convibra agronomia

Aplicações de Lógica Fuzzy na Engenharia de Biossistemas

Fernando de Lima Caneppele[1], Marianna Cardi Peccinelli[1],

Luís Roberto Almeida Gabriel Filho[2]

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

[2] Campus Experimental de Tupã – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) – Tupã – S.P. – Brasil

caneppele@usp.br, marianna.peccinelli@usp.br , gabrielfilho@tupa.unesp.br

Resumo. *Este trabalho tem o objetivo mostrar e discutir as aplicações da Lógica Fuzzy na Engenharia de Biossistemas e em suas áreas de atuação, mostrando assim a forte interação que essas duas áreas podem ter. A Engenharia de Biossistemas é definida como a evolução e a integração da ciência e da engenharia com aplicações nas ciências biológicas, agrárias e ambientais. Refere-se à educação e pesquisa de ciências, física e engenharia para entender modelos, processos ou melhorar sistemas biológicos para desenvolvimento sustentável na agricultura, na alimentação e n uso da terra e do meio ambiente. Já 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. Concluiu-se que a Teoria Fuzzy vem sendo utilizada nas áreas contempladas pela Engenharia de Biossistemas com grande sucesso, como pôde ser verificado nas citações. Este avanço é notável e se deve ao fato desta teoria ser interdisciplinar e trazer resultados satisfatórios aos pesquisadores quando da modelagem é necessário modelar por exemplo sistemas complexos com muitas variáveis.*

Palavras-chave: *Engenharia de Biossistemas, Lógica Fuzzy, Teoria Fuzzy.*

Abstract. *This paper aims to show and discuss the applications of Fuzzy Logic in Biosystems Engineering and in their fields, thus showing the strong interaction that these two areas may have. The Biosystems Engineering is defined as the development and integration of science and engineering with applications in biological, agricultural and environmental sciences. Refers to education and research in science, engineering and physics to understand models, processes or improve biological systems for sustainable development in agriculture, food en land use and the environment. Already fuzzy logic provides a method to translate verbal, vague, imprecise and qualitative expressions, common in human communication in a comprehensible manner and sequence by computers. It was concluded that the Fuzzy Theory has been used in the areas covered by the Biosystems Engineering with great success, as can be seen in the quote. This advancement is remarkable and is due to the*

fact that this theory is interdisciplinary and bring satisfactory results to researchers when modeling is necessary to model such complex systems with many variables.

Keywords: *Biosystems Engineering, Fuzzy Logic, Fuzzy Theory.*

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).

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.

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 observou que muitas regras presentes no cotidiano da população não poderiam ser explicadas pelas pessoas que as usavam. Como exemplo, pode-se olhar para uma pessoa e imaginar que ela tenha 50 anos, porém não se pode explicar esse fato. Esta idéia então, o levou a desenvolver o que conhecemos por teoria fuzzy (EBERHART, 1996).

Para expressar conceitos é muito comum o uso de elementos qualitativos ao invés de valores quantitativos. Elementos típicos incluem "mais ou menos", "alto", "não muitos", "médio", etc. Estas idéias são capturadas pela definição de variável linguística. Uma variável linguística tem por característica assumir valores dentro de um conjunto de termos linguísticos, ou seja, palavras ou frases. Assim, ao invés de assumir instâncias numéricas, uma variável linguística assume instâncias linguísticas (GOMIDE & GUDWIN, 1994).

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.

Para modelar um sistema é necessário descrever o comportamento do mesmo para, por exemplo, sua análise, simulação e/ou projeto de controladores. (GOMIDE & GUDWIN, 1994).

Caneppele & Seraphim (2010), Caneppele *et al.* (2013), Caneppele & Seraphim (2013) utilizaram em suas aplicações de lógica fuzzy o software MATLAB®, através do "*Fuzzy Logical Toolbox*". Um exemplo com as telas de configuração de um sistema de inferência fuzzy no MATLAB® é mostrado na Figura 01.

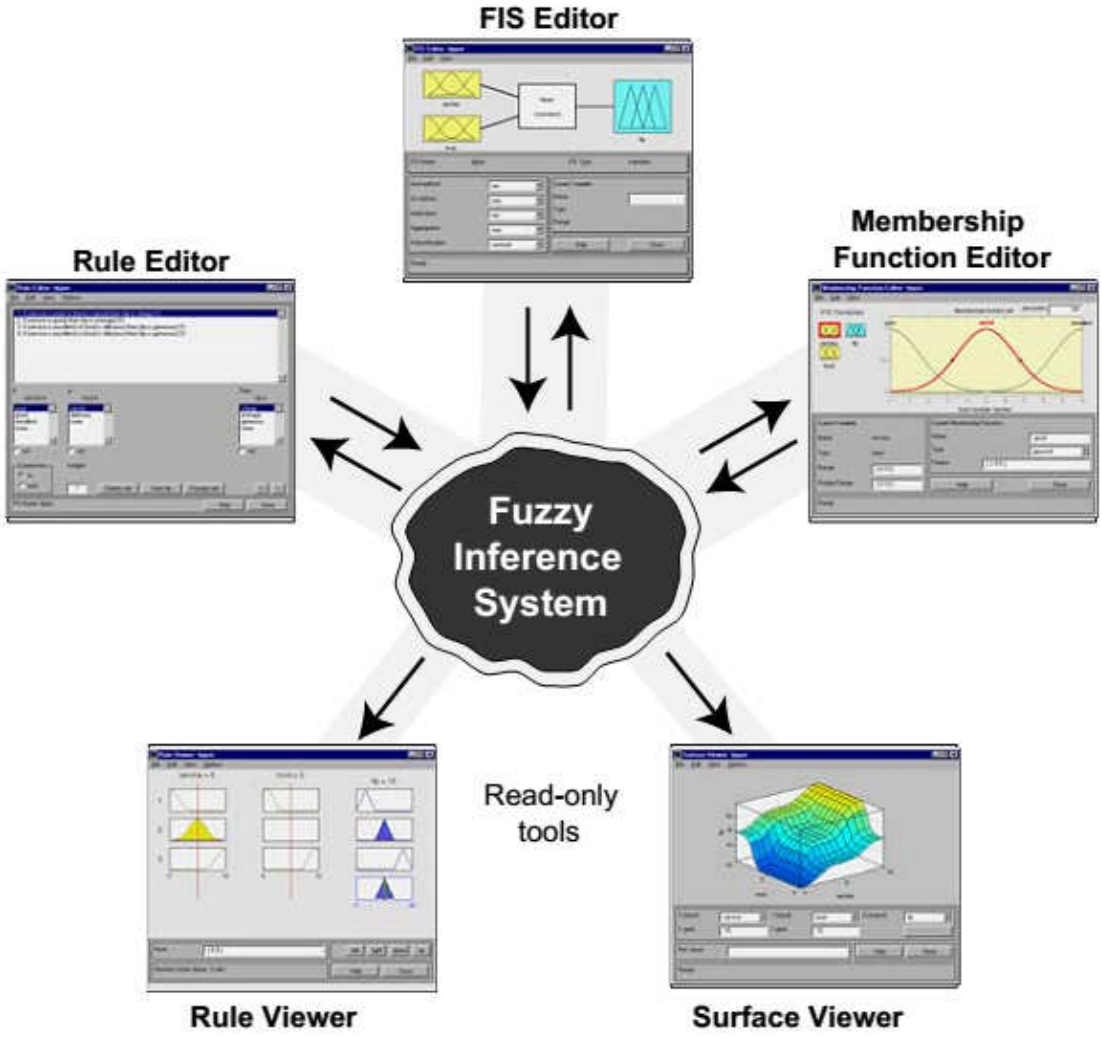

Figura 01. Telas de configuração do sistema de inferência fuzzy no MATLAB®.

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®.

O fato da lógica fuzzy ser interdisciplinar e trazer resultados satisfatórios aos pesquisadores, que antes tinham dificuldades em modelar certos processos, fez com que ela tivesse grande avanço.

A engenharia de biossistemas, engenharia também indisciplinar, aproveita-se então dos conhecimentos e aplicações da teoria fuzzy, dada sua característica tão diversificada.

A engenharia de biossistemas é definida como a evolução e a integração da ciência e da engenharia com aplicações nas ciências biológicas, agrárias e ambientais. Refere-se à educação e pesquisa de ciências, física e engenharia para entender modelos, processos ou melhorar sistemas biológicos para desenvolvimento sustentável na agricultura, na alimentação e n uso da terra e do meio ambiente (ERABEE, 2010).

À partir da grade curricular do curso da Engenharia de Biossistemas da USP de Pirassununga (USP 2014), foi elaborada a Figura 02, que contempla as áreas de atuação deste profissional.

A Revista Globo Rural (2013) cita que o desenvolvimento da agropecuária tornou necessário o surgimento de novas profissões para a atuação no setor. É o caso do então do engenheiro de biossistemas. Apesar de ser tradicional na Europa e nos Estados Unidos, o curso é relativamente novo no Brasil: só chegou ao país em 2009.

De acordo com o Guia do Estudante (2014) a engenharia de biossistemas é a aplicação da ciência, matemática e engenharia para a agricultura, sistemas de produção, recursos naturais, ambiente e sistemas biológicos relacionados.

O mesmo autor segue dizendo que esse profissional desenvolve tecnologias que envolvem o sistema produtivo do agronegócio. Ele entende de produção animal e vegetal, tecnologias de automação, apoio à produção, agricultura de precisão e zootecnia de precisão (práticas de interferência a fim de estabelecer condições ideais).

Mediante uso de tecnologias inovadoras, ele projeta sistemas que beneficiam a produção no campo, de maneira produtiva e sustentável, como sistemas de drenagem, alternativas de energia e métodos de armazenamento.

Pode ainda desenvolver, instalar e gerenciar equipamentos e sistemas de apoio à agropecuária, beneficiando a produção de alimentos, fibras, materiais e energia. Atua em toda a cadeia do agronegócios, desde a infraestrutura, passando pela automação, até a gestão de tecnologias.

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo mostrar e discutir as aplicações da lógica fuzzy na engenharia de biossistemas e em suas áreas de atuação, mostrando assim a forte interação que essas duas áreas, tidas como novas tecnologias, podem ter.

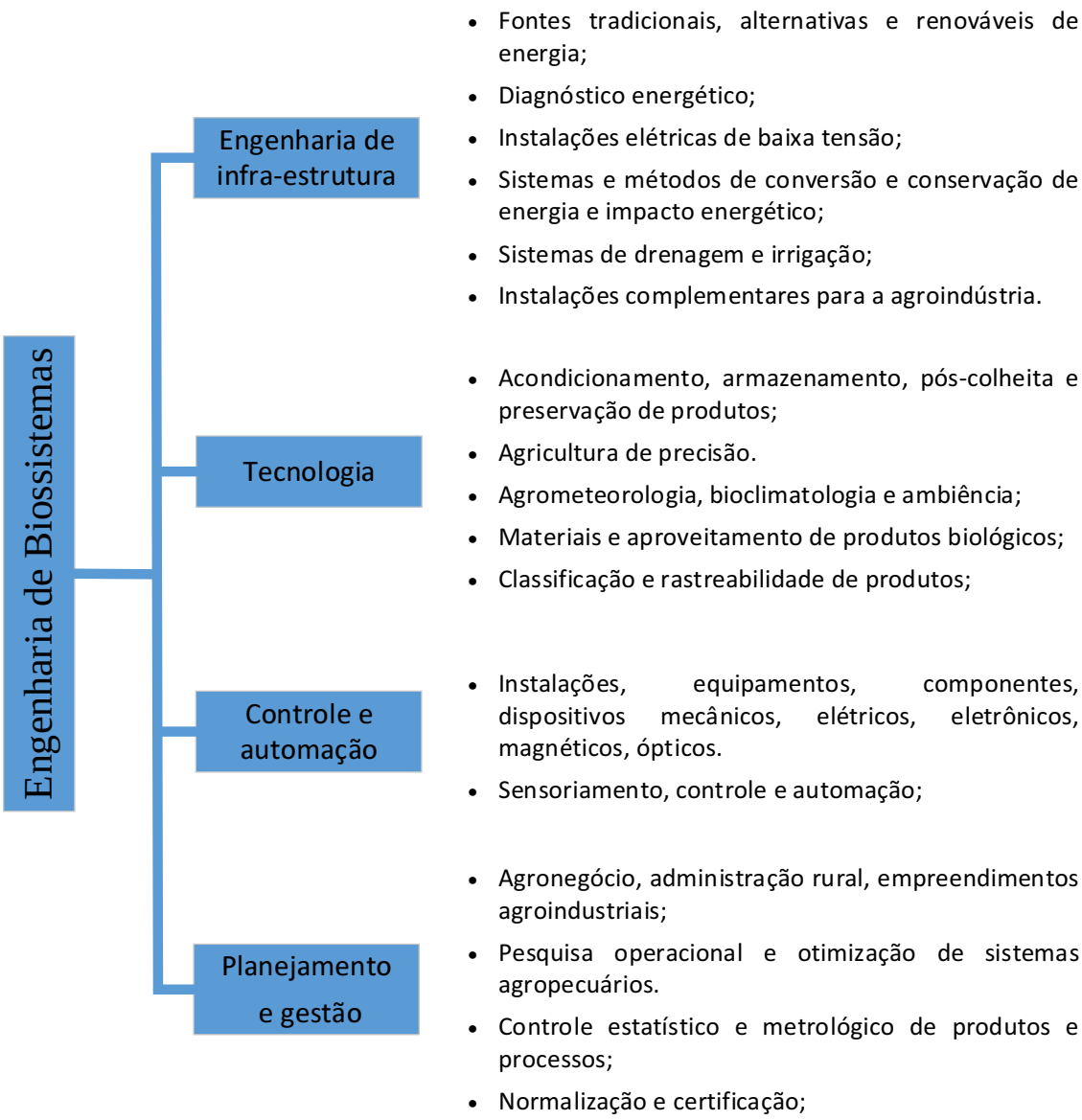

Figura 02. Áreas de atuação do Engenheiro de Biossistemas.

2. Materiais e métodos

A metodologia utilizada foi a de se realizar um levantamento bibliográfico sobre os temas relacionados, quais sejam, lógica fuzzy e suas aplicações nas áreas que compõe a engenharia de biossistemas, conseguindo assim verificar o estado da arte dos temas propostos. Foram utilizados e consultados para esta pesquisa artigos de revistas científicas conceituadas.

A pesquisa visou o aprofundamento acerca dos temas apresentados, especialmente quanto à engenharia de biossistemas, engenharia até agora pouco conhecida no Brasil, mas muito conhecida no mundo, principalmente na Europa e nos Estados Unidos.

Aplicações de lógica fuzzy de diversas áreas da engenharia de biossistemas foram citadas e discutidas. Estas grandes áreas incluíram a engenharia de infra-estrutura, a de controle e automação, a de tecnologia e a de planejamento e gestão.

3. Resultados

São apresentadas e discutidas em seguida, algumas aplicações de lógica fuzzy em áreas de estudo da engenharia de biossistemas.

Nos próximos anos a tendência é um aumento da geração distribuída, com base na energia natural ou cogeração, devido ao aquecimento global e a redução do uso de combustíveis fósseis. Muitas vezes, essa geração, está localizada nas proximidades do próprio local de consumo, como exemplo as usinas sucroalcooleiras e residências com placas fotovoltaicas e isso tem como vantagem a diminuição das perdas nas linhas de transmissão, porém há casos em que pode haver uma variação na tensão, ocasionando um sérios problemas aos equipamentos conectados à rede **(**OSHIRO *et al*., 2010). Essas variações e até perdas podem ser menores com a instalação e correto dimensionamento de capacitores *"shunt"*, com sistemas de decisão difusa, fazendo com que se diminuam a potência de pico, reduzindo a perda de energia e melhorando o perfil de tensão (TABATABAEI; VAHIDI, 2011).

Com a alta demanda de energia em áreas isoladas, vem se tornando ao longo do tempo a gestão do abastecimento de energia para equilibrar o sistema a produção e demanda. Uma das propostas para solução é o uso de energias renováveis e que possam ser sistemas instalados isolados. O mais utilizado com frequência e com boa eficiência são os painéis fotovoltaicos, que tem como vantagens a fácil manutenção, mas que em contra partida, gera energia somente ao longo do dia, precisando armazenar energia em baterias para o uso, quando da ausência da luz. O controlador fuzzy tem como função averiguar a conexão ou desconexão dos componentes, a geração do painel fotovoltaico, a medida da potência exigida pela carga, e a estimativa da energia armazenada nas baterias. O algoritmo tem como objetivo garantir a autonomia do sistemas, tornando-o independente do controle das chaves, que liga os componentes do sistema, com base em critérios de gerenciamento de determinados requisitos (YAHYAOUI *et al*., 2014).

É possível também através da análise de decisão, classificar qual será a irrigação mais adequada para uma determinada região e ou cultura específica. Os parâmetros são elaborados a partir dos aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais, enquadrados em critérios agrícolas e classificá-los de acordo com a sua importância para a avaliação local. (ANANE et al., 2012).

Sistemas de geração eólica e fotovoltaica com armazenamento de energia em baterias tem-se apresentado como uma forma de geração alternativa de energia. A variabilidade na intensidade da energia eólica e solar pode ser contornada pela complementação entre uma fonte e outra, ou pela maior estabilidade configurada à geração do sistema. Caneppele & Seraphim (2010) desenvolveram uma metodologia fuzzy e simularam seu uso no controle inteligente de um sistema híbrido de geração de energia elétrica, utilizando as energias solar-fotovoltaica e eólica.

A lógica também está presente nas medidas de desempenho de empresas. Foi o que Rezaei *et al.* (2012) realizou, desenvolvendo uma regra de base a partir do processo de hierarquia analítica (AHP) e comparando-as com especialistas para avaliar a orientação empresarial de pequenas e médias empresas e assim classificá-las com pontuação que indicam seus níveis de inovação. Para enfrentar crises e desordem emergente, surgiu o conceito de resiliência organizacional, a capacidade de manutenção sobre pressão das mudanças inesperadas na conjuntura econômica e social, afim de superar uma falha no processo. Foi para evitar esses problemas que Aleksi *et al.* (2013) propôs a utilização da lógica nebulosa para a avaliação do potencial de resiliência organizacional nas pequenas e médias empresas da indústria de processos, no qual o método propõe, através de um exemplo ilustrativo, medidas para reforçar a estratégia de negócios e melhorar os fatores da resiliência organizacional, de forma a acarretar melhorias no conhecimento desse problema.

Como o setor empresarial depende muito das características e necessidades dos seus clientes, é possível realizar um Desdobramento da Função de Qualidade (QFD), um artifício para transformar necessidades em características dos produtos oferecidos. Essa técnica utiliza a lógica difusa, empregando a união de metodologias para simular uma situação real em que o novo equipamento aperta os tubos de polietileno para encerrar o fluxo de gás (ZAIM *et al.*, 2014).

Assim como no mercado financeiro ou qualquer outra empresa o setor agropecuário está rodeado de incertezas e probabilidades de ter fracassos em uma plantação que recebeu cuidados e investimentos por meses. Para acabar com a incerteza na tomada de decisão, a lógica difusa entra para auxiliar na melhor escolha dos fundamentos das hipóteses, com ajuda dos especialistas na elaboração das regras e posteriormente a utilização de análise de sensibilidade pós-ótima, em que se cria um conjunto de duas faces desiguais não-equivalentes, derivadas das variáveis de decisões e restrições formuladas (SHER & AMIR, 1994).

O ambiente de fazendas de produção agrícola e pecuária vai se deteriorando com o uso e agravando o impacto ambiental. Em propriedades com grande índices de mecanização observa-se esse impacto com muita nitidez. Comparando fazendas de arroz tradicionais e pequenas, com mecanização menor, na província de Guilan, Irã, foram avaliados e comparados com Avaliação do Ciclo de Vida metodologia e sistema adaptativo de inferência neuro-fuzzy. Foram coletadas informações diretamente com os

proprietários das fazendas sobre o processo de produção, nos bancos de dados e de fluxo de energia de entrada e saída. Ao analisar os dados as pequenas propriedades tiveram um consumo de energia menor e menos danos ambientais por tonelada de arroz produzido. Os maiores responsáveis por esses impactos são o consumo de energia e em seguida os fertilizantes químicos (KHOSHNEVISAN et al., 2014).

Jana & Chattopadhyay (2005) propõe a otimização de energia direta para a operação agrícola sustentável, baseando-se no fato de que o consumo de energia na agricultura varia de acordo com os tipos de cultivo em diferentes estações do ano e das características das região onde estão instaladas. Utilizando da técnica difusa é possível adequar as necessidades particulares da região que são setorialmente, espacialmente e seccionalmente realista.

A agricultura de precisão é baseada em tomadas de decisões que otimizam a produção, fazendo com que pequenos detalhes no manejo resultem num ganho alto na produtividade. Para auxiliar nessa tomada de decisão são usados sensores remotos que descrevem de forma eficiente a variabilidade espacial da cultura, enviando informações referentes a ela e auxiliando na tomada de decisão com a lógica fuzzy (JONES; BARNES, 2000). Uma proposta que pretende mudar a agricultara é o Veículo tele operado usando técnica inteligente. Ele é usado para arar, semear e sensorar a umidade do solo, sendo controlado por um computador com sistema de direção em linha veículo. O controlador lógico fuzzy é usado para controlar a variação da velocidades e para alcançar os ângulos de direção desejado, os sensores infravermelhos enviam informações para o controlado, para serem tomadas as decisões sem prejudicar no seu percurso (KANNAN *et al.*, 2013).

O setor florestal tem grande importância em diversas áreas, entre elas a ambiental, a econômica e a social, que trazem desenvolvimento e progresso para o Brasil. Caracterizações, análises, estudos e simulações na indústrias, podem ser utilizados para a implantação de um programa de conservação de energia elétrica. Elas podem ser parte do diagnóstico energético, onde são feitas a avaliação de utilização de energia elétrica, a análise do fator de potência, do fator de carga e do fator de demanda, o enquadramento tarifário e a análise das demandas contratadas junto à concessionária de distribuição de energia elétrica. Caneppele & Seraphim (2013) utilizaram dois sistema de suporte à decisão baseados na lógica fuzzy. A justificativa do uso desses sistemas baseados na teoria fuzzy, um para análise dos consumos específicos e dos fatores envolvidos e o outro para análise das questões gerenciais, está na diversidade das empresas do setor industrial madeireiro. Com a teoria fuzzy, pôde-se construir um sistema confiável para a verificação real da eficiência energética.

4. Conclusões

A lógica fuzzy vem sendo aplicada em diversas áreas do conhecimento com grande sucesso, como pode ser verificado nas citações. Este avanço é notável e se deve ao fato desta teoria ser interdisciplinar e trazer resultados satisfatórios aos pesquisadores.

O uso de sistemas baseados na teoria fuzzy permite o controle através informações qualitativas. Quando sistemas se tornam complexos e com múltiplas variáveis, descrevê-los com equações matemáticas se torna difícil. Neste caso, descrevê-los com fuzzy, se torna uma boa alternativa.

A engenharia de biossistemas, embora nova no Brasil, já é conhecido há algum tempo em outros países do mundo. Propor aplicações de lógica fuzzy em uma área tão ampla como esta é um desafio neste país, pois trata-se ainda de um curso pouco conhecido, mas que se acredita em pouco tempo terá lugar de destaque entre as engenharias, pela sua grande diversidade de áreas.

5. Referências

ALEKSI, A. *et al*. 2013. An assessment of organizational resilience potential in SMEs of the process industry, a fuzzy approach. Journal of Loss Prevention in The Process Industries. Serbia, 26(6):1238-1245.

ANANE, Makram et al. 2012. Ranking suitable sites for irrigation with reclaimed water in the Nabeul-Hammamet region (Tunisia) using GIS and AHP-multicriteria decision analysis. Resources, Conservation And Recycling. Tunisia. 65(1):36-46.

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.

ERABEE - Education & Research in Biosystems Engineering in Europe. 2010. Biological and Agricultural Engineering. Disponível em: < http://www.erabee.aua.gr/FILES/DiscoverBAE.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2014.

EBERHART, R.; SIMPSON, P.; DOBBINS, R. 1996. Computational Intelligence PC tools. London. 491 p.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R. 1994. Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. Revista SBA - Controle & Automação. Campinas. 4(3):97-115.

GUIA DO ESTUDANTE. 2014. Engenharia de Biossistemas. Disponível em: <http://guiadoestudante.abril.com.br/profissoes/engenharia-producao/engenharia-biossistemas-741139.shtml>. Acesso em: 25 mar. 2014.

JANA, C.; CHATTOPADHYAY, R.N. 2005. Direct energy optimization for sustainable agricultural operation - a fuzzy linear programming approach. Energy for Sustainable Development. India. 9(3):5-12.

JONES, D; BARNES, E.M. 2000. Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. Agricultural Systems. USA. 65(3):137-158.

KANNAN, P. *et al.* 2013. Design and Implementation of Fuzzy Logic Controller for Online Computer Controlled Steering System for Navigation of a Teleoperated Agricultural Vehicle. Mathematical Problems in Engineering. 590861:1-10.

KHOSHNEVISAN, B. *et al.* 2014. Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. Science of the Total Environment. 481(15):242-251.

MATHWORKS. 2014. MATLAB - Fuzzy Logic Toolbox™ - User's Guide. Natick: Mathworks. 337 p.

OSHIRO, M. *et al*. 2010. Optimal voltage control in distribution systems with coordination of distribution installations. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Okinawa. 32(10):1125-1134.

REVISTA GLOBO RURAL. 2013. Engenharia de Biossistemas. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI343268-18072,00-ENGENHARIA+DE+BIOSSISTEMAS.html>. Acesso em: 24 mar. 2014.

REZAEI, J. et al. 2013. An improved fuzzy preference programming to evaluate entrepreneurship orientation. Applied Soft Computing. Holanda. 13(5)2749-2758.

SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. 2007. Controle e modelagem Fuzzy. 2. ed. São Paulo. 180 p.

SHER, A.; AMIR, I. 1994. Optimization with Fuzzy Constraints in Agricultural Production Planning. Agricultural Systems. Israel. 45(4):421-441.

TABATABAEI, S.M.; VAHIDI, B. 2011. Bacterial foraging solution based fuzzy logic decision for optimal capacitor allocation in radial distribution system. Electric Power Systems Research. Tehran. 81(4):1045-1050.

USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. 2014. Grade Curricular - Engenharia de Biossistemas. Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/listarGradeCurricular?codcg=74&codcur=74300&codhab=0&tipo=N>. Acesso em: 24 mar. 2014.

YAHYAOUI, I. *et al.* 2014. A proposal for off-grid photovoltaic systems with non-controllable loads using fuzzy logic. Energy Conversion And Management. 78(1):835-842.

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.

ZAIM, S. *et al.* 2014. Use of ANP weighted crisp and fuzzy QFD for product development. Expert Systems With Applications. Istanbul 41(9):4464-4474.