applications: 18th International Conference, DEXA 2007, Regensburg, Germany, September 3-7, 2007. Proceedings 18**. Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 469-478.

[9] LIOU, Tian-Shy; WANG, Mao-Jiun J. **Fuzzy weighted average: an improved algorithm**. *Fuzzy sets and systems*, v. 49, n. 3, p. 307-315, 1992.