

CONTROLE FUZZY DO ARMAZENAMENTO DE GRÃOS DE ARROZ

Marcos Rodrigo Sauki, Maicon Bastos Palhano, Gabriel Felipe, Ruano Marques Pereira,
Priscyla W. T. de Azevedo Simões e Merisandra Côrtes de Mattos Garcia
Curso de Ciência da Computação, Universidade do Extremo Sul Catarinense - Criciúma –SC- Brasil

RESUMO

A lógica fuzzy, técnica da inteligência computacional, pode ser aplicada no controle de um processo térmico, como por exemplo, no controle da temperatura de armazenagem do grão de arroz bruto. Utilizando o microcomputador, dois dispositivos, sendo um de aquisição de temperatura e o outro do tipo liga/desliga, foi desenvolvido um protótipo, denominado Arfuzzy, que controla o tempo de ventilação necessário para que a temperatura alcance níveis satisfatórios no armazenamento do grão de arroz bruto. Assim, o sistema busca operar de forma semelhante ao raciocínio humano, no sentido de identificar como o operador raciocina ao manipular o sistema de ventilação dos silos. A funcionalidade do Arfuzzy é a medição e o controle de temperatura na armazenagem do grão de arroz bruto nesses silos. No decorrer do trabalho, será apresentada a modelagem fuzzy do protótipo e os resultados obtidos pelo mesmo.

PALAVRAS-CHAVE

Inteligência Computacional, Lógica Fuzzy, Controle de Temperatura.

1. INTRODUÇÃO

O controle da temperatura exerce um papel importante para as indústrias que armazenam e beneficiam o arroz, principalmente em relação ao grão bruto. Este tipo de grão, também chamado de arroz verde, é o que vai diretamente do produtor para a indústria. Por se tratar de um produto orgânico, com elevado grau de umidade, sujeito a contaminação por fungos e parasitas, deve ser mantido a uma temperatura adequada durante o armazenamento, processo este que inicia logo após a colheita.

Apesar dos avanços da engenharia de automação, muitos produtores e indústrias ligadas à agricultura realizam o armazenamento dos grãos de maneira inadequada. Isso pode ser constatado em algumas empresas que fazem o beneficiamento do arroz na região carbonífera do sul de Santa Catarina. Apesar dos silos serem providos de mecanismos de ventilação, eles ainda são ativados manualmente, onde um operador humano utiliza a própria experiência e alguns fatores envolvidos no processo para acionar esses mecanismos. Percebe-se então, que por meio da lógica fuzzy é possível automatizar esse processo, trazendo benefícios às empresas.

Publicada por Zadeh em 1965, a lógica fuzzy é um modelo adequado para tratar a informação imprecisa em áreas onde o conhecimento é incompleto, pois permite uma representação significativa dos conceitos vagos inerentes ao raciocínio humano (Zadeh, 2008).

Wang (1997) comenta que a teoria fuzzy está presente em diversas áreas do conhecimento, principalmente nos domínios do controle e tomada de decisão.

A teoria dos conjuntos fuzzy amplia a teoria dos conjuntos tradicionais, incorporando o conceito de grau de pertinência. Por exemplo, na frase “mantenha a temperatura do forno alta” a palavra alta é caracterizada por uma função de pertinência onde o grau de pertinência expressa o quanto a informação pertence a um determinado conjunto.

Diferente da teoria clássica dos conjuntos, onde o pertencer ou não de um elemento ao conjunto é representado por 0 e 1, a teoria dos conjuntos fuzzy aplica graus de pertinência entre 0 e 1. Dessa forma, a pertinência do elemento ao conjunto é gradual podendo assumir todos os valores desde 0 até 1.

Segundo Cox (1994) o que diferencia a lógica fuzzy, da lógica booleana é a capacidade desta de se aproximar do mundo real, onde não existem somente respostas extremas. A lógica fuzzy dá espaço ao meio termo apresentando ainda a possibilidade de mensurar o grau de aproximação da solução exata e assim inferir algo que seja necessário.

Percebe-se então, que um protótipo de sistema fuzzy computadorizado pode substituir o controle manual com mais eficiência, além de poder reduzir consideravelmente o consumo de energia elétrica utilizados no processo. Silva, Neves Filho e Silveira Junior (2006) destacam que o uso de controladores fuzzy em processos industriais tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, como por exemplo: Lekova e Batanov (1998), Rowlands e Wang (2000), Kazemian (2001), Vieira et al (2007), Rojas et al (2006), Filev e Syed (2010), Hou e Huang (2004) e Onut et al (2009).

2. METODOLOGIA

Este trabalho objetiva o desenvolvimento de um protótipo que seja capaz de operar de forma semelhante ao raciocínio humano, no sentido de identificar como o ser humano raciocina ao manipular o sistema de ventilação dos silos.

Diferente de um controlador convencional onde os parâmetros são ajustados por meio de um ponto de controle (*set point*), o Arfuzzy, protótipo desenvolvido neste trabalho, controla o tempo de ventilação necessário para que a temperatura alcance níveis satisfatórios de armazenamento.

O Arfuzzy foi construído sobre a abordagem *fuzzy* baseado em regras envolvendo as etapas de fuzificação, inferência e defuzificação. A metodologia de desenvolvimento iniciou com aquisição do conhecimento, seguida pela modelagem *fuzzy* e o desenvolvimento. Posteriormente, o protótipo foi avaliado para verificar os resultados obtidos.

2.1 Aquisição do Conhecimento

A aquisição do conhecimento foi realizada junto à empresa Kiarroz Fumacense Indústria e Comércio Ltda, localizada no município de Morro da Fumaça em Santa Catarina, em especial com o responsável pelo armazenamento do arroz na empresa. Basicamente, consistiu em obter as informações referentes ao domínio de aplicação, definição das variáveis envolvidas e formação das regras SE-ENTÃO a serem utilizadas.

Durante os encontros realizados com o especialista do domínio de aplicação, entrevistas desestruturadas e estruturadas foram aplicadas. As entrevistas desestruturadas tinham como objetivo conhecer a dinâmica e os detalhes referentes ao armazenamento de grãos, e as estruturadas, determinar as variáveis envolvidas e os limites para cada conjunto *fuzzy*. O resultado demonstrou que o tipo de controle a ser aplicado no processo industrial envolvia uma entrada (Temperatura) e uma saída (Tempo de ventilação). Nesse contexto, além da modelagem *fuzzy*, uma regra SE-ENTÃO convencional foi adicionada na malha de controle com o objetivo de ligar e desligar o motor de ventilação.

O critério que o operador utiliza para desligar os motores de ventilação é baseado na própria experiência. Quando ele acredita que a temperatura amenizou, suspende o sistema de ventilação. Por não haver um operador dedicado para realizar essa tarefa, muitas vezes esse processo não acontece sistematicamente. Na prática, é mais conveniente deixar a ventilação ligada durante semanas e até meses o que provoca um gasto excessivo de energia.

2.2 Modelagem Fuzzy

A definição dos conjuntos *fuzzy* de entrada e saída, não é uma tarefa trivial, principalmente com relação à formação dos conjuntos de saída, onde vários ajustes foram necessários até se chegar a um modelo próximo do raciocínio do operador humano.

As etapas de implementação de um sistema fuzzy compreende as etapas de fuzificação, inferência e defuzificação. A fuzificação consiste na transformação das variáveis de entrada (*crisp*) em graus de pertinência. Esta etapa foi feita aplicando-se a função trapezoidal sobre o antecedente de cada regra, para determinar o grau de pertinência da variável de entrada TP em cada conjunto *fuzzy*.

O cálculo realizado pela função trapezoidal é definido por:

$$T(x; \alpha; \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{para } x \leq \alpha_1 \text{ ou } x \geq \alpha_2 \\ (x - \alpha_1) / (\gamma_1 - \alpha_1) & \text{para } \alpha_1 < x < \gamma_1 \\ (\alpha_2 - x) / (\alpha_2 - \gamma_2) & \text{para } \gamma_2 < x < \alpha_2 \\ 1 & \text{para } \gamma_1 \leq x \leq \gamma_2 \end{cases}$$

Onde, x é valor da variável de entrada TP, a ponto onde o grau de pertinência é 0 e γ é ponto onde o grau de pertinência é 1.

As funções de pertinência para a variável TP foram definidas no intervalo de 30 a 60 graus Celsius, abrangendo os conjuntos Baixa, Alta e Muito Alta.

Os graus de pertinência resultantes da etapa de fuzificação são então repassados para o mecanismo de inferência. O objetivo dessa etapa é determinar o peso ou o grau de relevância de cada regra.

Posteriormente, inicia-se a etapa de defuzificação, sendo necessário definir as funções de pertinência para a variável de saída tempo de ventilação (TV) formada pelos conjuntos fuzzy Mínimo, Médio e Máximo.

A defuzificação transforma os graus de relevância obtidos na etapa de inferência em um valor de saída (*crisp*). Esta etapa agrupa as regras com os mesmos consequentes que tenham graus de relevância diferente de zero e aplica, por exemplo, a união padrão, ou seja, escolhe o maior valor de grau de pertinência.

Então, utilizando o universo de discurso resultante da união dos conjuntos da variável de saída e os graus de pertinência traçados pela união dos dois conjuntos, aplicou-se na defuzificação a fórmula do Centro de Gravidade, que informa o ponto central, isto é, o centro da área formada pela união dos dois conjuntos, indicando o valor da variável de saída TV. De acordo com Simões e Shaw (2007), a fórmula do Centro de Gravidade é definida por:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^N u_i U_{Out(u_i)}}{\sum_{i=1}^N U_{Out(u_i)}}$$

Onde $U_{Out(u_i)}$ são os graus de pertinência que formam o contorno dos dois conjuntos e U_i são os valores do universo de discurso que compõe os dois conjuntos.

2.3 Desenvolvimento

Encontram-se disponíveis na internet algumas ferramentas para o desenvolvimento de sistemas fuzzy, como por exemplo, o MatLab Toolbox Fuzzy e o UnFuzzy, sendo esta última gratuita. Porém, optou-se em desenvolver o sistema no ambiente de programação Delphi 8.0. Sendo assim, o protótipo foi projetado para a plataforma Windows.

No Arfuzzy tem-se as seguintes especificações dos processos: (a) **capturar temperatura**: processo que recebe a temperatura capturada pelo sensor por intermédio do componente TcommPortDriver (Commdrv.pas), e a transmite para a malha de controle. Este processo ocorre a cada segundo, sendo os parâmetros da comunicação serial definidos no componente da seguinte forma: bits por segundo = 9600; bits de dados = 8; paridade = nenhuma; bits de para = 1; controle de fluxo = nenhum; (b) **avaliar a temperatura e verificar o status da ventilação**: processo que decide o fluxo de controle a seguir, sendo responsável por verificar como está a temperatura e o status da ventilação (ligada ou desligada). Caso a temperatura seja igual ou superior a 30 graus e a ventilação estiver desligada, o fluxo é desviado em direção à malha *fuzzy*. Do mesmo modo, se a temperatura estiver igual ou superior a 30 graus, porém com a ventilação ligada, a temperatura não entra na malha *fuzzy* pois o tempo previsto de ventilação ainda não terminou. Outra situação em que o fluxo não segue pela malha *fuzzy*, é quando a temperatura está abaixo de 30 graus; (c) **estimar o tempo de ventilação**: processo que realiza a fuzificação, inferência e defuzificação da variável temperatura, determinando assim o tempo de ventilação necessário; (d) **ligar a ventilação**: processo que liga a ventilação, se ela estiver desligada; (e) **iniciar a contagem do tempo e alterar o status da ventilação**: processo que inicia a contagem do tempo decorrido assim que a ventilação é ligada. Também altera o status da ventilação para Ligada; (f) **apresentar informações na tela do computador**: processo que mostra em tempo real todas as ações do sistema na tela do computador; (g) **verificar o status da ventilação e o final do tempo**

decorrido: processo que verifica se a ventilação está ligada ou não, e também se o tempo previsto de ventilação já foi atingido; (h) **alterar o status da ventilação:** processo que altera o status da ventilação para Desligado. Dessa forma, caso a próxima temperatura capturada for igual ou superior a 30 graus, o fluxo seguirá pela malha *fuzzy*; (i) **avaliar a temperatura:** processo que verifica se a temperatura capturada está abaixo de 30 graus. Caso afirmativo, a ventilação é desligada; (j) **desligar a ventilação:** processo que desliga a ventilação.

2.4 Dispositivos Utilizados

Fazem parte do protótipo dois dispositivos eletrônicos que foram adquiridos no comércio: o dispositivo de aquisição de temperatura (figura 1(a)) e o dispositivo que liga e desliga o motor de ventilação (figura 1(b)).

Os dispositivos realizam a comunicação por meio do protocolo RS232, utilizando respectivamente as portas COM4 e COM1 do microcomputador.

Com relação à estrutura geral do sistema, observa-se que o sensor de temperatura, que é resistivo com faixa de atuação de 0 até 100 °C, é posicionado na parte superior do silo sobre a massa de grãos. Segundo orientações recebidas pelo especialista em meteorologia agrícola da EPAGRI, este é o local mais indicado, pois a tendência do ar quente é subir e consequentemente ocupar a região superior da estrutura. Na figura 1(c) tem-se um esboço da estrutura geral do Arfuzzy, onde ambos os dispositivos podem ser observados.

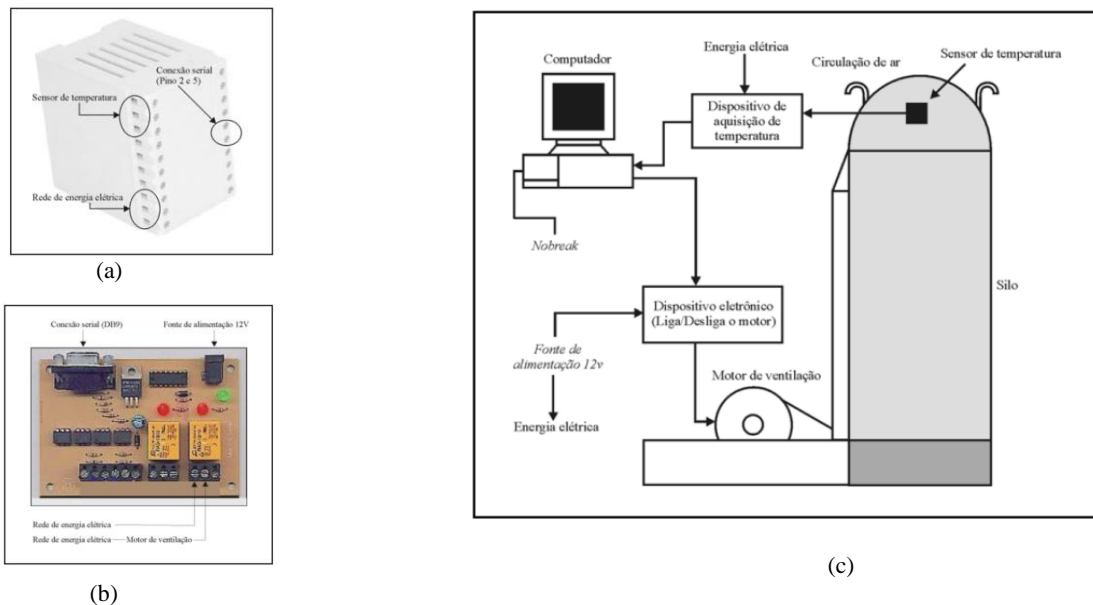


Figura 1. Estrutura geral do Arfuzzy

3. RESULTADOS OBTIDOS

O presente trabalho vem sendo desenvolvido, atualmente encontra-se na etapa de avaliação dos resultados obtidos, contudo, até o presente momento, além das simulações feitas em laboratório, uma avaliação foi feita junto com o especialista do domínio de aplicação para avaliar o protótipo desenvolvido. Constatou-se que o protótipo está próximo do raciocínio do especialista, porém ainda faltam medições mais concretas com relação ao tempo de ventilação necessário para que a temperatura diminua dentro do silo. Mesmo assim, isso não chega a ser um problema, já que o universo de discurso da variável tempo de ventilação (TV) é bem reduzido. Um fator positivo e que previne desgastes no mecanismo de ventilação, é que o motor permanece ligado por certo tempo, mesmo que a temperatura alcance valores abaixo de 30 graus. No Arfuzzy é composto por uma interface principal contendo cinco ícones para a interação com o usuário. Entre eles estão: Ativar (ativa o protótipo); Desativar (desativa o protótipo); Manual (manual do usuário); Créditos (informações sobre o projeto); Sair (encerra o protótipo).

4. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou como a lógica fuzzy, pode contribuir para a solução de problemas onde as variáveis envolvidas são elementos vagos e imprecisos. Apresentou alguns conceitos necessários à implementação de sistemas fuzzy, resultando no desenvolvimento de um protótipo para o controle da temperatura de armazenagem do arroz bruto, o Arfuzzy.

Devido a grande abrangência da teoria fuzzy, buscou-se utilizar a abordagem que auxiliasse no controle da temperatura dentro dos silos que armazenam os grãos de arroz bruto, a fim de poder vir a proporcionar uma maior facilidade no processo de controle. Salienta-se que esse trabalho encontra-se em desenvolvimento, sendo o Arfuzzy um protótipo que se encontra em fase de testes e avaliação, bem como o refinamento da base de conhecimento do Arfuzzy junto a outros especialistas, a expansão da ação de controle para vários silos, inserção de outras variáveis também importantes nesse processo de controle, como por exemplo, a umidade, empregando-se um sensor a ser acoplado na malha de controle, visto que existe uma relação direta entre temperatura e umidade.

A abordagem fuzzy parece evoluir mais rapidamente para a direção dos controladores, pois algumas empresas fabricam controladores híbridos-fuzzy em escala comercial. Porém, apesar do vasto campo de aplicação e de existir diversos artigos científicos que comprovam a eficiência dessa tecnologia, sistemas fuzzy ainda são muito pouco utilizados em algumas realidades.

REFERÊNCIAS

- Cox, E. 1994. *The Fuzzy systems handbook: a practitioner's guide to building and maintaining fuzzy System*, Ap professional, Boston.
- Filev, D., Syed, F., 2010. Applied intelligent systems: blending fuzzy logic with conventional control. *International Journal of General Systems* 39 (4), 395–414.
- Hou, T., Huang, C., 2004. Application of fuzzy logic and variable precision rough set approach in a remote monitoring manufacturing process for diagnosis rule induction. *Journal of Intelligent Manufacturing* 15 (3), 395–408.
- Kazemian, H.B. 2001. "Development of an intelligent fuzzy controller," *Fuzzy Systems. The 10th IEEE International Conference on*, vol.1, no., pp.517,520.
- Lekova, A., Batanov, D., 1998. Self-testing and self-learning fuzzy expert system for technological process control. *Computers in Industry* 37 (2), 135–141.
- Onut, S., Kara, S., Mert, S., 2009. Selecting the suitable material handling equipment in the presence of vagueness. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 44 (7–8), 818–828.
- Rojas, I. et al. 2006. Valenzuela, Adaptive fuzzy controller: Application to the control of the temperature of a dynamic room in real time, *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 157, Issue 16, Pages 2241-2258
- Rowlands, H., Wang, L., 2000. An approach of fuzzy logic evaluation and control in SPC. *Quality and Reliability Engineering International* 16 (2), 91–98.
- Silva, F.V., Neves Filho L. C. e Silveira Jr. 2006. Experimental evaluation of fuzzy controllers for the temperature control of the secondary refrigerant in a liquid chiller, *Journal of Food Engineering*, Volume 75, Issue 3, pp. 349-354
- Simões, M., Shaw, I. *Controle e Modelagem Fuzzy*. 2 ed. Edgar Blucher
- Vieira, J. P. A. et al. 2007. Controladores fuzzy aplicados ao conversor de geradores de indução duplamente excitados em sistemas eólicos integrados a sistemas de potência. *Sba Controle & Automação*, vol.18, n.1, pp. 115-126.
- Wang, L-X. 1997. *A course in fuzzy systems and control*, Prentice Hall, London.
- Zadeh, L. A. 2008. Is there a need for fuzzy logic, *IEEE, Information Sciences*, Vol. 178, No. 13, pp 2751-2779.