

Etapas do desenvolvimento de um sistema fuzzy gerencial para apoio à eficiência energética

Fernando de Lima Caneppele¹, Odivaldo José Seraphim²,

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho³

¹ Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) – Universidade de São Paulo (USP) – Pirassununga – S.P. – Brasil

² Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Botucatu – S.P. – Brasil

³ Campus Experimental de Tupã - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP) – Tupã – S.P. – Brasil

caneppele@usp.br , seraphim@fca.unesp.br , gabrielfilho@tupa.unesp.br

Resumo. *Este trabalho tem o objetivo de descrever as etapas do desenvolvimento de um sistema gerencial baseado em lógica fuzzy para acompanhamento da aplicação de programas de eficiência energética. O sistema foi desenvolvido utilizando o ambiente de computação matemático-científica MATLAB®, através do Fuzzy Logical Toolbox. Foram observadas as particularidades das empresas, no que diz respeito aos procedimentos gerenciais relacionados à eficiência energética. Foi concebido inicialmente para a área industrial madeireira, mas pode ser utilizado em outras indústrias de todos os tipos com poucas modificações. Concluiu-se que o uso desses sistemas permite o controle através informações qualitativas e não quantitativas, sem necessidade de modelar o sistema com equações. O sistema gerencial desenvolvido permite indicar se há possibilidade de aumento do nível de eficiência energética nas serrarias.*

Palavras-chave: *Lógica Fuzzy, Eficiência Energética, Indústria Madeireira, Serrarias.*

Stages of development of a management system for fuzzy support energy efficiency

Abstract. *This paper has the objective of describe the stages of development of a management system based on fuzzy logic for monitoring the implementation of energy efficiency programs. The system was developed using the environment of MATLAB mathematical and scientific computing, through the Fuzzy Logical Toolbox. The particularities of the companies were observed with regard to management procedures related to energy efficiency. It was originally designed for the timber industrial area, but may be used in other industries of all types with a few modifications. It was concluded that the use of these systems allows control through qualitative rather than quantitative information without the need to model the system with equations. The management system developed allows you to indicate if there is possibility of increasing the level of energy efficiency in sawmills.*

Keywords: *Fuzzy Logic, Energy Efficiency, Wood Industry, Sawmills.*

1. Introdução

A lógica fuzzy ou difusa ou nebulosa ou não-formal foi proposta por Lotfi A. Zadeh em 1965 em seu trabalho “*Fuzzy Sets*” (ZADEH, 1965).

A lógica fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas (GOMIDE & GUDWIN, 1994).

De acordo com (Shaw & Simões, 2007), no mundo real algumas situações obrigam o ser humano a estimar parâmetros e tomar decisões. Sistemas computacionais e outros meios de tecnologia não são capazes de lidar, com tais situações, comuns para os seres humanos.

Zadeh (1975), diz que a teoria dos conjuntos fuzzy tem como um de seus objetivos o desenvolvimento de uma metodologia para a formulação e solução de problemas bastante complexos ou mal formulados sob o ponto de vista das técnicas convencionais.

Segundo (Shaw & Simões, 2007), a lógica fuzzy provê um método de traduzir expressões verbais, vagas, imprecisas e qualitativas, comuns na comunicação humana em uma sequência e forma compreensível pelos computadores. Assim, a tecnologia possibilitada pelo “enfoque fuzzy” tem um imenso valor prático, na qual se torna possível a inclusão da experiência de operadores humanos, especialistas, os quais controlam processos e plantas industriais, possibilitando estratégias de tomadas de decisão em problemas complexos.

O esquema básico, simplificado, de funcionamento de um sistema fuzzy é mostrado na Figura 01.

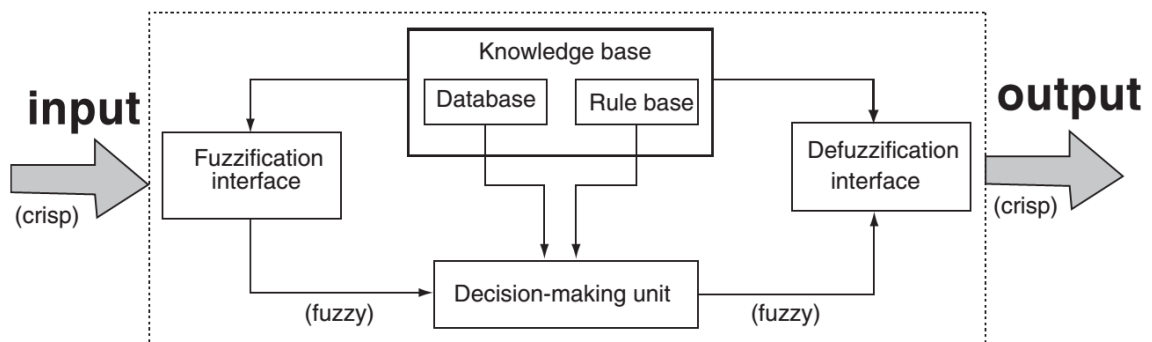


Figura 01. Diagrama em bloco de um sistema fuzzy típico.

Fonte: Fonte: (MATHWORKS, 2014).

Caneppele (2011) destaca que outros softwares podem ser utilizados entre eles o Mathematica[®], o Mapple[®] e o SciLab[®], sendo este último, um software livre e para uso específico apenas em sistemas fuzzy tem-se o Fuzzy Tech. Há ainda outros softwares com diferentes funcionalidades para sistemas fuzzy tais como o UnFuzzy[®], XFuzzy[®] e FuzzyChips[®]. Um exemplo com as telas de configuração de um sistema de inferência fuzzy no MATLAB[®] é mostrado na Figura 02.

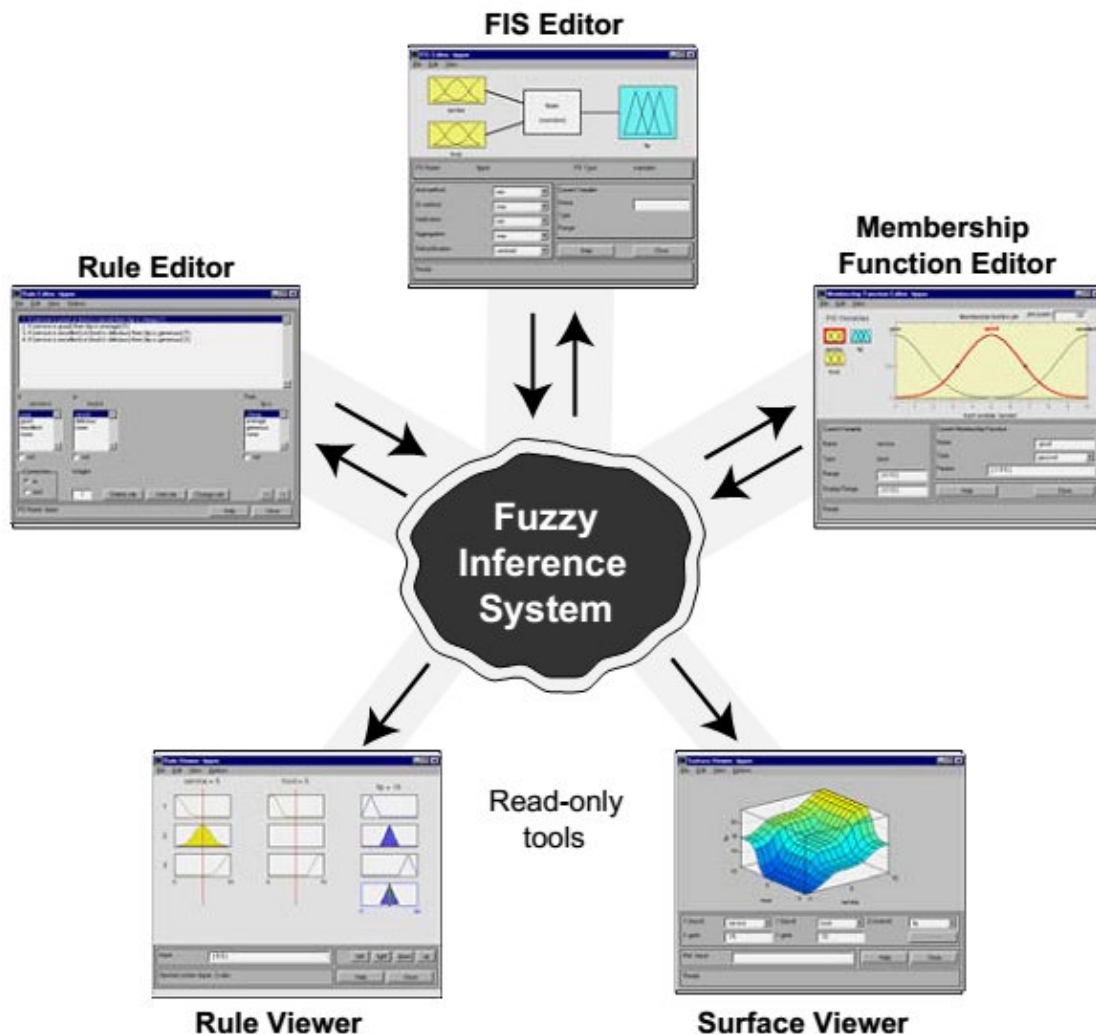


Figura 02. Telas de configuração do sistema de inferência fuzzy no MATLAB®.

Fonte: (MATHWORKS, 2014).

Capelli (2007) cita que a eficiência energética é uma filosofia de trabalho que visa aperfeiçoar a utilização da energia elétrica por meio de orientações, direcionamentos, ações e controle dos recursos humanos, materiais e econômicos, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia necessária para a obtenção do mesmo resultado ou produto.

De acordo com Nogueira (2007), as causas das ineficiências se associam essencialmente a três situações: Projeto deficiente; Operação ineficiente; Manutenção inadequada.

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de descrever as etapas do desenvolvimento de um sistema gerencial baseado em lógica fuzzy para acompanhamento da aplicação de programas de eficiência energética.

2. Materiais e métodos

Para o desenvolvimento e simulações referentes ao uso da teoria fuzzy foi utilizado o ambiente de computação científica MATLAB®, através do *Fuzzy Logical Toolbox*.

A metodologia utilizada no sistema gerencial de apoio à decisão utilizando lógica fuzzy foi baseada nas descritas e propostas por Caneppele & Seraphim (2010), Gabriel Filho *et al.* (2011) e Caneppele *et al.* (2013) e Caneppele & Seraphim (2013).

O uso da teoria fuzzy para a análise dos indicadores de eficiência energética na indústria madeireira nos possibilita avaliar de modo real como está o nível e o quanto pode ser melhorado em termos de eficiência energética.

A revisão de literatura e o estado da arte no que diz respeito aos modelos e metodologias existentes para projetos de eficiência energética, leva a escolha das variáveis que serão “fuzzificadas”.

A parte gerencial envolve as políticas e costumes da empresa no que diz respeito à administração de todo o processo industrial. As variáveis de entrada serão as práticas de eficiência energética, de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado.

Com essas variáveis, o sistema fuzzy proposto interpretará, de acordo com as regras a serem descritas, qual será a possibilidade de aumento do nível de eficiência real da planta industrial.

Da mesma forma que o anterior, com essas variáveis, o sistema fuzzy proposto interpretará, de acordo com as regras a serem descritas, qual será o nível de eficiência real da planta industrial.

Para a obtenção dos conjuntos fuzzy que representam o comportamento das variáveis da parte gerencial, é necessário, inicialmente, definir os limites inferior e superior, bem como a amplitude dos intervalos de variação destas duas grandezas.

Na Tabela 01 são mostrados estes limites e intervalos. Eles são obtidos em função do conhecimento prévio do comportamento das grandezas, os quais dependem dos dados coletados anteriormente e dos cálculos à partir desses dados.

Tabela 01. Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte gerencial.

<i>Variável</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Delimitadores</i>
Práticas de eficiência energética (PEE)	0	1	0,25
Manutenção de instalações e equipamentos (MAN)	0	1	0,25
Corpo técnico qualificado (TEC)	0	1	0,25
<i>Possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS)</i> [%]	0	100	25

Para as práticas de eficiência energética (PEE), os limites inferior e superior são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25, para efeito de projeto e simulação no modelo fuzzy proposto. Considera-se que “0” significa sem prática de eficiência energética e “1” que a empresa possui programa efetivo de eficiência energética.

Para a manutenção de instalações e equipamentos (MAN), os limites inferior e superior também são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25. Considera-se que “0” significa que a empresa não possui programa de manutenção e “1” que a empresa possui programa efetivo de manutenção de máquinas e equipamentos.

Para a presença de corpo técnico qualificado (TEC), os limites superior e inferior são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25. Considera-se que “0” significa que a empresa não possui corpo técnico qualificado e “1” que a empresa possui.

Para a possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS), os limites superior e inferior são 0 e 100, divididos em intervalos de 25 %. Considera-se que “0 %” significa que a empresa não tem possibilidade do aumento do nível de eficiência e “100 %” que a empresa tem possibilidade.

São considerados para efeito de uso nas regras fuzzy as seguintes nomenclaturas - linguagem própria da lógica fuzzy - de característica das práticas de eficiência energética, de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado e possibilidade de aumento do nível de eficiência energética, conforme descrito na Tabela 02:

Tabela 02. Nomenclatura para os conjuntos fuzzy de entrada da parte gerencial PEE, MAN e TEC e de saída POS.

<i>Variável</i>	<i>pouca</i>	<i>média</i>	<i>boa</i>
Práticas de eficiência energética (PEE)	X	X	X
Manutenção de instalações e equipamentos (MAN)	X	X	X
Corpo técnico qualificado (TEC)	X	X	X
Possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS)	X	X	X

Cada elemento de (PEE), (MAN), (TEC) e (POS) pertence a dois ou mais conjuntos fuzzy distintos e possui um grau de pertinência relativamente a cada um desses conjuntos.

Inserindo os dados, de acordo com as Tabelas 01 e 02, das variáveis fuzzy no *Fuzzy Logical Toolbox*, serão construídas as funções de pertinência.

Na Figura 03, estão ilustradas as funções de pertinência associadas às variáveis de entrada “práticas de eficiência energética” do sistema proposto para a parte gerencial.

As outras funções da parte gerencial, quais sejam, a de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado e possibilidade de aumento do nível de eficiência real da planta industrial, são construídas de maneira análoga.

Após a definição das funções de pertinência das variáveis de entrada e de saída dos sistemas gerencial, são determinadas as regras do sistema fuzzy. As regras são elaboradas durante o projeto do sistema em si, levando em consideração todas suas características e detalhes. Neste ponto é importante a presença de um especialista da área em que o sistema fuzzy está sendo aplicado.

Após essas etapas da construção do sistema fuzzy, podem-se inserir valores numéricos para as variáveis de entrada, simulando situações reais, do ponto de vista do especialista, para verificar o funcionamento do sistema em si.

A defuzzyficação consiste em traduzir para um valor numérico o resultado da variável de saída do que foi obtida pela aplicação das regras fuzzy. Isto pode ser feito pela apresentação da função de pertinência relacionada à variável de saída ou por uma superfície de resposta, associando as variáveis de entrada e saída.

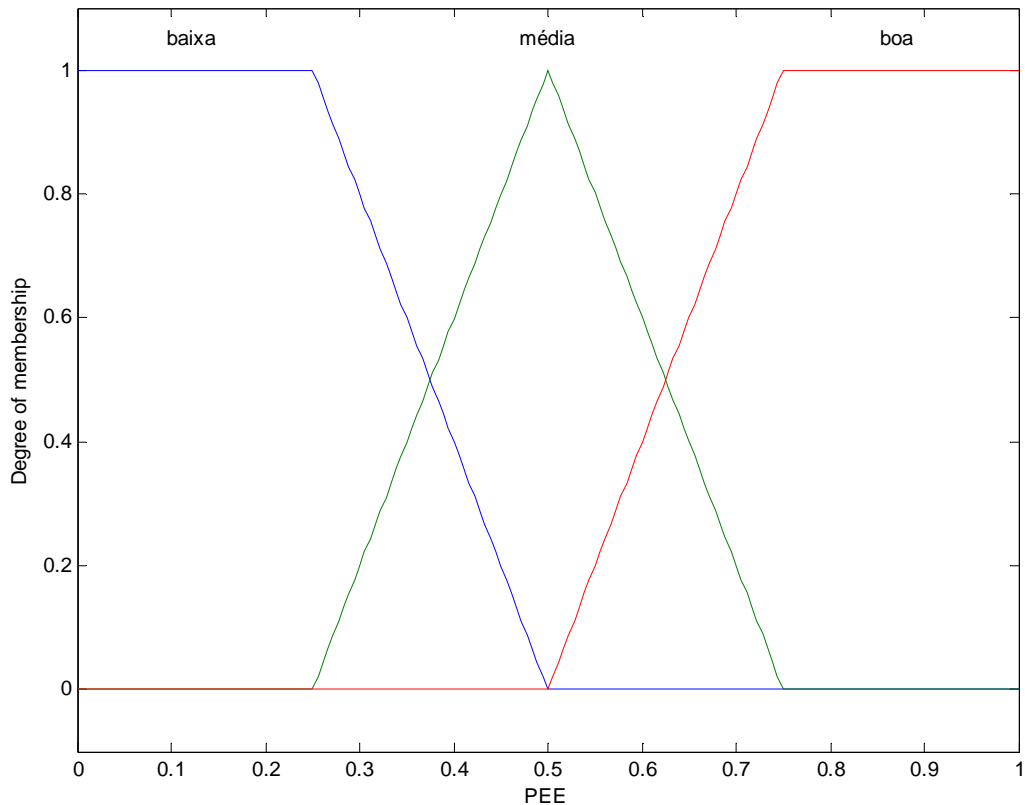


Figura 03. Função de pertinências associada à variável de entrada “práticas de eficiência energética”

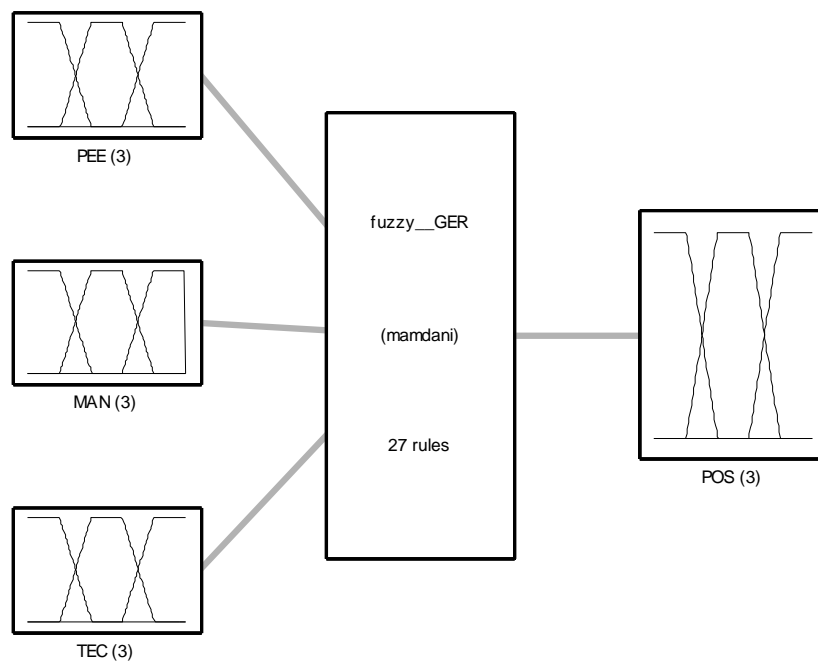
3. Resultados

O sistema gerencial baseado em lógica fuzzy para acompanhamento da aplicação de programas de eficiência energética está na Figura 04.

Esta figura é gerada através do MATLAB. As saídas do sistema de inferência fuzzy são apresentadas de duas maneiras distintas, a primeira gerada pelas regras fuzzy utilizadas e a segunda em forma de uma superfície de associação entre as variáveis de entrada e saída.

De acordo com a Figura 04, o sistema gerencial possui 3 entradas, 1 saída e 27 regras que determinam seu comportamento.

A Figura 05 mostra a tela de configuração, edição e inserção de dados do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema gerencial.



System fuzzy_GER: 3 inputs, 1 outputs, 27 rules

Figura 04. Resumo do sistema de suporte fuzzy gerencial.

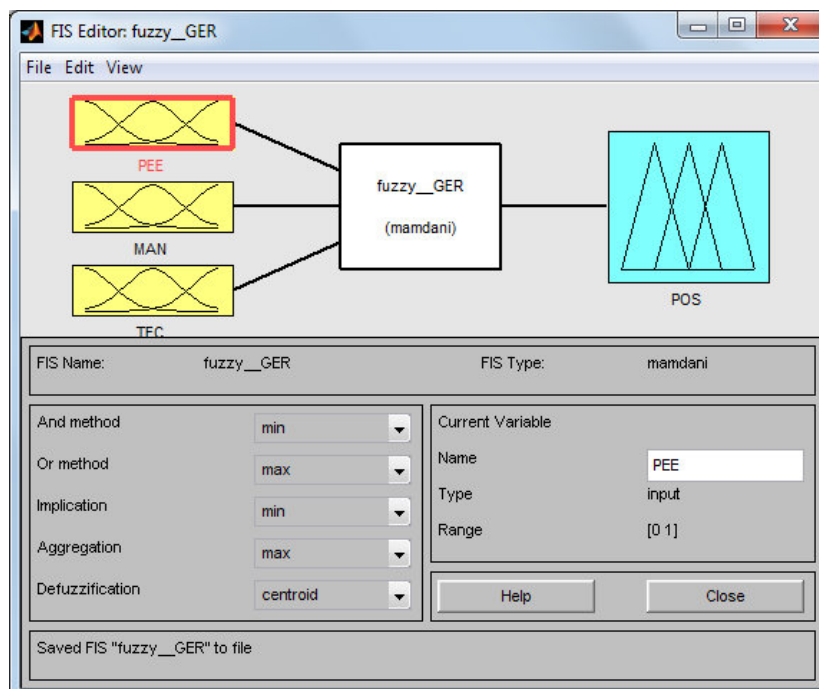


Figura 05. Tela inicial e de configuração básica do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB para o sistema gerencial.

Nas Figuras 06 e 07, tem-se o exemplo da tela onde se definiu o domínio e a escolha do formato e número de funções de pertinência das variáveis de entrada e/ou saída para o sistema gerencial.

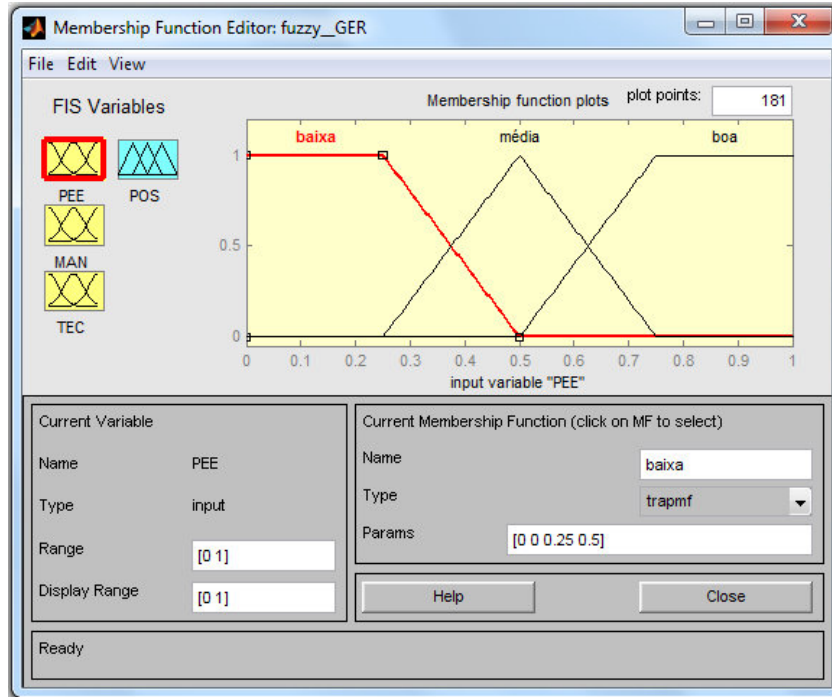


Figura 06. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de entrada para o sistema gerencial.

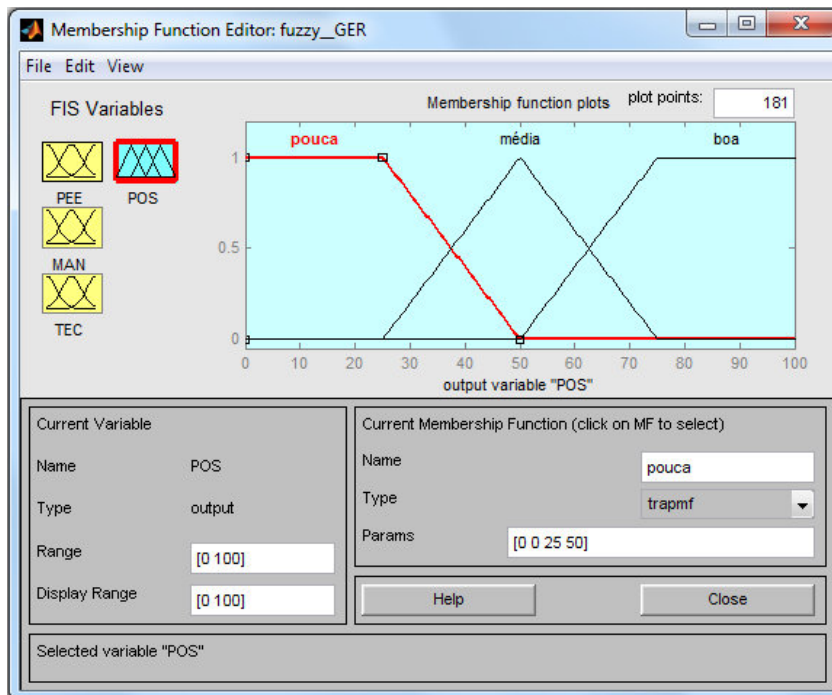


Figura 07. Definição do domínio e escolha das funções de pertinência das variáveis de saída para o sistema gerencial.

Em um sistema de suporte baseado na teoria fuzzy determinam-se as regras de acordo com o número de variáveis de entrada e de saída. Inúmeras regras podem ser estabelecidas para se controlar o sistema e sua inserção no sistema proposto para a parte gerencial está ilustrado na Figura 08.

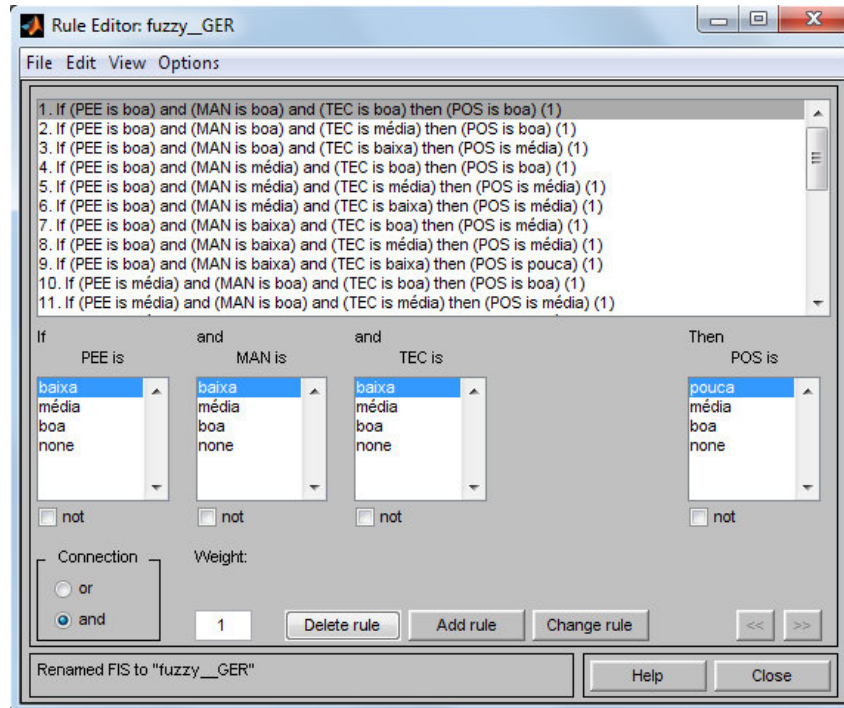


Figura 08. Base de regras para o sistema de suporte gerencial.

Na construção de cada regra definiu-se a conexão entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, através dos operadores lógicos. Após a inserção de todas as regras tem-se a formação do sistema de controle fuzzy.

4. Conclusões

Na aplicação dos sistemas fuzzy, foram observadas as particularidades das empresas, no que diz respeito aos procedimentos gerenciais, pois o seu estabelecimento proporciona maior controle do uso de energia elétrica.

O uso desses sistemas permite o controle através informações qualitativas e não quantitativas, sem necessidade de modelar o sistema com equações. O sistema gerencial desenvolvido permite indicar se há possibilidade de aumento do nível de eficiência energética nas serrarias.

A elaboração de um programa computacional para implantação do sistema desenvolvido sem a necessidade do uso do MATLAB para os diagnósticos, pode ser implementada em alguma linguagem de programação, como o JAVA, por exemplo.

5. Referências

- CANEPPELE, F. L. 2011.** Sistema fuzzy de suporte a decisão para aplicação de programa de eficiência energética em serrarias. Tese (Doutorado) - Curso de Energia Na Agricultura, Departamento de Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 160 p.
- CANEPPELE, F. L. et al. 2013.** Gains obtained in hybrid systems of energy generation solar photovoltaic and wind power for rural electrification with the use of fuzzy logic controllers based. *Agricultural Engineering*. Belgrado. 2(1):35-44.
- CANEPPELE, F. L.; SERAPHIM, O. J. 2010.** Aplicação da teoria fuzzy no controle de sistemas de geração de energias alternativas. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu. 3(25):24-41.
- CANEPPELE, F. L.; SERAPHIM, O. J. 2013.** Análise da eficiência energética na indústria madeireira através da lógica fuzzy. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu. 28(2):31-38.
- CAPELLI, A. 2007.** Energia elétrica para sistemas automáticos da produção. São Paulo: Érica, 2007. 320 p.
- GABRIEL FILHO, L.R.A et al. 2011.** Application of fuzzy logic for the evaluation of livestock slaughtering. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal. 31(4):813-825.
- GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. 1994.** Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. *Revista SBA - Controle & Automação*. Campinas. 4(3):97-115.
- MATHWORKS. 2014.** MATLAB - Fuzzy Logic Toolbox™ - User's Guide. Natick: Mathworks. 337 p.
- NOGUEIRA, L. A. H. 2007.** Uso racional: a fonte energética oculta. *Estudos Avançados*, São Paulo. 21(1):91-105.
- SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. 2007.** Controle e modelagem Fuzzy. 2. ed. São Paulo. 180 p.
- ZADEH, L. 1965.** Fuzzy Sets. *Information and Control*. Berkeley. 8(1):338-353.
- ZADEH, L. 1975.** Fuzzy sets and their applications to cognitive and decision processes. Academic Press. New York. 496 p.