

ISSN 2177-451X

SINERGIA

Revista do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo

Volume 06, nº 2 - Agosto/Dezembro de 2005



SINERGIA

**"associação de vários fatores
para uma ação coordenada"**

REVISTA DO CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE SÃO PAULO



v. 6 n. 2 julho/dezembro 2005

São Paulo

ISSN 2177-451X

Sinergia	São Paulo	v. 6	n. 2	p. 81- XXX	jul./dez. 2005
----------	-----------	------	------	------------	----------------

SINERGIA

"associação de vários fatores
para uma ação coordenada"

ISSN 2177-451X

PRESIDENTE DA REPÚBLICA
Luiz Inácio Lula da Silva

MINISTRO DA EDUCAÇÃO
Fernando Haddad

**SECRETÁRIO DE EDUCAÇÃO
PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**
Eliezer Moreira Pacheco

**DIRETOR GERAL DO CENTRO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
DE SÃO PAULO**
Garabed Kenchian

**DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO
E PLANEJAMENTO**
Paulo Fernandes Júnior

DIRETOR DE ENSINO
Carlos Frajuca


**DIRETOR DE RELAÇÕES
EMPRESARIAIS E COMUNITÁRIAS**
Arnaldo Augusto Ciquielo Borges

DIRETOR DA UNIDADE DE ENSINO SEDE
Chester Contatori

**DIRETOR DA UNIDADE DE ENSINO
DE CUBATÃO**
Márcia Helena Rabelo

**DIRETOR DA UNIDADE DE ENSINO
DE SERTÃOZINHO**
Carmem Monteiro Fernandes



**CENTRO FEDERAL
DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA** 
DE SÃO PAULO

A Revista **SINERGIA** é uma publicação semestral do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo e tem por objetivo a divulgação de todo o conhecimento técnico, científico e cultural que efetivamente se alinhe ao perfil institucional do CEFET-SP.

Os artigos publicados nesta Revista são de inteira responsabilidade de seus autores.

É proibida a reprodução total ou parcial dos artigos sem a prévia autorização dos autores.

CONTATO:

NÚCLEO EDITORIAL DA REVISTA SINERGIA

A/C: MARIA TERESA MARTINS FURTADO

E ENZO BASÍLIO ROBERTO
Rua Pedro Vicente, 625 — Canindé
São Paulo — SP — CEP 01109-010

EDITOR

Raul de Souza Püschel

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO
Maria Teresa Martins Furtado
Enzo Basílio Roberto

JORNALISTA RESPONSÁVEL
Maria Teresa Martins Furtado / Mtb. 20227

DIAGRAMAÇÃO E ARTE FINAL
Enzo Basílio Roberto

REVISÃO
Cynthia Regina Fischer (Inglês)
Maria Teresa Martins Furtado (Português)

APOIO TÉCNICO
Augusto Massashi Horiguti
DIGITALIZAÇÃO E PUBLICAÇÃO ELETRÔNICA
Ademir Silva

SINERGIA (Centro Federal de Educação
Tecnológica de São Paulo).
São Paulo, v.6 n.2, jul./dez.,
2005

Semestral

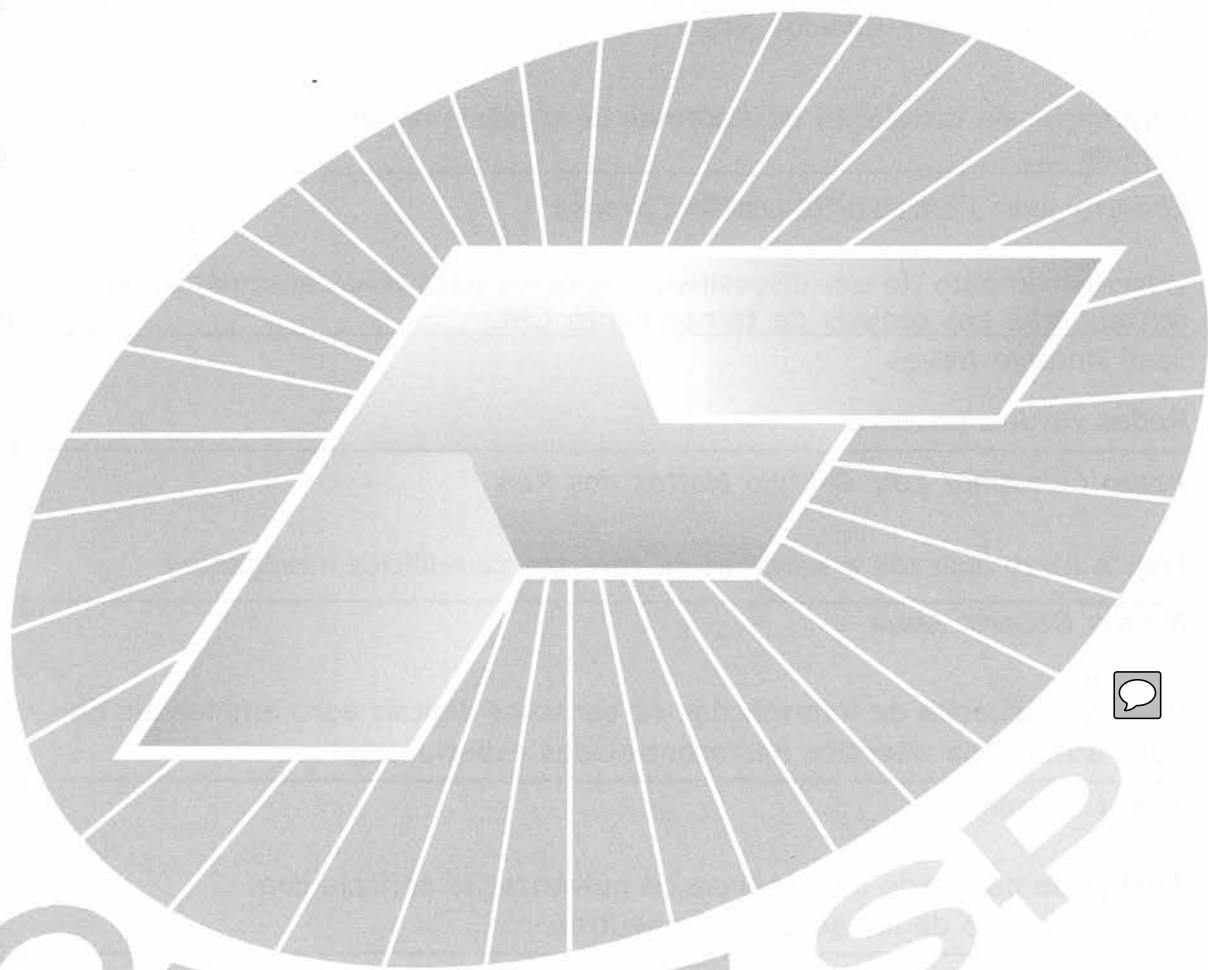
ISSN 2177-451X

1. Centro Federal de Educação Tecnológica
de São Paulo - Periódicos.

CDU 001(05)“540.6”:(81)

Índice

EDITORIAL	85
<i>Raul de Souza Püschel</i>	
Um sistema inteligente baseado em RNA, aplicado na monitoração térmica de transformadores de força	89
<i>Chester Contatori / Ronaldo Rossi</i>	
Automação da instalação de sistemas de condicionamento de ar com controle de CO ₂	97
<i>Roberto Akio Komatsu/Sebastião Cardoso</i>	
Desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para troca automática de ferramentas em centros de torneamento CNC	104
<i>José Antonio Neves</i>	
Redes virtuais privadas	110
<i>Pedro Celestino/ Luiz Octávio Mattos dos Reis</i>	
Lógica fuzzy aplicada a sistemas de controle de edifícios inteligentes	115
<i>Nelson Roberto Lona</i>	
Utilização didática de informações de sensores digitais agro-ambientais obtidos através de interface microcontroladas especialistas	123
<i>José L. Azzolino</i>	
Análise de qualidade da eficiência da pulverização agrícola com processamento de imagem e rede neural	129
<i>Yoshikazu Suzumura Filho/ Paulo Estevão Cruvinel</i>	
Desenvolvimento de um manipulador eletropneumático e de uma célula de manufatura robotizada didática	138
<i>José Francisco Ferreira de Oliveira</i>	
A lógica fuzzy aplicada ao controle de temperatura em fornos a gás	146
<i>Silvana Bueno Gomes</i>	



CEFET-SP

EDITORIAL

Raul de Souza Püschel

Doutor em Comunicação e Semiótica pela PUC-SP
Professor da Área de Códigos e Linguagens do CEFET-SP

Neste número a revista traz artigos escritos por professores do CEFET-SP que fizeram recentemente mestrado na UNITAU.

O primeiro artigo, “Um sistema inteligente baseado em redes neurais artificiais, aplicado na monitoração térmica de transformadores de força”, “estuda a simulação da monitoração térmica de máquina elétrica, através do rastreamento em tempo real das temperaturas de seus meios isolantes em regime nominal, ou em sobrecarga, utilizando-se de um sistema inteligente baseado em Redes Neurais Artificiais”, tal como dizem seus autores na introdução. O trabalho permite que o experimento feito com óleo isolante, em um primeiro momento, seja projetado como modelo em estudos similares com outros equipamentos.

O segundo ensaio, “Automação da instalação de sistemas de condicionamento de ar com controle de concentração de CO₂”, discute como, de acordo com o número de pessoas presentes em um ambiente, é possível calcular a dosagem correta de renovação de ar, o que possibilita, simultaneamente, o não-desperdício e o devido conforto térmico.

O artigo “Desenvolvimento de um dispositivo eletromecânico para troca automática de ferramentas em centros de torneamento CNC” mostra como o referido dispositivo traz melhoria de desempenho, maior segurança e conforto ao usuário, assim como custos menores. E, além disso, torna-se independente do controle eletrônico e prescinde de alterações em seus componentes, não exigindo, portanto, a troca manual de ferramentas.

O texto “Redes virtuais privadas” fala da importância de tais redes para a troca mais segura de informações e também para a diminuição de custos, ao eliminar os denominados *links dedicados de longa distância* e aumentar a conectividade.

Em “Lógica fuzzy aplicada a sistemas de controle de edifícios inteligentes”, é pesquisado, entre outras coisas, o aproveitamento de energia solar, valendo-se para tanto do controlador fuzzy.

O trabalho “Utilização didática de informações de sensores digitais agro-ambientais obtidos através de interface microcontrolada”, de Azzolino, dialoga com outro estudo do mesmo autor, publicado no número anterior de *Sinergia*. Agora o ensaísta demonstra como é possível auxiliar as ações em relação ao tipo de cultura, época e local de plantio com o devido monitoramento.

Em “Análise de qualidade da eficiência da pulverização agrícola com processamento de imagem e rede neural”, os articulistas partem de um estudo de caso em cultura de laranja na região de Araraquara e de modo acurado demonstram todo o caminho da pesquisa para se chegar à adequada obtenção dos parâmetros de qualidade, no que tange a uma pulverização profícua e bem feita.

O ensaio “Desenvolvimento de um manipulador eletropneumático e de uma célula de manufatura robotizada didática” revela de que modo o CEFET-SP, sob os influxos da globalização, criou novos cursos de tecnologia industrial, que necessitaram de uma renovação da infra-estrutura e também de ações inovadoras. Tudo isso fez com que se pensasse na implementação do ME3 no laboratório de robótica, assim como permitiu a integração de diversas áreas de conhecimento durante o processo ensino-aprendizagem.

Fecha este número o estudo “A lógica fuzzy aplicada ao controle de temperatura em fornos a gás”, que demonstra a vantagem da utilização de tal lógica em relação ao desempenho de controladores convencionais.

CONTINUA

1970

1971

1972

1973

1974



CEFET-SP

ARTIGOS



10/2017

UM SISTEMA INTELIGENTE BASEADO EM REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS, APLICADO NA MONITORAÇÃO TÉRMICA DE TRANSFORMADORES DE FORÇA

Chester Contatori

Mestre em Engenharia Mecânica
Professor do CEFET-SP

Ronaldo Rossi

Doutor em Engenharia Mecânica
Professor da UNITAU

O presente trabalho busca efetuar a simulação da monitoração térmica de máquinas elétricas, através do rastreamento em tempo real das temperaturas apresentadas pelos meios isolantes dos equipamentos em estudo, quando da operação em condições de funcionamento em regime nominal e/ou sobrecarga, utilizando-se para tanto um sistema inteligente, desenvolvido com base nas aplicações de Redes Neurais Artificiais (RNA).

O trabalho propõe inicialmente avaliar o comportamento da temperatura do óleo isolante, verificada em transformadores de força. Como a elevação de temperatura, sua distribuição térmica e sua dissipação de calor obedecem a condições físicas aplicáveis em qualquer equipamento submetido a situações semelhantes, pode-se aproveitar e projetar os resultados obtidos neste desenvolvimento, para servirem de parâmetros em estudos similares para outras supervisões térmicas de outros equipamentos afins, como motores de indução, reatores, etc. Para tanto, este trabalho propõe a utilização de uma arquitetura de redes neurais, tipo Perceptron Multicamadas, cujo treinamento será efetuado pelo algoritmo de retropropagação de erros, denominado “Resilient Propagation – RPROP”.

Palavras-chave: Rede neural artificial; resilient propagation; error backpropagation; monitoração térmica de máquinas elétricas.

This project presents the simulation of thermal effect checking in electrical machines, through the tracking of temperatures in real time, shown by insulating means of the equipment in study, with the operation in nominal and/or overload functioning conditions, using an intelligent system, developed on the basis of Artificial Neural Network (ANN) application. Firstly, the project aims at evaluating the isolating oil temperature behavior, verified in Power Transformers. The rise of temperature, as well as its thermal distribution and its heating waste obey to physical conditions applicable to any equipment submitted to similar situation. They can be used to project the given results in this development, to serve as parameter in similar studies for other thermal supervisions in similar equipment, as rotating machines, reactors, etc. For that, this project considers the use of a neural network architecture, Multilayer Perceptron type, whose training will be effected by the algorithm of Error Backpropagation, called “Resilient Propagation – RPROP”

Key-words: Artificial neural networks; resilient propagation; error backpropagation; thermal monitoring of electrical machines.

INTRODUÇÃO

Este trabalho estuda a simulação da

monitoração térmica de máquinas elétricas, através do rastreamento em tempo real das temperaturas de seus meios isolantes, em

regime nominal ou em sobrecarga, utilizando-se de um sistema inteligente baseado em Redes Neurais Artificiais. Como a elevação de temperatura, sua dissipação de calor e distribuição térmica obedecem às mesmas condições físicas, aplicáveis em qualquer equipamento submetido a situações similares, os resultados obtidos neste estudo poderão ser utilizados como parâmetro em estudos semelhantes de outras supervisões térmicas em equipamentos afins, tais como máquinas de indução rotativas, geradores, reatores e transformadores.

Rede Neural Artificial é uma forma de processamento de informação, inspirado no modelo de funcionamento neural do cérebro humano. As principais características que tornam desejáveis o estudo e a utilização das redes neurais artificiais estão atreladas à capacidade destas em aprender através da experiência, associada à capacidade de adaptação a situações adversas, além de sua tolerância a ruídos. Essas características fazem com que as Redes Neurais possam ser utilizadas com relativo sucesso na resolução de problemas, tais como: identificação e classificação de padrões, processamento e controle de imagens.

A proposta deste trabalho consiste em efetuar o rastreamento para manutenção e controle dos efeitos térmicos existentes em Transformadores de Força, decorrentes das variações de cargas e diversidades de processos, através da simulação da monitoração térmica em tempo real,

utilizando-se de Redes Neurais Artificiais.

Por se tratar de um fenômeno físico, será apresentado um estudo de rastreamento térmico em transformadores de força, cujo meio isolante é óleo, e os resultados obtidos servirão de parâmetro para tratamento similar, quando da realização de monitoramento em outros equipamentos, tais como motores elétricos, geradores e demais transformadores.

CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA

Os transformadores são máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a mesma frequência e, normalmente, variando valores de corrente e tensão. Esta transferência de energia é acompanhada de perdas que dependem basicamente da construção do transformador, do seu regime de funcionamento e da manutenção nele efetuada. As principais perdas de energia nos transformadores são as perdas no cobre e as perdas no ferro. As perdas no ferro são determinadas pelo fluxo estabelecido no circuito magnético e são praticamente constantes para cada transformador, estando ele operando com carga ou sem. As perdas no cobre correspondem à dissipação de energia por efeito joule, sendo elas determinadas pelas correntes que circulam nos enrolamentos do primário e do secundário, dependendo também da carga elétrica alimentada pelo transformador, sendo

Tipos de Transformadores		Classe de material isolante	Elevações de Temperaturas Permissíveis			
			Dos Enrolamentos		Do líquido isolante	Das partes metálicas em contato com o isolante
			Por variação da resistência	Por medida no ponto mais quente		
Em Líquido Isolante	Sem conservador	105°C	55°C	65°C	50°C	65°C
	Com conservador	105°C	55°C	65°C	55°C	65°C
SECO		105°C	55°C	65°C	-----	65°C
		130°C	80°C	90°C	-----	90°C
		155°C	105°C	115°C	-----	115°C

Tabela 1 – Elevação de Temperaturas Permissíveis (Referência ABNT – NBR-5416)

proporcionais ao quadrado dessa carga.

Quanto às normas, lembramos que os transformadores fabricados no Brasil obedecem ao estabelecido pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), salientando neste primeiro momento a norma NBR-5416, que estabelece as Aplicações de Cargas em Transformadores de Potência.

Nos transformadores, operando com suas características nominais, em altitudes até 1000 metros, conforme a ABNT, a elevação de temperatura de seus elementos não deve ultrapassar os limites indicados pela Tabela 1.

Seja qual for o processo de resfriamento utilizado, a temperatura da parte interna do núcleo e das bobinas é consideravelmente mais alta que a do óleo ou do ar de refrigeração. Nos transformadores de construção comum, isto é, naqueles que possuem circuitos magnéticos do tipo Núcleo Envolvido, a temperatura das partes mais quentes das bobinas e do núcleo é superior ao do meio refrigerante de um valor próximo dos 15 °C.

É importante observar que o valor da elevação da temperatura do enrolamento não pode ultrapassar 65 °C para transformadores a óleo e a seco em seu ponto mais quente (ver Tabela 1).

METODOLOGIA E ALGORITMO UTILIZADO: RESILIENT PROPAGATION – “RPROP”

Muitos estudos têm sido feitos nas últimas décadas com o objetivo de projetar sistemas eletrônicos que se assemelhassem a redes neurais biológicas e seus atributos. Alguns desses sistemas, chamados de redes neurais artificiais, foram desenvolvidos e implementados tanto em *hardware* como em *software*. Fazendo-se um paralelo entre o cérebro humano e o computador, observa-se que a principal diferença entre o homem e o computador está no fato de os computadores efetuarem processamentos lógicos e

numéricos, tais como lidar com bancos de dados, fazer contas, gráficos, etc., enquanto o cérebro humano pode, além disso, fazer coisas abstratas, tais como reconhecer qualquer objeto, controlar nossos movimentos, aprender outros idiomas e elaborar estratégias. Essas tarefas, em princípio não lógicas, também podem ser feitas por computadores, porém para isso são necessários técnicas e algoritmos complexos, os quais começaram a ser desenvolvidos através das redes neurais artificiais, sendo que foi utilizado em nosso trabalho o Resilient Propagation “Rprop”.

Como o algoritmo de aprendizagem Resilient Propagation “Rprop” possui a característica de ajustar os pesos (w) dos neurônios da rede e a taxa de aprendizado (η) através apenas dos sinais dos gradientes da função erro $E(w)$, não dependendo portanto de sua magnitude, a função $E(w)$ será responsável pela especificação do critério de desempenho estritamente associado à rede. [1]

Este algoritmo de aprendizado faz com que os pesos e a taxa de aprendizado sejam treinados uma única vez em cada época de treinamento. Cada peso possui sua própria taxa de variação (Δ_{j_i}), a qual se altera em função do tempo “ t ” da seguinte forma: [1]

$$\Delta_{j_i}(t) = \begin{cases} \eta^+ \cdot \Delta_{j_i}(t-1), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{j_i}}(t-1) - \frac{\partial E}{\partial w_{j_i}} > 0 \\ \eta^- \cdot \Delta_{j_i}(t-1), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{j_i}}(t-1) - \frac{\partial E}{\partial w_{j_i}} < 0 \\ \Delta_{j_i}(t-1), & \text{caso contrário} \end{cases}$$

onde $0 < \eta^- < 1 < \eta^+$.

A ocorrência de uma mudança de sinal das derivadas parciais correspondentes ao peso w_{j_i} indica que a última mudança foi grande o suficiente para que o sistema saltasse sobre um ponto de mínimo da função $E(w)$, o que implica então numa diminuição do valor de Δ_{j_i} proporcional ao fator η^- . Por outro lado, as derivadas consecutivas com o mesmo sinal indicam que o sistema está se movendo

permanentemente em uma única direção, o que implica assim num aumento sensível de Δ_{ji} proporcional ao fator η^+ .

Conseqüentemente os pesos da rede são alterados através da seguinte equação: [1]

$$\Delta_{ji}(t) = \begin{cases} -\Delta_{ji}(t), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(t) > 0 \\ +\Delta_{ji}(t), & \text{se } \frac{\partial E}{\partial w_{ji}}(t) < 0 \\ 0, & \text{caso_contrario} \end{cases}$$

Ressalta-se que a mudança nos pesos da rede depende apenas do sinal das derivadas parciais, independentemente de sua magnitude. Caso a derivada parcial seja positiva, o peso será decrementado de $\Delta_{ji}(t)$, porém, se a derivada for negativa, o peso será incrementado de $\Delta_{ji}(t)$.

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DA MONITORAÇÃO

Buscando a validação do experimento em dados reais, foram considerados os valores levantados e apresentados na Tabela 2, os quais demonstram os resultantes do ensaio em laboratório realizado por um conceituado fabricante de máquinas elétricas, conforme procedimentos especificados pela norma NBR-5380, visando assim servirem de parâmetro ao treinamento e simulação da Rede Neural Artificial em estudo.

A arquitetura geral do sistema neural utilizado na simulação da monitoração da temperatura no topo do óleo isolante é constituída de uma rede de perceptron multicamadas, sendo que adotamos os conceitos estabelecidos pelo pesquisador Nielsen [6], que afirma ser possível calcular uma função arbitrária qualquer a partir de dados fornecidos, utilizando-se de uma única camada oculta com um número de neurônios $(2i+1)$, em que "i" é o número de variáveis de entrada. Portanto, consideramos a nossa rede com uma camada intermediária contendo $(2i+1)$ neurônios e 1 (um) neurônio na

saída. As funções de ativação que apresentaram o melhor desempenho da rede durante o seu treinamento foram sigmóide, na camada intermediária, e rampa simétrica, na camada de saída.

Considerou-se em nossa Rede Neural Artificial o algoritmo Resilient Propagation – "RPROP", cuja função de treinamento é "TRAINRP", com a função de aprendizagem de gradiente descendente "LEARNGDM" e a função de performance dos erros médios quadráticos "MSE".

Iniciou-se a simulação da monitoração da temperatura do topo do óleo isolante do Transformador de Força, considerando as cargas aplicadas e a temperatura ambiente registrada no ensaio (vide Tabela 2), obtendo-se, portanto, como dados de entrada um total de 32 (trinta e dois) valores, o que nos levou a considerar a seguinte arquitetura:

32 (trinta e dois) neurônios na entrada, 65 (sessenta e cinco) neurônios na camada intermediária e 1 (um) neurônio na saída, apresentando os resultados, descritos na Tabela 3.

Dados de Entrada		Valores Medidos	Valores Estimados	Erro Relativo
Temp. Ambiente	Carregamento (Ampères)	(°C)	(°C)	(%)
17,57	3,66	57,3	57,310	0,0175
17,77	3,66	60,3	60,378	0,1294
17,77	3,67	60,7	60,700	0
17,8	3,66	62,7	62,641	-0,0941
17,9	3,65	64,6	64,648	0,0743
17,87	3,65	64,5	64,466	-0,0527
18	3,65	65	65,007	0,0108
17,97	3,65	65,3	65,284	-0,0245
17,67	3,66	65,1	65,070	-0,0461
17,53	3,68	65	64,999	-0,0015
16,9	3,68	65	65,002	0,0031
16,83	3,68	64,9	64,900	0
16,93	3,68	65,1	65,096	-0,0061
17,03	3,68	65,2	65,201	0,0015
17	3,69	65,1	65,100	0
16,97	3,68	65	65,002	0,0031

Tabela 3 – Resultados da Simulação da Rede Neural Artificial

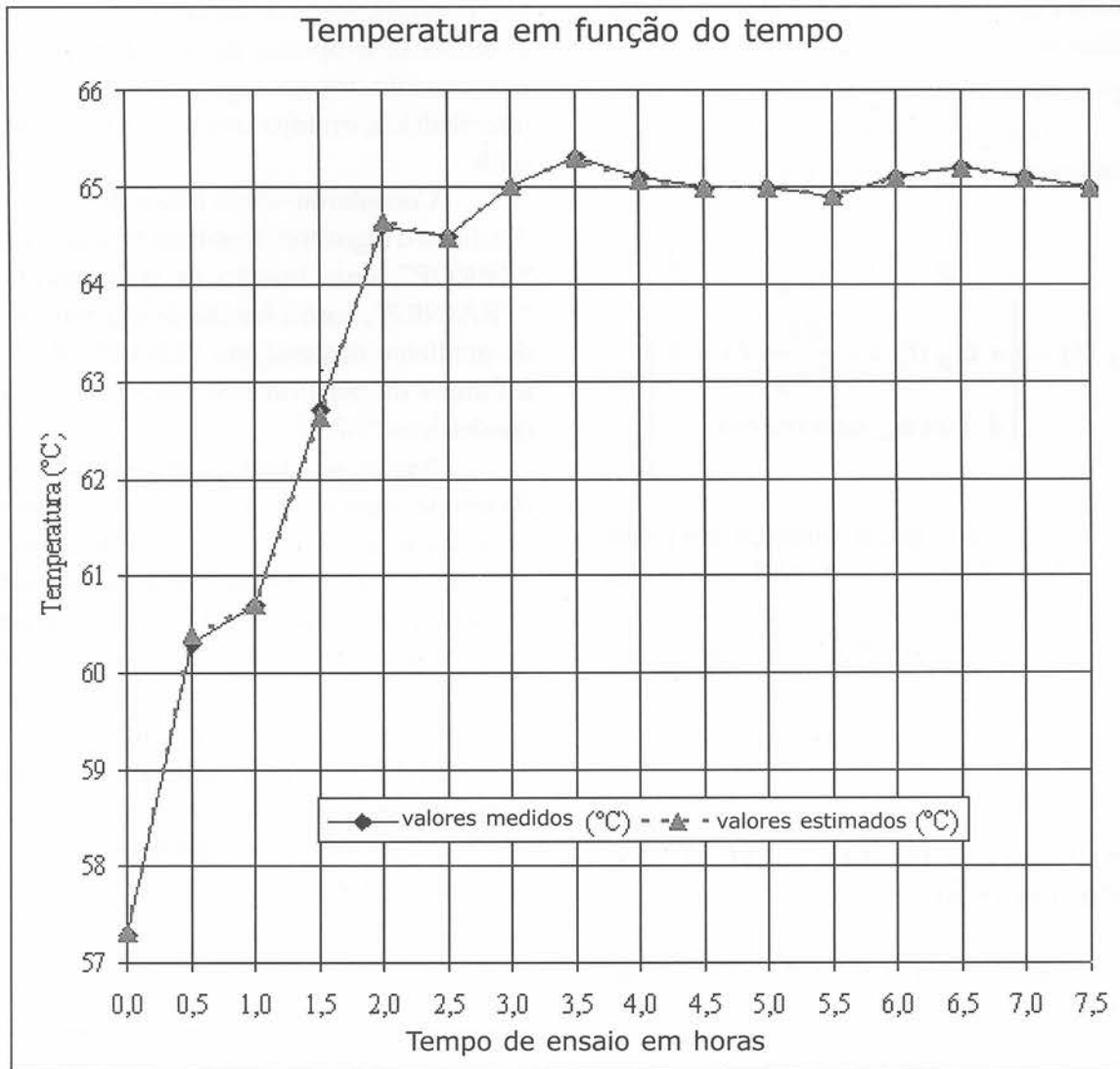


Figura 1: Curvas de Temperatura do Topo do Óleo Isolante (RNAxEnsaio).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através da simulação da Rede Neural Artificial, com o algoritmo de treinamento Resilient Propagation, apresentou valores de erro muito pequenos, o que demonstrou o excelente desempenho da rede durante o seu treinamento e aprendizado. Ressaltamos que neste experimento utilizou-se na camada intermediária um número de neurônios conforme definido pelo pesquisador Hecht-Nielsen, e os resultados apresentados foram excelentes, comprovando com isto a autenticidade de suas afirmativas.

O algoritmo apresentou uma ótima velocidade de processamento durante a etapa de treinamento, sendo que se observou, após 10 mil ciclos de treinamento, uma estabilização dos resultados, o que nos levou a aplicar a parada do mesmo.

Concluimos, portanto, que, conforme os resultados apresentados na simulação, os valores da temperatura no TOPO do óleo do Transformador, estimados pela rede neural, estão muito próximos dos obtidos no ensaio de laboratório. Estes resultados justificam a abordagem proposta neste trabalho, e, conseqüentemente, como elevação de temperatura, sua distribuição e dissipação de

calor obedecem a condições físicas semelhantes em equipamentos afins, poderemos aproveitar os resultados obtidos neste estudo para servirem de parâmetros em estudos similares.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a WEG Transformadores, filial de São Paulo, pelo fornecimento de dados levantados durante ensaio de equipamento em seu laboratório, os quais foram de grande valia na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARAÚJO, I. MATEUS; SOUZA SANTOS, C. K. *Apostila virtual de manutenção de motores elétricos*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004. Disponível em: <<http://www.caee.ufm.br/manut/index1.htm>>.
- [2] DEL TORO, V. *Fundamentos de máquinas elétricas*. São Paulo: Prentice Hall do Brasil, 1990.
- [3] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C. Jr. *Máquinas elétricas*. São Paulo: Mc Graw Hill do Brasil, 1978.
- [4] FREITAS, A. C.; SILVA, N. I.; SOUZA, N. A. Aplicações de Redes Neurais na Estimativa da Temperatura Interna de Transformador de Distribuição Imerso em óleo. *Revista Controle & Automação*. vol. 13, n. 3, dez. 2002.
- [5] HAYKIN, S. *Neural networks: a comprehensive foundation*. 2nd. ed. Prentice Hall, 1999.
- [6] HECHT-NIELSEN, R. *Neurocomputing*. Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [7] KARTALOPOULOS, S. V. *Understanding neural networks and fuzzy logic basic concepts and applications*. New Jersey: IEEE Press, 1996.
- [8] KOVÁCS, Z. L. *Redes neurais artificiais: fundamentos e aplicações*. Edição Acadêmica, 1996.
- [9] LIPPMANN, R. *An introduction to computing with neuraln Nets*. IEEE ASSP Magazine. Apr. 1987, p. 4-22.
- [10] LOESH, C.; SARI, S. T. *Redes neurais artificiais: fundamentos e modelos*. Editora da FURB, 1996.
- [11] MARTIGNONI, A. *Transformadores*. 8. ed, 2002.
- [12] MULLER, B.; REINHARDT, J. *Neuraln networks: an introduction*. Springer/Verlag, 1987.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Transformador de potência: métodos de ensaio: NBR 5380*. São Paulo, 1987.
- [14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Transformador de potência: aplicações de cargas: NBR 5416*. São Paulo, 1997.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Transformador de potência a seco: NBR-10295*. São Paulo, 1988.
- [16] R. BEALE, R.; JACKSON, T. *Neural computing: an introduction*. World scientific, 1994.
- [17] RUMELHART, D. E. Brain style computation: learning and generalization. In: ZORNETZER, S. F.; DAVIS, J. L.; LAU, C.

An introduction to neural and electronic networks. Academic Press, p. 405-420, 1990.

[18] RUMELHART, D.; MCCLELLAND, J. PDP GROUP- *Parallel distributed processing*. Foundations, vol. 1, 1987.

[19] BRUNAK, S.; LAUTRUP B. *Neural networks computers with intuition*. World scientific, 1990.

[20] WEEDY, B. M. *Electric power systems*, Hardcover, 1984.

[21] WEG-MOTORES. *Catálogo de motores WEG*. Disponível em: <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em 2005.

[22] WEG – TRANSFORMADORES. *Catálogo de transformadores WEG*. Disponível em <<http://www.weg.com.br>>. Acesso em 2005.

[23] WIDROW, B.; WINTER R.; – *Neural nets for adaptive filtering and adaptive pattern recognition*. In ZORNETZER, S. F.; DAVIS, J. L.; LAU, C.; *An introduction to neural and electronic networks*. Academic Press, pp. 249-271, 1990.

AUTOMAÇÃO DA INSTALAÇÃO DE SISTEMAS DE CONDICIONAMENTO DE AR COM CONTROLE DE CONCENTRAÇÃO DE CO₂

Roberto Akio Komatsu

Mestre em Engenharia Mecânica
Professor de Mecânica do CEFET-SP

Sebastião Cardoso

Doutor em Engenharia Mecânica
Professor da UNITAU

Este trabalho tem como objetivo apresentar o sistema de condicionamento de ar com controle da concentração de CO₂. Iniciando com um breve histórico da evolução e da necessidade do condicionamento de ar em ambientes habitados pelo ser humano, são apresentadas várias normas e recomendações. É também elaborado o cálculo de carga térmica, simulando variações na quantidade de pessoas, equipamentos, iluminação, e comparando o sistema de vazão de ar externo fixo (sistema tradicional, utilizado na maioria dos projetos de sistemas de condicionamento de ar) com o sistema de vazão de ar externo variável.

É indicado para escritórios, bancos, lojas e auditórios, onde a carga térmica acompanha a flutuação do número de pessoas, podendo-se economizar até 72,9% de energia em relação ao sistema de ar externo fixo.

Palavras-chave: Automação em condicionamento de ar; controle da concentração de CO₂; condicionamento de ar.

This research aims at presenting the air conditioning system with CO₂ concentration control. First it presents a brief historical evolution and necessity of air conditioning in environments inhabited by human beings; then, some norms and recommendations are presented. Thermal load calculations, simulating variations in the amount of people, light, equipment, are also presented, comparing the system of fixed external air outflow (traditional system, used in the majority of the projects of air conditioning systems) with the system of variable external air outflow.

This system is suitable for offices, banks, shops and auditoriums, where the thermal load follows the fluctuation of the number of people, and up to 72,9% of energy can be saved when compared to the fixed external air outflow system

Key-words: Automation in air conditioning; CO₂ control concentration; air conditioning

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivo analisar a instalação de sistema de condicionamento de ar com vazão de ar exterior fixo e com vazão de ar exterior controlada em função da concentração de CO₂.

Yamane (1986) relata que o condicionamento de ar deve atender as necessidades do espaço a ser condicionado mediante o controle simultâneo de

temperatura, umidade e também, concomitantemente, devem-se controlar a pureza e a quantidade de ar a serem fornecidas ao ambiente. Em alguns países, as propriedades que determinam a qualidade do ar têm seus valores fixados por lei em função das condições de utilização dos recintos a serem condicionados.

O ser humano, em seu habitat, procura harmonizar sua vida com o meio ambiente usando artificios para superar as intempéries naturais. Quando o clima é quente, o homem

procura recolher-se à sombra; enquanto que nas épocas frias ou chuvosas ele procura abrigar-se em espaços fechados para se proteger do vento e da chuva. Com a evolução das moradias, o homem dotou-as de janelas para provê-las de iluminação e ar fresco, assegurando algum conforto em relação às cavernas primitivas. Entretanto, desde o fim da Segunda Guerra Mundial, a presença de janelas em edificações vem tornando-se dispensável, em virtude do uso de equipamentos de condicionamento de ar e da iluminação elétrica. A construção subterrânea é um exemplo de utilização de espaço com total ausência de janelas.

Enquanto o homem tem sido capaz, desde a época pré-histórica, de aumentar a temperatura do ambiente em que vive utilizando o fogo, apenas recentemente ele dominou a técnica de baixar a temperatura do ar ambiente através de sistemas mecânicos para obter conforto nas estações quentes do ano.

Na construção de grandes edifícios, aproximadamente a metade do custo da construção deve-se às instalações prediais (eletricidade, encanamentos hidráulicos, etc.); deste custo, um terço ou até a metade é destinado ao sistema de condicionamento de ar. As indústrias de condicionamento de ar estão também divididas em duas partes: o setor de fabricação e o de instalação.

Recentemente, a fabricação de unidades integradas de condicionamento de ar beneficiou a indústria que, em função da padronização dos equipamentos, pôde obter menores custos de fabricação com conseqüente expansão do mercado.

Quando uma pessoa é confinada por um determinado período numa sala fechada, ela passa a sentir desconforto, o qual é proporcional ao tempo de confinamento. Segundo Yamane (1986), este fenômeno foi observado por Lavoisier (1777), que justificou a ocorrência da sensação de desconforto pelo aumento da concentração de CO₂ resultante da respiração humana. Já em 1858, o higienista Max Von Pettenkofer apresentou a hipótese de que o ser humano exalaria uma substância

tóxica proporcional à quantidade de CO₂, porém, a teoria que prevalece até hoje foi apresentada por Frügge, em 1905: as pessoas podem ser comparadas a motores de combustão interna, ou seja, elas devem rejeitar calor na produção de trabalho. Se este calor não puder ser dissipado devido aos efeitos da alta temperatura ambiente, resultará em desconforto.

EMISSÃO E CONTROLE DA CONCENTRAÇÃO DE CO₂

Segundo Honeywell (1998), os dirigentes e os proprietários de edifícios conscientizaram-se de que o controle da temperatura e da umidade é insuficiente para controlar a necessidade de conforto dos ocupantes. A qualidade do ar afeta a saúde, o desempenho, o nível de atividade, o ruído, a taxa de ventilação, os *layouts*. Aumentando-se o número de ocupantes, aumenta a concentração de CO₂ do edifício. O controle de CO₂ propicia o controle de outros contaminantes como: gases, odores, partículas, bactérias, vírus e perfumes. Monitorando-se o CO₂ assegura-se o conforto através da ventilação e da renovação de ar.

O autor afirma também que os níveis de CO₂ na área rural são de aproximadamente 350 ppm, enquanto que em áreas urbanas são consideravelmente mais elevados. Para escritórios, os valores típicos são da ordem de 800 a 1200 ppm, enquanto que para auditórios e salas de conferência podem atingir níveis de 2000 ppm. A concentração de 1000 ppm de CO₂ é um nível aceitável; o nível elevado de CO₂ não causa necessariamente mal-estar ou outros sintomas, porém, em geral, quando se controla o nível de CO₂, melhora o conforto dos ocupantes, pois outros contaminantes são eliminados juntamente com o CO₂. É importante mencionar que o monóxido de carbono (CO) também pode estar presente em determinados ambientes, e trata-se de um gás altamente tóxico que é também um subproduto da combustão e muito

prejudicial ao ser humano, desde níveis baixos como 30 ppm.

O método convencional de renovação de ar dos ambientes é por vazão de ar exterior constante. Esse tipo de controle do ar exterior é calculado para os níveis máximos de ocupação dos ambientes, ou seja, os cálculos são elaborados para o recinto com todos os espaços sempre ocupados por um certo número de pessoas. Como raramente os recintos apresentam ocupação máxima, em geral está-se desperdiçando parcela de energia para refrigerar volume desnecessário de ar exterior. O sistema baseado no controle de ar exterior por demanda (DCV) utiliza sensores de dióxido de carbono para que o ar exterior seja utilizado de acordo com a demanda real do ambiente. Com esta técnica, além de se garantir a qualidade do ar interior, economiza-se energia, que é normalmente subutilizada nos sistemas tradicionais, enquanto se renova maior vazão de ar exterior que o necessário.

O controle do ar exterior por DCV possibilita que os usuários melhorem a qualidade do ar interior e utilizem a taxa de renovação de ar adequada através do uso de sensores de CO₂ eletrônicos, espalhados pelos ambientes. Os sensores funcionam como uma espécie de “medidores” da quantidade de pessoas presentes no ambiente. Desta forma, pode-se renovar o ar em dosagem correta.

Segundo ASHARE (norma 62^a – 1989 e adendo 62^a – 1990) é coerente com o processo de renovação de ar que seja permitido que o controle por demanda reduza a renovação total de ar exterior em períodos em que a sala se encontra com baixa ocupação. Isto significa que o controle individual das salas com sensores de CO₂ pode gerar ganhos substanciais em energia nos ambientes em que o índice de ocupação varia como, por exemplo, no horário do almoço em escritórios ou nas primeiras horas de funcionamento de *shopping centers*.

O sistema do tipo VAV (Vazão de Ar Variável) é utilizado em equipamentos de ar condicionado do tipo “central”, em que o ar percorre uma rede de dutos, os quais possuem

válvulas controladas por servomecanismos que fornecem a quantidade adequada de ar condicionado para o conforto dos indivíduos de cada sala. Com VAV não há desperdício: cada sala só recebe a quantidade de ar que realmente é necessária, e na maioria dos casos podem-se usar sistemas de condicionamento de ar de menor potência devido à racionalização da distribuição do ar, propiciando economia de energia. Todo o sistema VAV é microprocessado com tecnologia de ponta na área de controladores digitais.

A combinação dos dois sistemas (VAV e DCV) é atualmente o que existe de mais moderno entre os sistemas de ar condicionado que, além de se preocuparem com o conforto térmico, não descuidam da economia de energia. Os sensores de CO₂ podem ser acoplados aos controladores do sistema VAV para que os dois trabalhem integrados, fornecendo a quantidade e qualidade de ar necessárias ao ambiente. Como o sistema com vazão de ar variável trabalha com válvulas cujas aberturas são feitas por atuadores comandados pelos sensores de CO₂ que monitoram constantemente as condições de cada sala, assegura-se que o fornecimento de ar exterior seja intensificado nas regiões com maior índice de ocupação, otimizando o sistema como um todo.

O sistema de condicionamento de ar é composto por dutos de insuflação, dutos de retorno, bocas de insuflação, abertura de retorno, *dampers* de sobrepressão, ventilador de insuflação e serpentina de resfriamento (Fig. A).

No sistema de condicionamento de ar convencional, o ar retornado do ambiente mistura-se com ar exterior predeterminado no cálculo de carga térmica. Esta mistura de ar passa pelo VT (sistema de ventilação) e é forçada para uma serpentina de resfriamento, onde ocorre diminuição da temperatura e da umidade do ar, que só então será enviado ao ambiente, através do duto de insuflação, até as bocas de insuflação (BI). O ar arrefecido e com baixo teor de umidade passa então a

receber calor do ambiente; uma parte desse ar é exaurida pelo *dampner* de sobrepressão (DS) e o restante é forçado pelo duto de retorno para se misturar ao ar exterior, reiniciando um novo ciclo até que o ar de retorno atinja o *set point* do termostato instalado no duto de retorno de ar (T). O termostato enviará sinal para o controlador de temperatura que atua na válvula de controle do refrigerante, modulando a vazão do refrigerante na serpentina. Este processo faz com que a temperatura do ambiente seja modulada em torno do *set point* e o ambiente mantenha temperatura próxima à do termostato (T). Neste ciclo de condicionamento de ar, o fluxo de ar é constante, variando apenas o fluxo de fluido refrigerante (Fig. A).

Com a introdução do controle da concentração de CO₂, dá-se conta do fluxo de ar de retorno e de ar exterior através do sensor de CO₂, enviando-se sinal para o controlador do DCV e deste para o atuador, que irá modular o ar exterior e o ar de retorno, admitindo apenas a quantidade de ar exterior necessária. Este recurso faz recircular quantidade maior de ar, desperdiçando menor quantidade de energia (Fig. A).

INSTALAÇÃO DE CONDICIONAMENTO DE AR COM CONTROLE DE CO₂ INTEGRADO COM SISTEMA VAV

Os sistemas de condicionamento de ar VAV são compostos de dutos de insuflação, dutos de retorno de ar, VAV com bocas de insuflação, abertura de retorno de ar, ventilador de insuflação, serpentina de resfriamento, ventilador de retorno (fig. B).

Para o condicionamento de ar com sistema VAV, o ar retornado do ambiente mistura-se com ar exterior predeterminado no cálculo de carga térmica. Esta mistura de ar passa pelo sistema de ventilação (VT) e é forçado para uma serpentina de resfriamento, diminuindo temperatura e umidade; este ar com baixa temperatura e baixa umidade é insuflado ao ambiente através do duto de insuflação, até as bocas de insuflação com VAV que irão insuflar apenas a quantidade necessária por meio do termostato, modulando o atuador do VAV. Como cada VAV comporta-se independentemente, de acordo com a carga térmica de cada ambiente (Fig. B), ao se remover o calor, uma parte é exaurida pelo *dampner* de exaustão e outra retorna ao sistema de condicionamento através

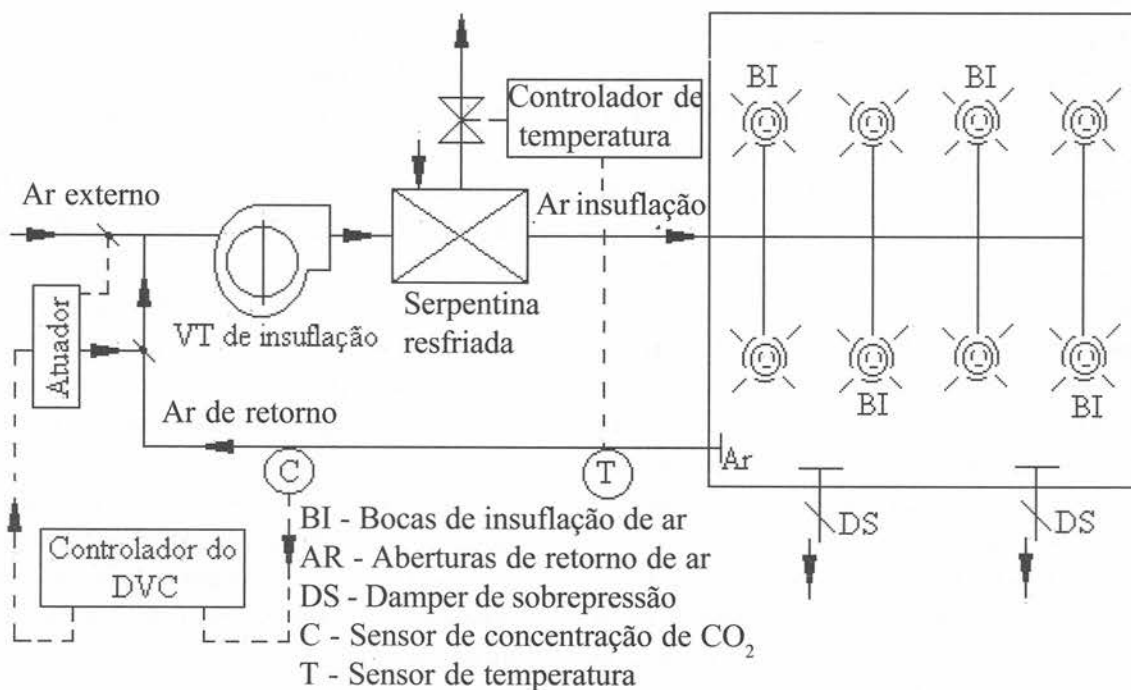


Figura A - Desenho esquemático de uma instalação com controle de CO₂ (DCV)

do duto de retorno, misturando-se ao ar exterior e reiniciando um novo ciclo, até que o ar de retorno atinja o *set point* do termostato instalado no duto de retorno de ar (T). Isto faz com que o termostato envie sinal para o controlador de temperatura que atua na válvula de controle do refrigerante, modulando a vazão do refrigerante na serpentina. Este processo modula a temperatura do ambiente em torno do *set point* do termostato (T). Neste ciclo de condicionamento, o fluxo de ar é variável de acordo com a carga térmica do ambiente, e o ar exterior é mantido constante. Com a variação da vazão de insuflação, o sensor de pressão no duto (P) enviará sinal para o controlador de pressão, que ajustará a rotação do motor para manter vazão e pressão de acordo com a necessidade do sistema, além de manter a vazão de retorno de acordo com as vazões do VAV. Há também um ventilador de retorno com sensores de fluxo (F) no retorno e ar no externo, mantendo o fluxo de retorno variável (Figura B).

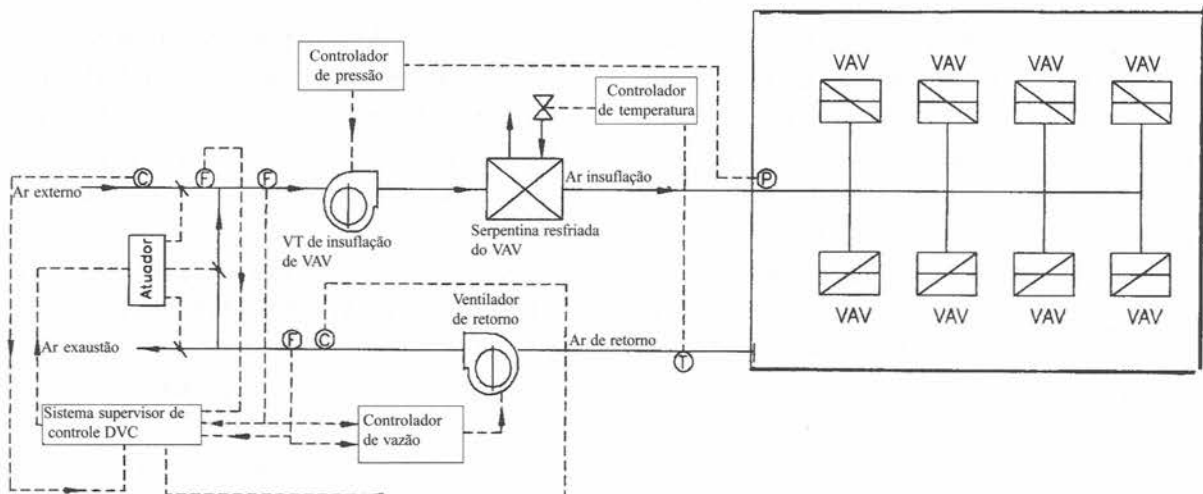
Com a introdução do controle da concentração de CO₂ monitora-se a mistura de ar de retorno e ar exterior através do sensor de CO₂, o qual envia sinal para o controlador do DCV e este para o atuador que irá modular o ar exterior e o ar de retorno, admitindo

apenas a quantidade de ar exterior necessária. Com este recurso se faz recircular quantidade maior de ar, economizando energia (Fig. B).

Para estimar-se a carga térmica de um recinto, foram utilizados *softwares* CDS (*Customer Direct Service*) *Ultra Load Desing*, pelo método *ASHARE CLTD/CLF*

% de Pessoas	Sistema (1) em (TR)	Sistema (2) em (TR)	(%) de Redução com Sistema (2)
0	15,5	4,2	72,9
10	19,1	8,3	56,5
20	21,9	12,2	44,3
30	24,7	16,3	34,0
40	27,6	20,3	26,4
50	30,4	24,3	20,1
60	33,3	28,4	14,7
70	36,1	32,5	10,0
80	38,9	36,5	6,2
90	41,8	40,6	2,9
100	44,6	44,6	0

Tabela 1 – Comparação da variação de capacidade entre dois sistemas de vazão de ar externo fixo e variável.



- Ⓒ – Sensor de concentração de CO₂
- Ⓕ – Sensor de vazão de ar
- Ⓓ – Sensor de temperatura
- Ⓗ – Sensor de pressão

Figura B – Desenho esquemático de uma instalação com controle de CO₂ (DCV) integrado com o sistema VAV.

(*Cooling Load Temperature Differential/Cooling Load Factor*), variando de 0% a 100% a percentagem dos parâmetros iluminação, equipamentos de trabalho, número de pessoas no ambiente e, em seguida, comparam-se os resultados entre o sistema de condicionamento de ar com vazão de ar externo fixa e variável.

Sistema (1): Cálculo com simulação de vazão de ar externo fixo e percentagem de iluminação, equipamento, número de pessoas variando de 0% a 100%, a carga externa é variável de acordo com o horário do dia.

Sistema (2): Cálculo com simulação de vazão de ar externo variável e percentagem de iluminação, equipamento, número de pessoas variando de 0% a 100%, a carga externa é variável de acordo com o horário do dia.

CONCLUSÃO

A importância deste trabalho é caracterizada pela quase inexistência, na literatura brasileira, de uma pesquisa referente a controle da concentração de CO₂ (DCV). Desde 1990, já existem vários autores no exterior que vêm investigando o assunto e viabilizando projetos de *retrofit* em instalações de grande porte.

Os resultados aqui obtidos elucidam com valores numéricos que, ao se monitorar a vazão de ar externo em função do número de pessoas, pode-se economizar até 72,9% de energia em relação ao sistema com ar externo com vazão fixo, além de assegurar maior confiabilidade para o conforto térmico. O controle pode ser feito adaptando-se o sistema convencional para exercer o controle da concentração de CO₂ (DCV). As adaptações constam basicamente da instalação de sensores de CO₂ em posições previamente determinadas e de servomecanismos numericamente controlados para atuarem sobre o *damper* de ar de retorno, *damper* de ar externo e atuadores.

O sistema é altamente indicado para escritórios, onde há períodos de ausência total de pessoas na parte da manhã e no final do

expediente; no restante do dia a carga térmica acompanha a flutuação do número de pessoas. Bancos, lojas e auditórios, onde tal presença varia de acordo com o horário do dia, também podem utilizar o sistema DCV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Resolução* nº 9 de 16/01/2003

ANSI/ASHRAE 55. *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 1992.

ANSI/ASHRAE 62. *Ventilation for acceptable indoor air quality*, 2001.

ASHRAE. *Norma* 62°, 1989.

ASHRAE. *Adendo* 62°, 1990.

ASHRAE – CLTD/CLF (Cooling load temperature differential/cooling load factor), 1985

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Instalações de condicionamento de ar*: NBR 6401, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. *Sistemas de condicionamento de ar e ventilação para conforto* : RN 02, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. *Qualidade do ar interior* e RN 03 – 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. *Sistemas de condicionamento de ar para conforto*: parâmetros de conforto térmico.

ANSI/ASHRAE 55. *Thermal environmental conditions for human occupancy*, 1992.

ANSI/ASHRAE 62. *Ventilation for acceptable indoor air quality*, 2001.

ASHRAE. *Norma 62°*, 1989.

ASHRAE. *Adendo 62°*, 1990.

ASHRAE – CLTD/CLF (Cooling load temperature differential/coling load factor), 1985

HONEYWELL – Carbon dioxide (CO₂). HVAC Basic 63-7049. Honeywell Inc., 1998 p. 7-98.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria 3523/98*.

YAMANE, E., e SAITO, H., 1986. *Tecnologia de condicionamento de ar*. São Paulo: Edgar Blücher .

Para contato com os autores:

Roberto Akio Komatsu
r.akio@terra.com.br

Sebastião Cardoso
cardoso@prppg.unitau.br

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETROMECHANICO PARA TROCA AUTOMÁTICA DE FERRAMENTAS EM CENTROS DE TORNEAMENTO CNC

José Antonio Neves
Mestre em Engenharia Mecânica
Professor do CEFET-SP

O trabalho aqui apresentado teve como objetivo o desenvolvimento e a implementação de um dispositivo eletromecânico para a troca automática de ferramentas em um centro de torneamento controlado numericamente por computador (CNC), totalmente independente do seu controle eletrônico. Foi projetado, fabricado e testado um protótipo visando ao melhor desempenho com o menor custo possível, o qual atendeu totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

Palavra-chave: Troca automática de ferramentas.

The present work aims at developing and implementing an electromechanical device for automatic tools change in a Computer Numerical Control (CNC) Turning Machine Center, completely free from its electronic control. A prototype was designed, built and tested aiming at attaining the best performance at the least possible cost. The prototype totally fulfilled me the expectations and needs of the chosen lathe operation.

Key-word: Automatic tools change.

INTRODUÇÃO

As máquinas CNC – controle numérico computadorizado – têm sido amplamente empregadas em processos de fabricação automatizados, desde a produção de pequenos lotes ou peças complexas até centros de manufatura integrada por computador (CIM), em que flexibilidade, precisão, repetibilidade e qualidade são os objetivos principais. Com o aparecimento das máquinas a controle numérico (CN), na década de 1940, e seu contínuo desenvolvimento, várias modificações, dispositivos, circuitos eletrônicos e outros acessórios foram sendo incorporados e aperfeiçoados visando torná-las cada vez mais “independentes” do homem.

Uma máquina-ferramenta bastante empregada na fabricação de peças rotacionais, como eixos, polias e parafusos, é o “torno mecânico”. O material a ser trabalhado é

fixado em um dispositivo denominado “placa”, que gira acionado por um motor elétrico. Uma ferramenta fabricada com um material mais resistente é fixada a um suporte que se desloca transversal e longitudinalmente ao eixo de rotação da peça, retirando assim o material desta até que as dimensões finais sejam alcançadas.

Na evolução das máquinas-ferramentas procuraram sempre soluções que permitissem aumentar a produtividade com melhor qualidade e menor desgaste físico para o homem na sua operação. Desde as primeiras máquinas-ferramentas uma das preocupações tem sido diminuir as paradas e os tempos de preparação (*setup*), de forma a otimizar os tempos de produção. Uma das principais evoluções neste sentido foi a introdução da “troca automática de ferramentas”, que veio reduzir drasticamente o tempo de *setup*. Ao longo dos anos têm aparecido vários dispositivos de troca automática de

ferramentas, sendo o sistema torre utilizado principalmente em centros de torneamento. Com a introdução de conceitos como centros de manufatura integrada por computador (CIM) e de sistemas flexíveis de produção (FMS), veio se acentuar a necessidade de uma forte automação e integração entre os recursos disponíveis nas máquinas. Os equipamentos utilizados nestes tipos de sistemas são caracterizados por uma grande autonomia em relação ao homem, porque é essencial a utilização de processos automáticos de carga e descarga de peças e ferramentas.

Nos centros de torneamento CNC, um dispositivo (torre) com várias ferramentas possui a posição destas controladas por um computador e seus periféricos. O operador verifica em qual posição da torre estão fixadas as ferramentas necessárias e registra no programa seus códigos correspondentes, o que vai gerar toda a geometria da peça a ser fabricada. O programa nada mais é que uma seqüência lógica de instruções digitadas diretamente no computador do torno CNC, ou gravada anteriormente e inserida na sua memória, para que a máquina faça os movimentos necessários da peça e da ferramenta por meio de motores e de diversos periféricos. Uma dessas máquinas é a que foi instalada no Laboratório de Máquinas Industriais CNC do CEFET-SP (Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo), sendo utilizada nos cursos técnicos e tecnológicos de Automação e Processos de Produção: um torno do fabricante ROMI®, modelo Multiplic 30S, Comando Ezpath DX32, adquirido sem a torre de troca automática de ferramentas.

O trabalho aqui apresentado teve por objetivo o desenvolvimento, a fabricação e a implementação de um dispositivo de troca automática de ferramentas para este torno CNC, totalmente independente do seu controle eletrônico e sem a necessidade de alterações em seus componentes mecânicos ou eletrônicos. Foram estudados e comparados motores, microcontroladores e sistemas de transmissão com o objetivo de

encontrar o melhor desempenho com o menor custo possível para todo o conjunto. Por esse trabalho, a troca manual de ferramentas foi totalmente eliminada, o que proporcionou a diminuição da probabilidade de riscos de acidentes e um maior conforto ao operador do torno CNC, obtendo-se uma troca automática de ferramentas que atendeu totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

PROPOSIÇÃO

Em 1998, o CEFET-SP adquiriu duas máquinas CNC industriais para serem utilizadas nos cursos técnicos e tecnológicos de Automação e Processos de Produção: uma fresadora e um torno. No recebimento dessas máquinas, foi constatado que o torno não possuía a torre de troca automática de ferramentas; esta era feita manualmente, dependendo da necessidade da peça a ser executada. Esse procedimento se torna cansativo, perigoso, não condizente com uma máquina CNC, e impede que esta possa pertencer a um sistema integrado com outras máquinas controladas numericamente.

Estudos iniciais previam a fabricação de uma torre que, dependendo da ferramenta a ser utilizada pelo programa, funcionasse quando o carro transversal do torno se deslocasse até uma certa posição do eixo transversal (eixo X). Dependendo desta posição, um sensor e um microcontrolador fariam com que um motor de passo começasse a girar e posicionasse a ferramenta desejada fixada no disco porta-ferramentas da torre, anteriormente desalocado do seu acoplamento por um dispositivo que funcionasse com ar comprimido (atuador pneumático). Após a ferramenta correta ser posicionada, o dispositivo faria novamente o acoplamento do conjunto, o operador visualizaria o número da ferramenta em um *display*, para que ele se certificasse de que era aquela prevista no programa, e depois acionasse um botão de continuação do processo.



Figura 1 - Peças fabricadas no torno CNC do CEFET-SP

Apesar de o torno CNC escolhido para a implantação da torre ser uma máquina industrial, isto é, projetada para a fabricação de peças metálicas, no CEFET-SP normalmente são usinadas peças partindo-se de barras de PVC (policloreto de vinila), conforme mostra a Figura 1, o mesmo material plástico utilizado em tubulações hidráulicas residenciais. Isto se deve ao fato de este material ter as vantagens de não desgastar tanto as ferramentas, não necessitar de líquido refrigerante, não produzir cavacos cortantes, ser de fácil manuseio, acondicionamento e possibilidade de reciclagem, mesmo porque o ambiente é didático.

Devido a esse fator, o projeto do dispositivo foi direcionado para algo simples, a um baixo custo e sem a necessidade de suportar as altas forças de corte advindas da usinagem de materiais metálicos, mantendo basicamente a idéia inicial do projeto. Objetivou-se também a visualização do funcionamento de seus componentes internos, fixando-os dentro de uma caixa transparente de acrílico.

Foram estudados os atuais sistemas de troca automática das máquinas CNC e proposto um dispositivo com componentes mecânicos e eletrônicos que pudesse ser alimentado por uma simples tomada elétrica. Foi proposto também que ele funcionasse com sensores, um microcontrolador e um motor elétrico, ativados pelo movimento do carro transversal do torno. Seu funcionamento seria basicamente o mesmo apresentado nos estudos iniciais, só que um motor de corrente contínua seria utilizado no lugar de um motor de passo, e não um atuador pneumático para o acoplamento e desacoplamento do disco porta-ferramentas.

Vale aqui ressaltar que a empresa fabricante do torno CNC fornecia este tipo de dispositivo, mas não garantia que fosse adaptável à máquina existente no CEFET-SP, a não ser que se trocasse todo o seu controle eletrônico (comando).

PROCEDIMENTOS INICIAIS

Para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente foi contatado o setor de vendas do fabricante do torno CNC em estudo, visando ao levantamento de custos da torre por eles fabricada. Solicitou-se então que fossem verificadas necessidades de alterações em partes mecânicas e eletrônicas da máquina e, principalmente, se o comando existente no torno seria compatível com a torre a ser fornecida. Após vários contatos, o departamento técnico da empresa descartou a possibilidade de fornecimento da torre, pois não havia informações suficientes sobre o comando existente, fabricado por uma empresa americana, não garantindo assim seu funcionamento. A sugestão foi trocar todo o comando da máquina, o que seria inviável devido aos altos custos envolvidos. Mesmo assim, a torre por eles fornecida foi estimada em 40 mil reais (o equivalente a aproximadamente 13 mil dólares, em 24 de setembro de 2005). O objetivo do CEFET-SP era saber o preço do equipamento original.

Na pesquisa sobre o funcionamento das torres utilizadas em alguns tornos CNC, foi constatado que o disco porta-ferramentas é acionado por um motor de corrente contínua e uma transmissão do tipo coroa e parafuso sem-fim. Foi verificado também que estas torres demoram, em média, cinco segundos para uma rotação completa, o que resulta em 12 rotações por minuto. Assim, foi definida a rotação da torre a ser fabricada entre 10 e 15 rotações por minuto, visando a um tempo de troca de ferramentas próximo ao das torres já existentes. O espaço disponível no carro transversal do torno determinou as dimensões da base da torre e nesta área foram distribuídos todos os componentes mecânicos e eletroeletrônicos. Para a transmissão mecânica entre a rotação do motor elétrico e a rotação do disco porta-ferramentas foi escolhida a utilização de dois pares de engrenagens de dentes retos, fabricadas em aço, tendo o pinhão 20 dentes e a coroa 50 dentes, devido

à possibilidade de fabricação destas nas oficinas do CEFET-SP. Estas engrenagens fornecem uma relação de transmissão de 1:5, isto é, cada rotação do disco porta-ferramentas corresponde a cinco rotações do motor, o qual deverá funcionar entre 50 e 75 rotações por minuto. Com esses dados, estudos sobre o funcionamento de trocas automáticas de ferramentas e contatos com técnicos de empresas fabricantes de máquinas CNC, foram iniciados os cálculos necessários para a determinação do motor elétrico e das características das engrenagens, bem como foi definido o projeto no trabalho proposto.

OPERAÇÃO E FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

O conjunto é fixado no carro transversal do torno por meio de quatro parafusos, conectado à rede elétrica; a chave de seleção é comutada na posição *manual*. Após ter sido executada a preparação (*setup*) do torno CNC, ou seja, inserido o programa da peça a ser fabricada, fixado o material na placa do torno e feito o referenciamento da máquina, para que esta reconheça a área de trabalho e a localização das ferramentas, o carro transversal é deslocado para a posição correspondente à primeira ferramenta do disco porta-ferramentas. É selecionada a primeira ferramenta do disco pressionando-se a tecla 1 no teclado de operação; então é comutada a chave de seleção, conforme Figura 2, para a posição denominada *automático*.

Durante a usinagem da peça, quando houver a necessidade de habilitar a troca da ferramenta, é previsto no programa o deslocamento do carro até o ponto de troca de ferramentas, onde está o sensor receptor fixo. Esse receptor foi previamente fixado ao carro longitudinal do torno a uma distância preestabelecida em relação ao centro da peça, por exemplo, 150 milímetros para a primeira ferramenta.

Os seis emissores, fixados no dispositivo a uma distância de dez milímetros

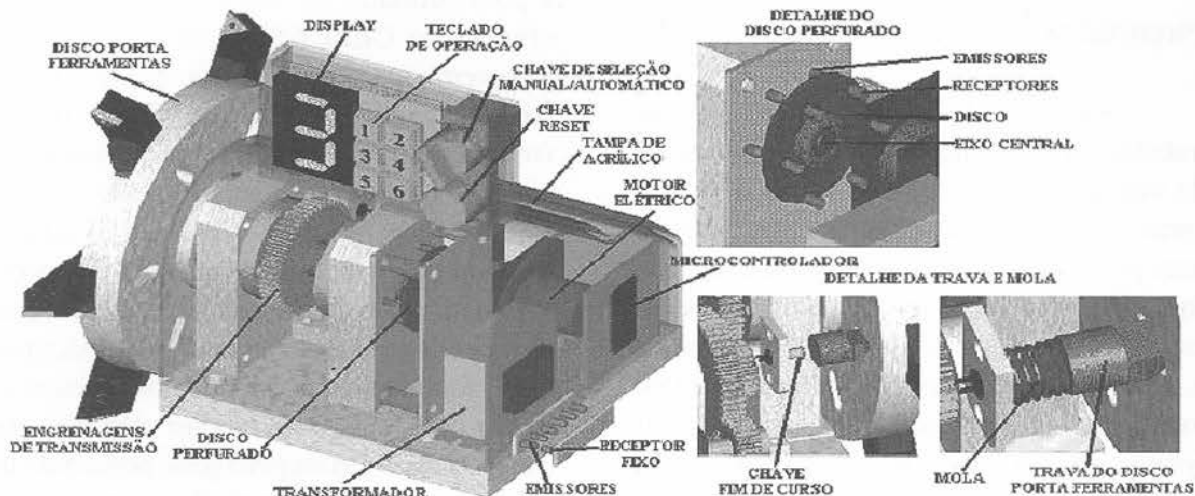


Figura 2 – Detalhes do projeto.

um do outro, deslocam-se juntamente com o carro transversal e, dependendo da distância em que ele parar, em relação ao centro da peça, irá ativar o receptor através de um dos emissores. Uma vez ativado o sensor receptor pela luz do emissor correspondente àquela ferramenta a ser utilizada, é enviado ao microcontrolador um sinal indicativo de qual a ferramenta é necessária para a continuação da usinagem da peça. Depois que o microcontrolador recebe este sinal, ele faz o motor elétrico iniciar sua rotação, e conseqüentemente começar a girar o disco porta-ferramentas juntamente com o disco perfurado. O furo deste disco se desloca até encontrar o par de sensores emissor /receptor, como visto na figura, correspondente à ferramenta requerida pelos sensores do carro transversal. No momento em que este par estiver ativado pela passagem de luz através do furo do disco, o motor elétrico pára de girar e um pino de trava mecânica é impulsionado por uma mola, fixando o disco na posição correta. Um sensor do tipo chave fim de curso, fixado no final do deslocamento deste pino, envia um sinal ao microcontrolador, confirmando que o disco está travado. Depois de o microcontrolador receber este sinal, ele aciona a *display* de sete segmentos, fazendo aparecer o número da ferramenta que foi posicionada. O operador então verifica na tela gráfica do torno CNC

se este número que aparece no *display* corresponde à ferramenta a ser utilizada, prevista pelo programa, e aciona a tecla *start* do painel de comando do torno para a continuação do processo. Se por qualquer motivo a trava mecânica não for acionada e, conseqüentemente, a ferramenta não ficar na posição correta, o *display* irá emitir um aviso de erro informando ao operador que este deve parar o processo e analisar o problema ocorrido.

CONCLUSÕES

Conforme o relatado anteriormente, no torno CNC escolhido para a implantação da torre são usinadas somente peças de PVC. Sendo assim, o projeto da torre foi simplificado visando a um baixo custo, sem a necessidade de suportar as altas forças de corte advindas da usinagem de materiais metálicos. No teste realizado com esse material plástico, o desempenho da torre foi considerado satisfatório, pois foi possível fabricar uma peça completa efetuando-se as trocas de todas as ferramentas, havendo apenas a necessidade de pequenos ajustes em sua altura e na folga dos dentes das engrenagens.

Para poder avaliar os benefícios de redução de custos que este trabalho poderia gerar, levantou-se a hipótese da fabricação de

um lote de 500 peças, supondo que fossem utilizadas quatro ferramentas. Como não há mais a necessidade de o operador trocar a ferramenta manualmente, o que demandaria aproximadamente 50 segundos para cada ferramenta, a redução do tempo de fabricação do lote é de quase 28 horas.

Para a fabricação da torre proposta foi investido o equivalente a 10% do custo da torre fornecida pelo fabricante da máquina, considerando-se o custo de todos os materiais utilizados, o tempo para a fabricação, a montagem e os testes de todo o conjunto. Comparando-se esse investimento ao que seria necessário para a compra da torre fornecida pelo fabricante (40 mil reais), verifica-se a grande economia obtida.

Nos cursos ministrados pelo CEFET-SP, os professores têm como objetivo principal que o aluno aprenda a programar e operar o torno, tendo seu comando características diferentes da grande maioria dos comandos CNC encontrados no mercado, como a possibilidade de operação semelhante a um torno convencional, quando o aluno vai lembrando as operações de torneamento e

introduzindo gradativamente os comandos CNC. Outra grande e importante vantagem é poder gerar um programa a partir de uma peça usinada manualmente, o que proporciona ao aluno uma melhor assimilação entre os movimentos executados e os códigos utilizados.

Cabe aqui ressaltar que o sistema de troca automática, resultado deste trabalho e observado na Figura 3, somente será utilizado no torno do CEFET-SP para fins didáticos na usinagem de peças plásticas, não havendo nenhuma pretensão de utilizá-la em materiais metálicos ou implantá-la em máquinas similares adquiridas por indústrias. Para isso seriam necessários novos estudos visando o dimensionamento do conjunto e a utilização de componentes mais caros.

Por meio desse trabalho, a troca manual de ferramentas foi totalmente eliminada, o que proporcionou a diminuição de riscos de acidentes e um maior conforto aos operadores da máquina, obtendo-se uma troca automática de ferramentas que atendeu totalmente as expectativas e necessidades de operação do torno escolhido.

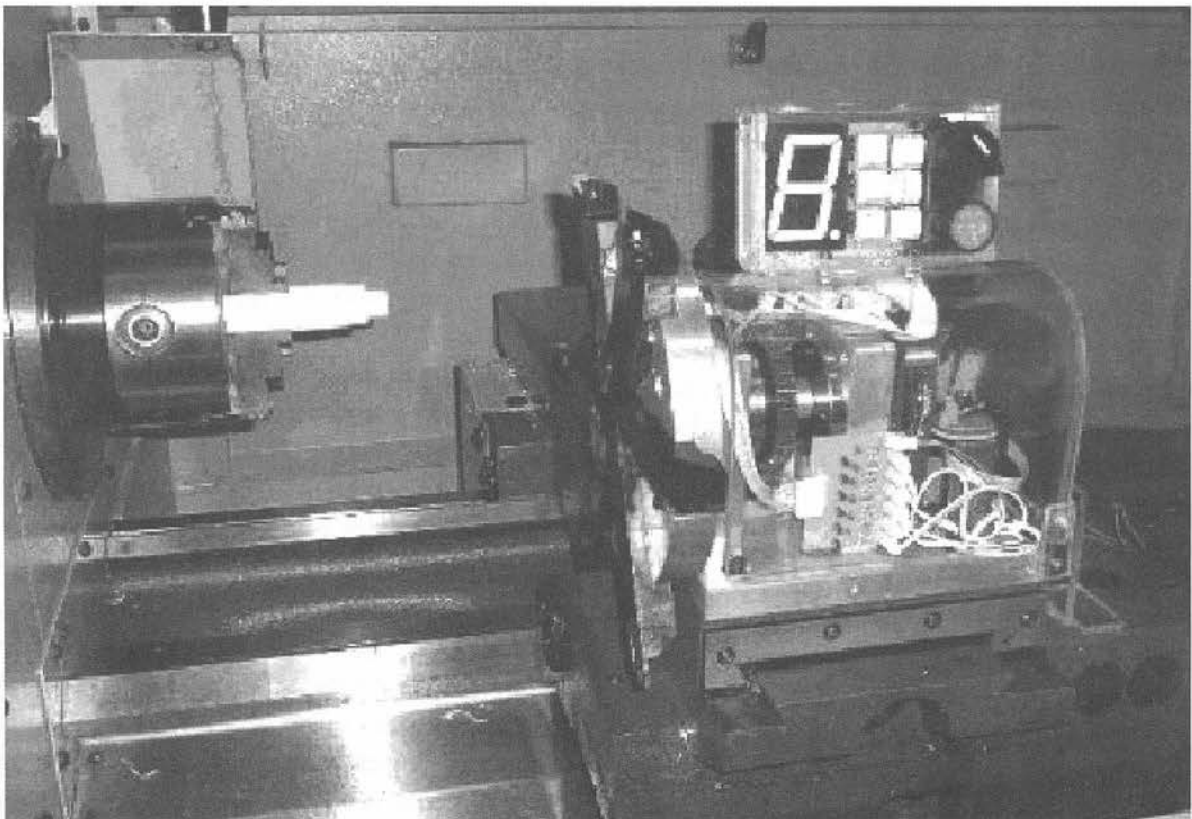


Figura 3 – Testes finais do protótipo.

REDES VIRTUAIS PRIVADAS

Pedro Celestino

Mestre em Engenharia Mecânica

Professor do CEFET-SP

Luiz Octávio Mattos dos Reis

Doutor em Engenharia Mecânica

Professor da UNITAU

Com as redes de computadores, surge também a possibilidade de administrar a distância as organizações inteligentes. No entanto, a troca segura de informações tornou-se um problema para as instituições que trafegam dados estruturados através das redes de computadores. Um dos maiores desafios é a busca de soluções economicamente viáveis e ao mesmo tempo seguras. Protocolos de segurança, algoritmos criptográficos, meios de comunicação seguros são itens essenciais para que a informação possa trafegar em ambientes livres de interferências externas. Uma das soluções é a Rede Virtual Privada.

Palavras-chave: Redes; organizações inteligentes; algoritmos criptográficos; segurança; rede virtual privada.

Along with the computer networks, it emerges the possibility of managing remotely the intelligent organizations. However, the safe change of information has become a problem to the institutions, which exchange structured data through computer networks. One of the greatest challenges is the search for safe and economically viable solutions. Security Protocols, cryptographic algorithms, safe means of communication are essential items so that the information can travel in environments free of external interferences

Key-words: Networks; intelligent organizations; cryptographic algorithms; security; virtual private networks.

APLICAÇÃO

O uso de redes privadas virtuais representa uma alternativa interessante na racionalização dos custos de redes corporativas, oferecendo “confidencialidade” e integridade no transporte de informações através de redes públicas.

A idéia de utilizar uma rede pública como a Internet, em vez de linhas privadas, para implementar redes corporativas é denominada de Virtual Private Network (VPN) ou rede privada virtual. As VPNs são túneis de criptografia entre pontos autorizados, criados através da Internet ou outras redes públicas e/ou privadas para

transferência de informações, de modo seguro, entre redes corporativas ou usuários remotos.

Segundo a Cisco, “a demanda de serviços IP VPN é crescente tanto na América Latina como no resto do mundo. Cada vez mais empresas comprovam os benefícios em administrar suas plataformas de Internet, Intranet e Extranet, de modo igual ao que os serviços de redes e de conteúdo, por meio de provedores.”

O instituto Gartner Dataquest, por sua vez, afirma que “a maioria das grandes empresas do *ranking* da revista *Fortune 100* gerenciam suas redes IP VPN através de um provedor de serviço ou planejam fazê-lo em médio prazo. A mesma tendência é vista em companhias de outros portes, já que 41% das

empresas de médio porte nos Estados Unidos e 23% das empresas canadenses planejam administrar suas redes externamente. No segmento de pequenas empresas, a tendência para curto prazo alcança 12% das empresas norte-americanas e 13,5% das canadenses”.

QUANTO À SEGURANÇA

A segurança é a primeira e mais importante função da VPN. Uma vez que dados privados serão transmitidos pela Internet, que é um meio de transmissão inseguro, eles devem ser protegidos de forma a não permitir que sejam modificados ou interceptados.

Outro serviço oferecido pelas VPNs é a conexão entre corporações (extranets) através da Internet, conforme Figura 1. Além disso, possibilitam conexões *dial-up* criptografadas que podem ser muito úteis para usuários móveis ou remotos, bem como para filiais distantes de uma empresa.

Uma das grandes vantagens decorrentes do uso das VPNs é a redução de custos com comunicações corporativas, pois elimina a necessidade de *links* dedicados de longa distância que podem ser substituídos pela Internet. As LANs podem, através de *links* dedicados ou discados, conectar-se a

algum provedor de acesso local e interligar-se a outras LANs, possibilitando o fluxo de dados através da Internet. Esta solução pode ser bastante interessante sob o ponto de vista econômico, sobretudo nos casos em que enlaces internacionais ou nacionais de longa distância estão envolvidos. Outro fator que simplifica a operacionalização da WAN é que a conexão LAN-Internet-LAN fica parcialmente a cargo dos provedores de acesso.

ACESSO REMOTO VIA INTERNET

O acesso remoto a redes corporativas através da Internet pode ser viabilizado com a VPN, através da ligação local a algum provedor de acesso (Internet Service Provider - ISP). A estação remota disca para o provedor de acesso, conectando-se à Internet, e o *software* de VPN cria uma rede virtual privada entre o usuário remoto e o servidor de VPN corporativo, através da Internet, como ilustrado na Figura 2.

CONEXÃO DE LANS VIA INTERNET

Uma solução que substitui as conexões entre LANs através de circuitos dedicados de

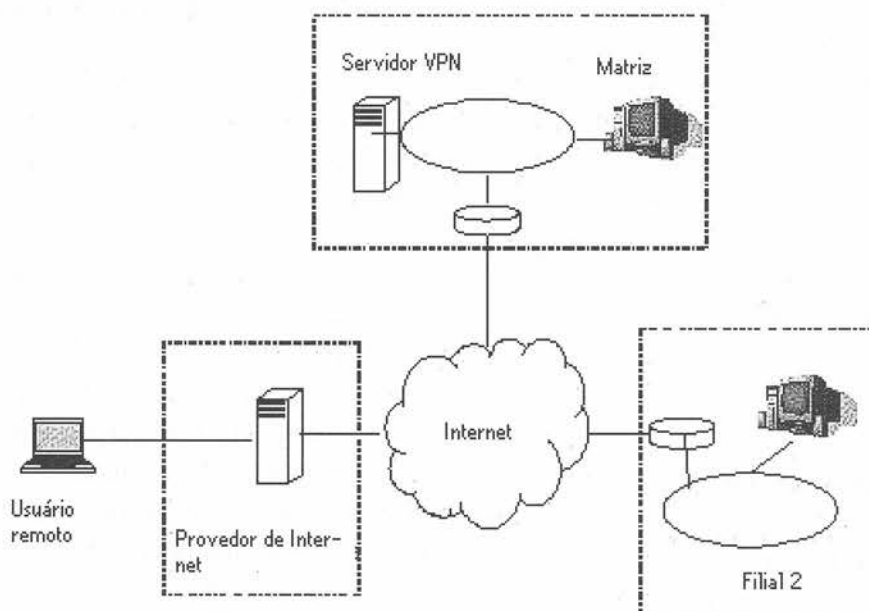


FIGURA 1: VPN ENTRE COORPORAÇÕES

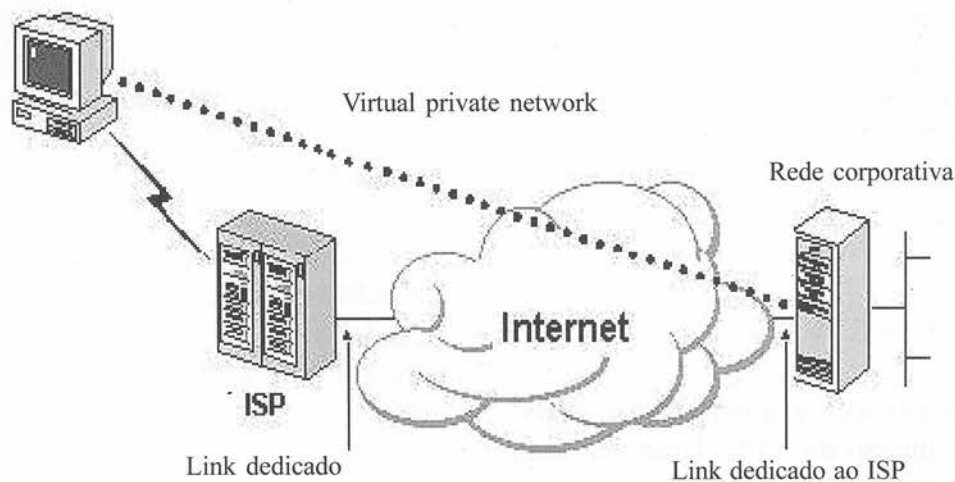


Figura 2: Acesso remoto através de ISP.

longa distância é a utilização de circuitos dedicados locais interligando-as à Internet. O *software* de VPN assegura esta interconexão, formando a WAN corporativa.

Dependendo das aplicações, também se pode optar pela utilização de circuitos discados em uma das pontas, devendo a LAN corporativa estar, preferencialmente, conectada à Internet via circuito dedicado local, ficando disponível 24 horas por dia para eventuais tráfegos provenientes da VPN.

REQUISITOS BÁSICOS

No desenvolvimento de soluções de rede, é desejável que sejam implementadas facilidades de controle de acesso a informações e a recursos corporativos. A VPN deve dispor de recursos que permitam o acesso de clientes remotos autorizados aos recursos da LAN corporativa; que viabilizem a interconexão de LANs, de forma a possibilitar o acesso de filiais, compartilhando recursos e informações e, finalmente, que assegurem privacidade e integridade de dados ao atravessar a Internet, bem como da própria rede corporativa.

CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS

*Autenticação de Usuários: verificação da identidade do usuário, impedindo acesso de pessoas não autorizadas;

*Gerenciamento de endereço: adoção de endereços fictícios para fora do tráfego. O endereço real nunca deverá ser divulgado;

*Suporte protocolo IP: deve oferecer suporte ao protocolo Internet Protocol e ao Internet Packet Exchange;

* Gerenciamento de chaves: o uso das chaves compartilhadas deve ser segredo entre as partes envolvidas e necessita ser trocado periodicamente;

* Criptografia de dados: os dados que trafegam pela rede pública ou privada devem ser cifrados, para impedir reconhecimento no caso de serem interceptados. O reconhecimento do conteúdo tem de ser exclusivo do usuário autorizado.

TUNNELING (TUNELAMENTO)

O protocolo de tunelamento encapsula o pacote com um cabeçalho adicional contendo informações de roteamento. Essas informações permitem a travessia dos pacotes ao longo da rede intermediária. Os pacotes encapsulados são roteados entre as extremidades do túnel na rede intermediária. Túnel é a denominação do caminho lógico percorrido pelo pacote ao longo da rede intermediária. Após alcançar o seu destino, ele é desencapsulado e encaminhado ao seu destino final, conforme ilustrado na Figura 3. Essa rede intermediária pode ser qualquer rede pública ou privada.

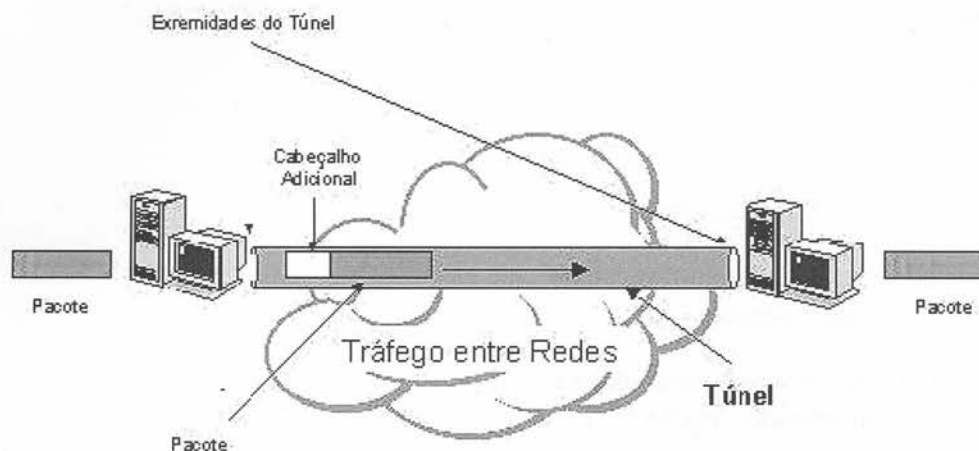


Figura 3 - Túnel virtual VPN.

VANTAGEM: ECONOMIA DE 61%

Segundo o gerente de Desenvolvimento de Negócios da Cisco para a América Latina, “a migração de Frame Relay para redes IP VPN está gerando às empresas reduções significativas no custo de conexão mensal”.

Um exemplo dessa tendência é o caso da empresa Lante, líder em consultoria em TI. Os custos mensais eram de US\$ 34.500 para conexões de rede Frame Relay entre a sede e quatro filiais. “Quando a empresa migrou para IP VPN, os custos mensais de conectividade caíram para US\$ 13.250, uma economia de 61%”, afirma Carnevali Jr.

Uma das desvantagens de prover acesso de rede a usuários remotos em Frame Relay é que normalmente é necessário um circuito virtual privado (PVC) para cada página, o que representa um processo complexo e caro.

CONECTIVIDADE

“HJ HEINZ, empresa líder no processamento de alimentos, decidiu migrar para IP VPN e, adicionalmente, contratou um provedor de serviços para a administração da sua rede de 37 filiais na Europa.

Como resultado, a empresa alcançou seus objetivos de melhorar seus custos de

redes, unificar a conexão e reduzir o uso de celulares. Atualmente, Heinz conta com mais de 7.000 telefones IP e linhas remotas que permitem melhorar suas conexões de banda larga e obter uma economia de mais de 60%, em comparação com a plataforma Frame Relay.”

Face aos artigos da Cisco, entre outros, podemos afirmar que as VPNs podem se constituir numa alternativa segura para transmissão de dados através de redes públicas ou privadas. Isso possibilita eliminar os *links* dedicados de longa distância e alto custo na conexão de WANs, visando assim a uma grande gama de aplicações nas diversas organizações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CYCLADES. *Guia internet de conectividade*. 6 ed. São Paulo, SENAC, 2000.

BROCARD, Marcelo Luiz. *12AC: um Protocolo Criptográfico para Análise Segura de Crédito*. 2001.122 1. Dissertação de (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Sites visitados:

<http://www.abusar.org>

<http://www.cyclades.com.br/>

<http://www.alan.pro.br/publicacoes.htm>

[http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/
busqueda/resultados.asp?busqued](http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/busqueda/resultados.asp?busqued)

[http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/
comunicados/ver_comunicados.asp?Id=271](http://www.ciscoredacaovirtual.com/redacao/comunicados/ver_comunicados.asp?Id=271)

LÓGICA FUZZY APLICADA A SISTEMAS DE CONTROLE DE EDIFÍCIOS INTELIGENTES

Nelson Roberto Lona

Engenheiro Eletricista – Modalidade Eletrônica e Eletrotécnica
Mestre em Engenharia Mecânica em Automação Industrial e Robótica - UNITAU

Este estudo visa mostrar, por meio de um projeto básico de controlador fuzzy e de simulações, com programa dedicado, que se pode tecnologicamente atender concomitantemente a todas as necessidades fundamentais nas atividades diárias dos seres humanos, tais como: economia, conforto e segurança, seja no ambiente de trabalho, seja em residências ou edifícios.

Agregando-se sistemas inteligentes de controle, técnicas de captação de energia solar e programas de supervisão obtêm-se sistemas que praticamente independem do fornecimento contínuo da energia proveniente das empresas de geração e distribuição de energia.

Um projeto com características específicas, e que busca fabricantes de equipamentos disponíveis no mercado, foi desenvolvido para ser aplicado em instalações residenciais. Para isso foram utilizadas redes de automação residenciais normalizadas, dotadas de sensores e atuadores comerciais, compatibilizando os sinais com os protocolos da rede mais adequada, por meio de um programa compatível com técnicas de lógica fuzzy para controle de água quente.

Os resultados finais e o desenvolvimento de uma metodologia que promova a compatibilização desses sistemas, além da utilização da energia solar, têm por objetivo reduzir o consumo de energia elétrica ou até mesmo produzi-la, aumentando com isso a confiabilidade do sistema.

Palavras-chave: Lógica fuzzy; energia solar; controle inteligente.

The aim of this study is to show, through a basic project of fuzzy controller and simulations, with a dedicated program, that they can technologically meet all the basic needs of human beings' daily activities, such as: economy, comfort and security both in the work environment and residences or buildings.

Combining intelligent control systems, solar energy techniques and supervision programs, it is possible to obtain systems, which are practically independent from the continuous energy supply provided by companies that generate and distribute energy.

A project, with specific characteristics, and which looked for equipment manufacturers available in the market, was developed to be applied in residential installations. For this normalized residential automation nets were used, composed by sensors and commercial actuators, making compatible the signals with the most suitable network protocols, through a program compatible with fuzzy logic techniques in order to control hot water.

The final results and the development of a methodology which makes these systems compatible with the line of sensors and actuators available in the market, as well as the use of the solar energy, aim at reducing electric energy consumption or even produce it, so that increasing the trustworthiness of the system

Key-words: Fuzzy logic; solar energy; intelligent control.

INTRODUÇÃO

A síntese deste trabalho consiste no aproveitamento da energia solar, que é

ecologicamente correta, limpa, inesgotável, natural e gratuita, para aquecimento de água, o que promoverá a total preservação do meio ambiente. Além disso, busca-se conciliar os

recursos tecnológicos existentes na atualidade para atender às necessidades de economia de energia elétrica e manter o conforto e o bem-estar do ser humano.

TAREFAS AUTOMATIZADAS TÍPICAS EM EDIFÍCIOS E RESIDÊNCIAS

O objetivo das redes em automação residencial é conectar todos esses sistemas e dispositivos juntos em uma rede, a fim de que eles possam ser controlados com uma interface comum e interagir entre eles. Na Figura 2.1 é apresentada a estrutura de integração dos sistemas.

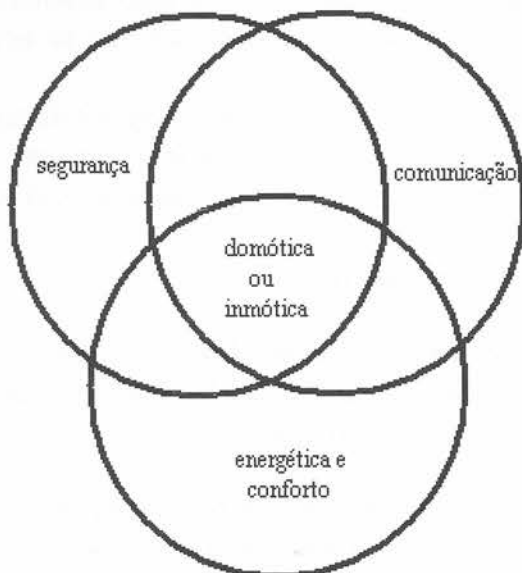


Figura 2.1 - Estrutura de integração dos sistemas.

Sistema de segurança - contra intrusão e em nível técnico; segurança periférica; detecção e alarme de incêndio ou gás; circuito fechado de televisão; controle de acesso e fornecimento de energia para luzes de emergência.

Sistema energético - controle e racionalização energéticos; controle de iluminação e controle de aquecimento de água.

Sistema de comunicação - são consideradas as comunicações internas com o exterior, com o objetivo de integrá-las da forma mais eficiente e global.

Neste trabalho será adotada uma situação fictícia, deixando de lado alguns

sistemas de menor importância ou aplicabilidade, já que a proposta aqui é para um edifício residencial de padrão médio, com 10 andares e 4 apartamentos por andar, totalizando 120 usuários.

JUSTIFICATIVA DA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

Como o aproveitamento da energia solar é de cerca de 7 horas diárias na região centro-sul do Brasil, o aquecimento solar útil corresponde a aproximadamente 30% do total de horas do ano. Por exemplo, nas pesquisas feitas por companhias de força e luz dos estados brasileiros foi indicado que o chuveiro elétrico responde por até 65% do consumo de energia elétrica de uma residência. Por isso, em regiões de calor mais intenso a economia anual proporcionada pela energia solar pode atingir até 80%. [1] e [2].

COLETORES SOLARES

Aquecedores solares são equipamentos utilizados para o aquecimento da água pelo calor do sol e seu armazenamento para uso posterior. A supressão da água no interior de sua tubulação pode atingir, no verão, uma temperatura que varia entre 60 °C e 70 °C, podendo chegar a 80 °C; já no inverno chega no máximo a algo em torno de 28 °C. No caso de o aquecimento desejado ficar abaixo do obtido poderá ser auxiliado por uma resistência elétrica ou a gás. Neste trabalho, será utilizada somente a energia elétrica.

Segundo a norma NBR 7198/82, referente a instalações prediais de água quente, e a tabela I ABNT - NB128, os 120 usuários utilizam aproximadamente 10 m³. A opção feita é de dez reservatórios térmicos com capacidade para mil metros cúbicos de água aquecida cada um, contendo um sistema de aquecimento complementar elétrico no reservatório térmico (resistência elétrica de duplo circuito blindada e termostato).

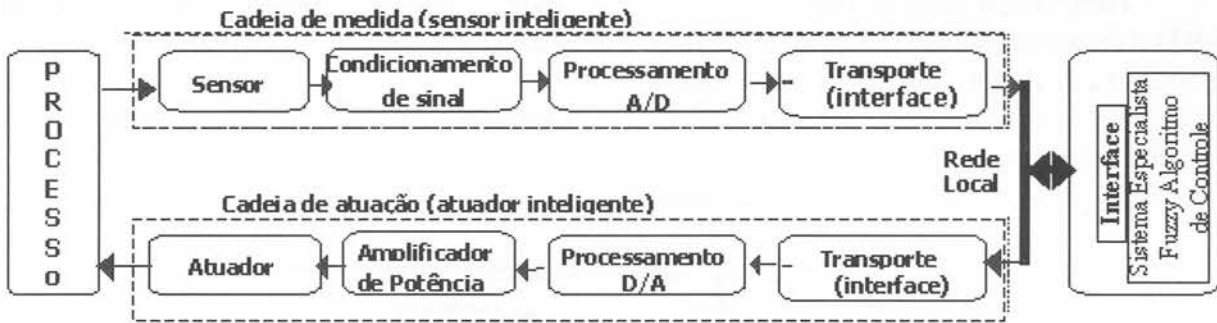


Figura 4.1 - Cadeia de medição e atuação.

SENSORES DE ATUADORES

Um sensor inteligente pode ser definido como a combinação de sensores convencionais, na unidade de processamento de sinais e no método de extração de suas características, bem como algoritmos de aprendizado e métodos de representação do conhecimento, integrados em um sistema mais complexo [3] [4]. A inteligência destes sistemas é implementada por meio de técnicas de redes neurais, lógica fuzzy, algoritmos genéticos, sistemas especialistas e árvores de decisões. Esses sistemas seguem o padrão IEEE 1451, usado para sensores inteligentes, e são utilizados por fabricantes de transdutores e desenvolvedores de aplicação no suporte para controles de rede diferentes.

REDES UTILIZADAS NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL

Neste trabalho serão sugeridas duas delas, devido à facilidade de sua utilização: a Fieldbus, porque empresas nacionais fazem parte desta associação; e a DeviceNet, porque seu número de ponto é elevado e possui sensores para uma grande variedade de aplicações, atendendo às necessidades do mercado.

PROCESSO DE CONTROLE ATRAVÉS DA LÓGICA NEBULOSA

A lógica fuzzy é uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, imprecisas e

qualitativas, em geral descritas em uma linguagem natural, e convertê-las para um formato numérico de fácil manipulação por computadores [5], modelados a partir da experiência humana, para serem facilmente aplicáveis em plantas em que os modelos são extremamente complexos.

Neste trabalho a ênfase é para um controle da temperatura da água num reservatório térmico, já que o consumo de energia é elevado nos circuitos que utilizam resistência elétrica para aquecimento, podendo ser empregados circuitos similares para controle de iluminação no corredor do prédio, recepção, garagem e outros.

MODELAGEM DO CONTROLADOR FUZZY PARA O RESERVATÓRIO TÉR-

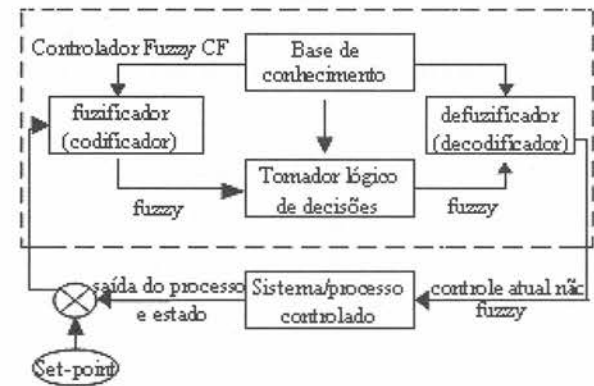


FIGURA 7.1 – SISTEMA ESPECIALISTA FUZZY

MICO

Este sistema é constituído de dez conjuntos, sendo que cada um deles contém um reservatório térmico (RT) e dez placas de coletores solares (CS); em cada reservatório térmico há uma resistência elétrica auxiliar cuja potência é de 6 KW, alimentada com até 220 V_{AC}.

Para uma irradiação média anual de 3.944 Kcal/m²/dia, os dez coletores absorvem nos seus 17 m² de área um total de um conjunto de 78 KWh por dia, logo, os dez conjuntos do sistema totalizam em um mês a irradiação máxima 23.400 KWh/mês, nas condições ideais.

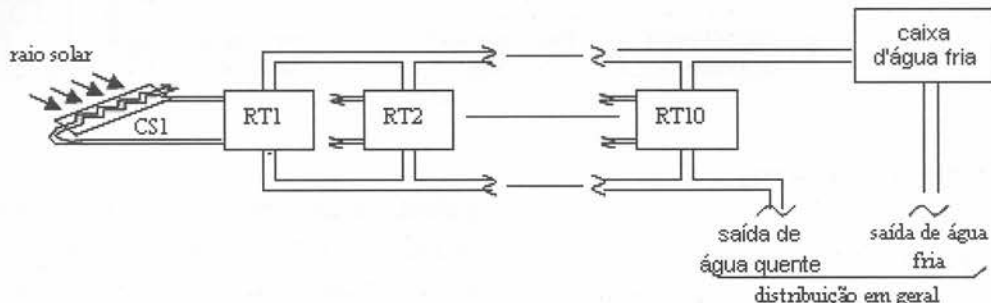


Figura 8.1 – Sistema de aquecimento completo

Como o consumo médio estimado é de 10.000 KWh/mês, o dimensionamento, portanto, está além do previsto.

Na Figura 8.1 é representado como RT1, RT2... RT10 (reservatório térmico) e contêm 1 m³ de água quente cada um.

No caso de a irradiação ser insuficiente para atender às condições mínimas, o controlador fuzzy, desenvolvido conforme regras definidas, corrigirá essa deficiência, pois sua saída alimentará um módulo de potência que, por sua vez, atuará ajustando seus valores de alimentação no resistor de aquecimento auxiliar, através do controle do ângulo de disparo do triac.

$$\eta P \Delta t = mc(t_f - t_i) 4,186 = 4,186 mc \Delta \theta$$

A equação do sistema do reservatório térmico, não sendo levadas em conta as perdas, é dada por:

em que Δt é a variação do tempo(s), η é uma constante que representa todas as perdas do sistema, $\Delta \theta$ é a variação de temperatura no reservatório térmico, P é a potência da resistência elétrica do reservatório térmico (em watts), t_f é a temperatura final do reservatório térmico (°C), m é a massa do reservatório térmico, no caso esta sendo considerada 1 m³ = 1.000.000(g), t_i é a temperatura inicial do reservatório térmico (°C), 4,186 é a constante de conversão de caloria para

Joule e c é o calor específico da água líquida igual a 1 cal/g°C.

Conjuntos fuzzy de entrada e saída

Neste trabalho optou-se por uma combinação das funções do tipo triangular e trapezoidal, devido à sua facilidade de geração e excelente precisão nos resultados, além de estarem disponíveis para pronta utilização no ambiente do Matlab; foram definidas como variáveis de entrada E (erro) e saída $P(t)$ (potência).

Utilizando-se uma linguagem própria de lógica fuzzy, são estabelecidos os conjuntos fuzzy para cada variável. Foram utilizados sete

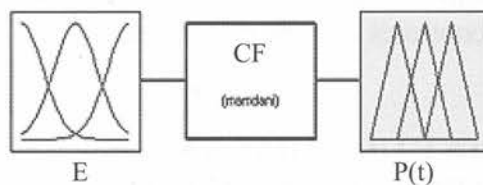


FIGURA 8.1.1 – Entrada e saída no CF

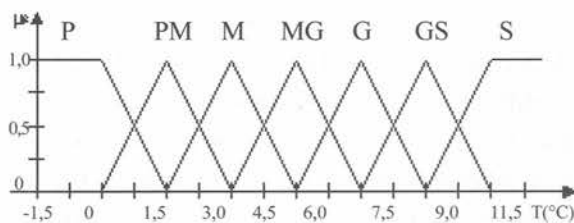


FIGURA 8.1.2 – Detalhamento da entrada do CF: P – erro pequeno; PM – erro pequeno médio; M – erro médio; MG – erro médio grande; G – erro grande; GS – erro grande super e S – erro super.

conjuntos fuzzy rotulados, conforme indicado nas Figuras 8.1.1, 8.1.2, e 8.1.3.

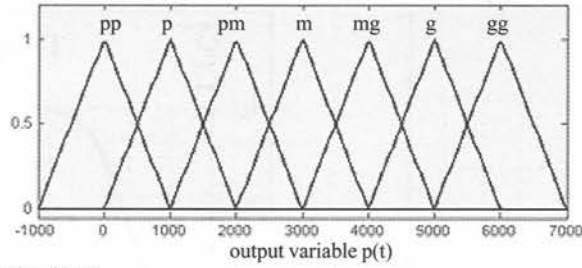


Figura 8.1.3 – Saída do controlador fuzzy

pp – muito pequeno p – pequeno pm – pequeno médio m – médio mg – médio grande g – grande gg – grande grande

Diagrama em bloco do controlador fuzzy no simulink.

Na Figura 8.2.2 – Sinal do *set-point* indicado pelo *scope 1* da Figura 8.2.1 correspondendo ao valor de *set-point* escolhido pelo usuário, no caso 40 °C, que é mantido constante; a Figura 8.2.3 – Sinal de erro indicado pelo *scope 2* da Figura 8.2.1; a Figura 8.2.4 – Sinal indicado pelo *scope3* da Figura 8.2.1 e Figura 8.2.5 – Sinal indicado

peelo *scope* da Figura 8.2.1, aponta que no reservatório térmico – boiler – está sendo adotada temperatura inicial de 0 °C, a fim de se observar seu comportamento até atingir o valor de *set-point*. O tempo é de aproximadamente 750 minutos, que corresponde a 12,5 horas para uma variação de 40 °C.

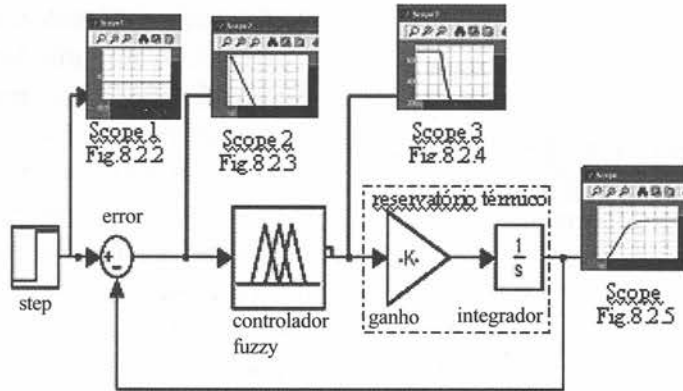


Figura 8.2.1 – DIAGRAMA EM BLOCO DO CF: Apresentação do diagrama em bloco montado no simulink do Matlab do sistema de aquecimento [6], [7] e [8]. O tempo de varredura indicado nos gráficos é de 100000 segundos, incluindo formas de onda obtidas nos diversos pontos do diagrama em blocos do sistema de aquecimento. O objetivo é observar o seu comportamento ao longo de um tempo maior.

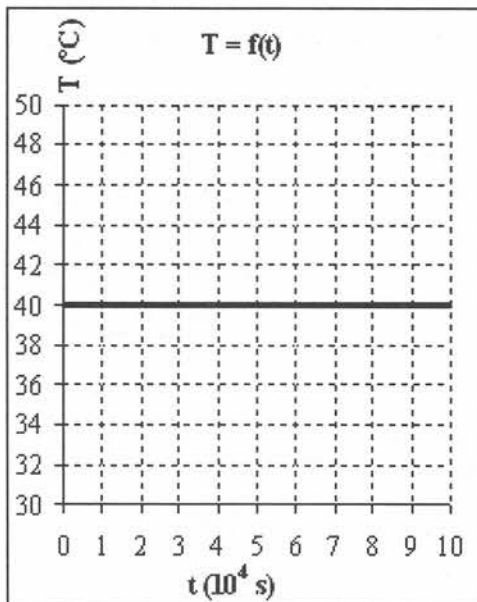


Figura 8.2.2

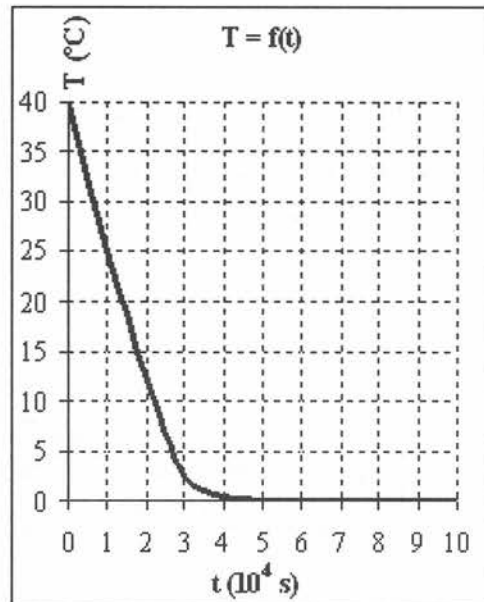


Figura 8.2.3

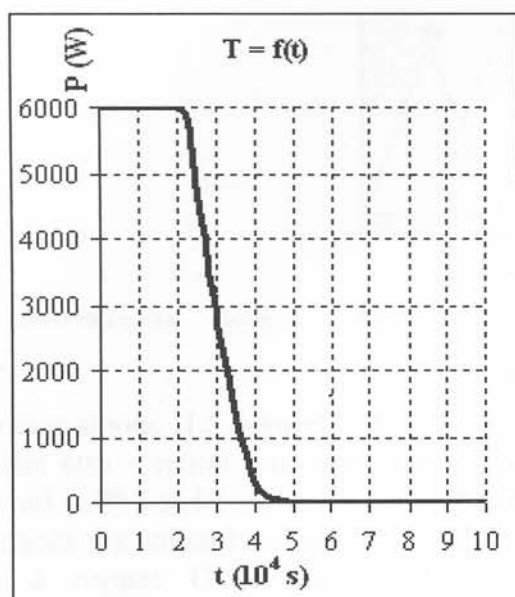


Figura 8.2.4

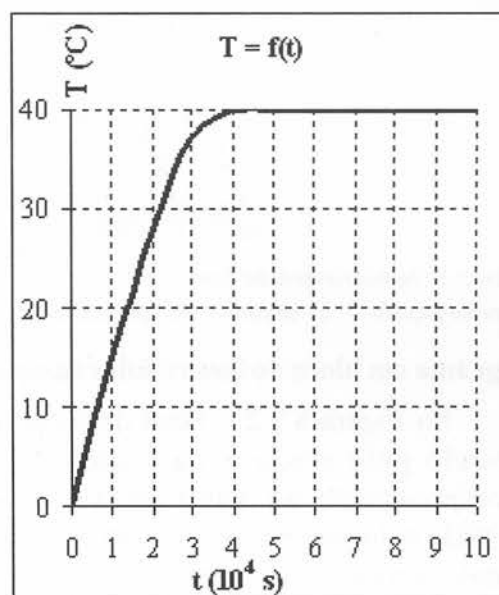


Figura 8.2.5

MÓDULO DO CONTROLADOR FUZZY GENÉRICO

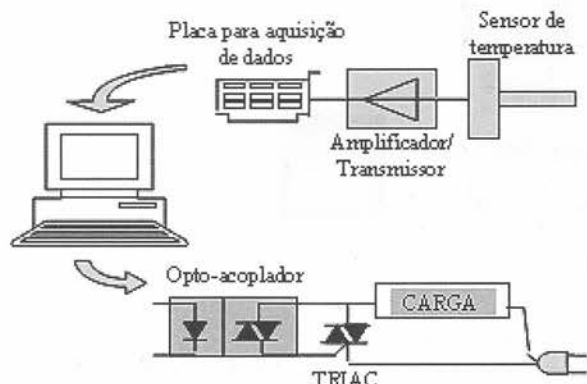


FIGURA 9.1 - Módulo de potência do sistema de aquecimento de água responsável pela alimentação da potência de entrada da tensão no resistor que fica no reservatório térmico. Pode-se usar o opto-acoplador MOC3030.

Deve-se ainda observar que o valor da potência não é mantido constante, já que se tem estabelecido para variações inferiores a 10°C um ajuste no ângulo de fase, através das regras, atuando no gate do triac e assim na potência do resistor responsável pelo aquecimento da água. A Figura 8.2.3 mostra o comportamento da diferença entre o *set-point* e a temperatura no reservatório, ou seja, o erro existente, e a Figura 8.2.4 mostra o comportamento da potência no resistor devido à variação do ângulo de fase no triac.

ANÁLISE ECONÔMICA

A viabilidade de instalação de um sistema depende dos custos envolvidos na mão-de-obra

Despesas para instalação do sistema				
Descrição	unidade R\$	Quantidade	Total (R\$)	Total (U\$)
Reservatório térmico de 1000 litros	2.800,00	10	28.000,00	13.102,48
Coletor solar (placa de 1,7 m ²)	300,00	100	30.000,00	14.038,37
Tubulações (distribuição)	-	-	10.000,00	4.679,46
Mão-de-obra	-	-	40.000,00	18.717,83
Total	-	-	108.000,00	50.538,14

TABELA 10.1- Despesas para instalação do sistema

Consumo médio do prédio				
Famílias	Média mensal (KWh)	Custo total com taxas	Economia c/o sistema (50%)	Tempo para se pagar
40	10.000	R\$ 3.790,00	R\$ 1.895,00	≈ 57 meses
		U\$ 1.773,52	U\$ 886,76	

TABELA 10.2 - Consumo médio do prédio

para a instalação, materiais em geral e sua vida útil em relação à economia de energia, levando-se ainda em conta o conforto adquirido com esta tecnologia. É sabido que um sistema solar pode propiciar uma redução média no consumo de energia elétrica que varia entre 50% e 65% [9] e [3]. E, segundo os fabricantes dos sistemas solares, sua vida útil pode chegar a 20 anos [3].

Levando-se em conta que este sistema atende a 40 famílias, seu custo será diluído em questão de meses. Daí conclui-se a viabilidade do seu emprego.

Pode-se concluir que as condições de cálculo consideram um período de amortização de 5 anos e, segundo os fabricantes, a vida útil é de 20 anos.

CONCLUSÕES

Após estudos, levantamentos, pesquisas, modelagem e simulações do sistema proposto, constatou-se que os resultados foram mais que satisfatórios. No início foi cogitada a criação de um controlador PID ou PI, mas, devido ao grande volume de água no reservatório térmico, concluiu-se que uma ação proporcional na correção da potência no resistor de aquecimento seria mais que satisfatória para atender o processo em questão. Assim, atingiu-se o objetivo do trabalho: propor um sistema de controle fuzzy aplicado ao controle de consumo de energia, com a utilização de energia natural não poluente.

Foi constatado um grande número de fabricantes desenvolvedores dos diversos equipamentos para este fim, o que mostra uma grande preocupação mundial em atender a todas as necessidades de mercado.

Outro aspecto importante a ser considerado é a existência de diversos meios de interface para o encaminhamento dos sinais de ocorrência e atitudes.

Do ponto de vista do aspecto econômico, pode-se concluir a viabilidade da implantação, pois seu custo é coberto num período relativamente pequeno, principalmente

em se tratando de um edifício, em que os gastos deverão ser divididos entre seus usuários.

Por fim, tem-se também a utilização de um sistema de supervisão inteligente, que incorpora a lógica fuzzy, para efetuar medições, desligamento, proteção, geração de relatórios e outros, realizando assim as funções básicas de um sistema de supervisão e propiciando conforto e bem-estar ao ser humano, além da segurança pessoal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TECNOSOL: A Tecnologia do Sol. Disponível em: <<http://www.tecnosol-aquecedores.com.br/index2.htm>>. Acesso em: 21/02/2005.
- [2] ASTRO-SOL aquecedores. Energia solar. Disponível em: http://www.astrosol.com.br/energia_solar.html. Acesso em: 21/02/2005.
- [3] BYRNE, G. et al. Tool condition monitoring (TCM): the status of research and industrial application. *Annals of the CIRP*, vol. 44, n.2, 1995.
- [4] DU, R.; ELBESTAWI, M. A.; WU, S. M.: Automated monitoring of manufacturing processes, Part 1 : Monitoring methods, *Journal of engineering for industry*, vol. 117, n. 2, maio 1995.
- [5] SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. *Controle e modelagem fuzzy*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2004 .
- [6] MANUAL FUZZY LOGIC TOOLBOX DO MATLAB, Matlab: the language of technical computing version 6.0.0.88. Release 12, 22 sep. 2000.
- [7] HANSELMAN, Duane; LITTLEFIELD, Bruce. *Matlab 6: curso completo*, 2003.
- [8] MATSUMOTO, É. Y. *Simulink 5: fundamentos*. São Paulo: Érica 2003.

[9]HELIOSSOL: Energia solar. Disponível em:
<<http://www.heliossil.com.br/curios.htm>> .
Acesso em: 21/02/2005.

Para contato com o autor:

Nelson Roberto Lona

lona@cefetsp.br



UTILIZAÇÃO DIDÁTICA DE INFORMAÇÕES DE SENSORES DIGITAIS AGROAMBIENTAIS OBTIDOS ATRAVÉS DE INTERFACE MICROCONTROLADA

JOSÉ L. AZZOLINO

Mestre em Engenharia Mecânica
Automação Industrial - UNITAU
professor do CEFET SP

É apresentado neste artigo um sistema de aquisição de dados de sensores digitais agroambientais que compõem uma plataforma educacional, a qual utiliza uma interface microcontrolada para treinamento que envolvam suporte à tomada de decisão. Esse sistema é composto por um módulo central de coleta de informações, três módulos sensores, um software desenvolvido em linguagem C de gerenciamento das informações obtidas pelos sensores e um circuito de interface microcontrolada, programável de acordo com as quantidades de informações necessárias obtidas dos sensores digitais. Os resultados obtidos podem ser utilizados didaticamente para treinamento em escolas que ministram disciplinas com enfoque agrícola, constituindo-se um método de ensino.

Palavras-chave: Sensores; interface; microcontrolada; treinamento; método de ensino.

A system for data acquisition from agroenvironmental digital sensors is presented in this article, which composes an educational platform that uses a microcontrolled interface for training, involving support to the decision making process. This system is composed by a central module for information gathering, three sensory modules, a software developed in C language for information management, obtained by sensors and a microcontrolled interface circuit, programmable according to the amount of needed information obtained from digital sensors. The results can be used pedagogically for training in schools that have subjects with agricultural approach, consisting in an educational method.

Key-words: Sensors; microcontrolled interface; training; education method.

INTRODUÇÃO

Os primeiros trabalhos em risco climático voltados ao zoneamento agrícola desenvolvidos no Brasil se basearam fortemente nos estudos de aptidão climática para estabelecer zonas aptas, zonas marginais e zonas inaptas para as principais culturas. Os trabalhos desenvolvidos no Instituto Agrônomo de Campinas, sob a coordenação do dr. Ângelo Paes de Camargo, foram pioneiros nesse sentido (Camargo; Ortolani, 1966). Com o surgimento de novos *softwares* e linguagens de programação, houve um grande avanço no desenvolvimento de modelos para representar as interações planta-

ambiente, permitindo assim simular para períodos mais longos o comportamento de cada espécie vegetal em relação ao clima. Muchow; Bellany (1991), Faria (1999) e Pellegrino et al. (1998) destacam a importância do monitoramento das condições do tempo e do clima, pela influência sobre a atividade agrícola e a transmissão e divulgação dessas informações na forma de mapas, com aspectos referentes aos métodos de mapeamento de informações meteorológicas e climatológicas através do uso de SIG (sistema de informação geográfica). A primeira e importante ação no Brasil para se identificar as melhores épocas de semeadura, com a utilização de ferramentas como a geoestatística ou SIG, foi desenvolvida por Assad e colaboradores em

1998 (Assad et al., 1998; Assad & Sano, 1998). Em trabalhos dessa natureza o mapa de risco classificado é a principal visualização em cada decêndio, uma vez que representa o resultado parcial do risco de semeadura no decêndio. A interface para o banco de dados de cultura, estações meteorológicas, dados meteorológicos e as outras bases de dados derivadas devem possuir visualização, para possibilitar a manutenção e consultas no banco de dados (Pusgley et al., 2001).

No presente trabalho é apresentado um sistema baseado em sensores digitais que viabilizam a leitura de parâmetros agroambientais como velocidade do vento, direção do vento e índice pluviométrico, para treinamento em sistemas de zoneamento agrícola clássico, em particular sobre o fator de aptidão climática, em que se estabelece quais são os parâmetros climáticos importantes à cultura e o potencial oferecido pela região de estudo. Essas informações podem constituir base de dados para um modelo básico de análise de risco climático,

gerenciado por um *software* desenvolvido em linguagem C e apresentado ao operador do sistema através de uma interface gráfica desenvolvida em Visual Basic®, que auxilie na indicação de melhores épocas de plantio e tipo de cultura adequada com vista à otimização do risco associado a essa natureza de processo.

MATERIAL E MÉTODOS

Adicionalmente a esses sensores, outros sensores podem ser acoplados de forma a ampliar a base de sensores digitais agroambientais (Figura 1). A exemplo de: medida de temperatura, índice de radiação solar, umidade relativa do ar, entre outros.

Neste sistema priorizou-se o uso de sensores de velocidade do vento, direção do vento e índice pluviométrico, devido à característica eletromecânica destes, que para finalidade didática apresentam características mais abrangentes para aspectos de ensino.

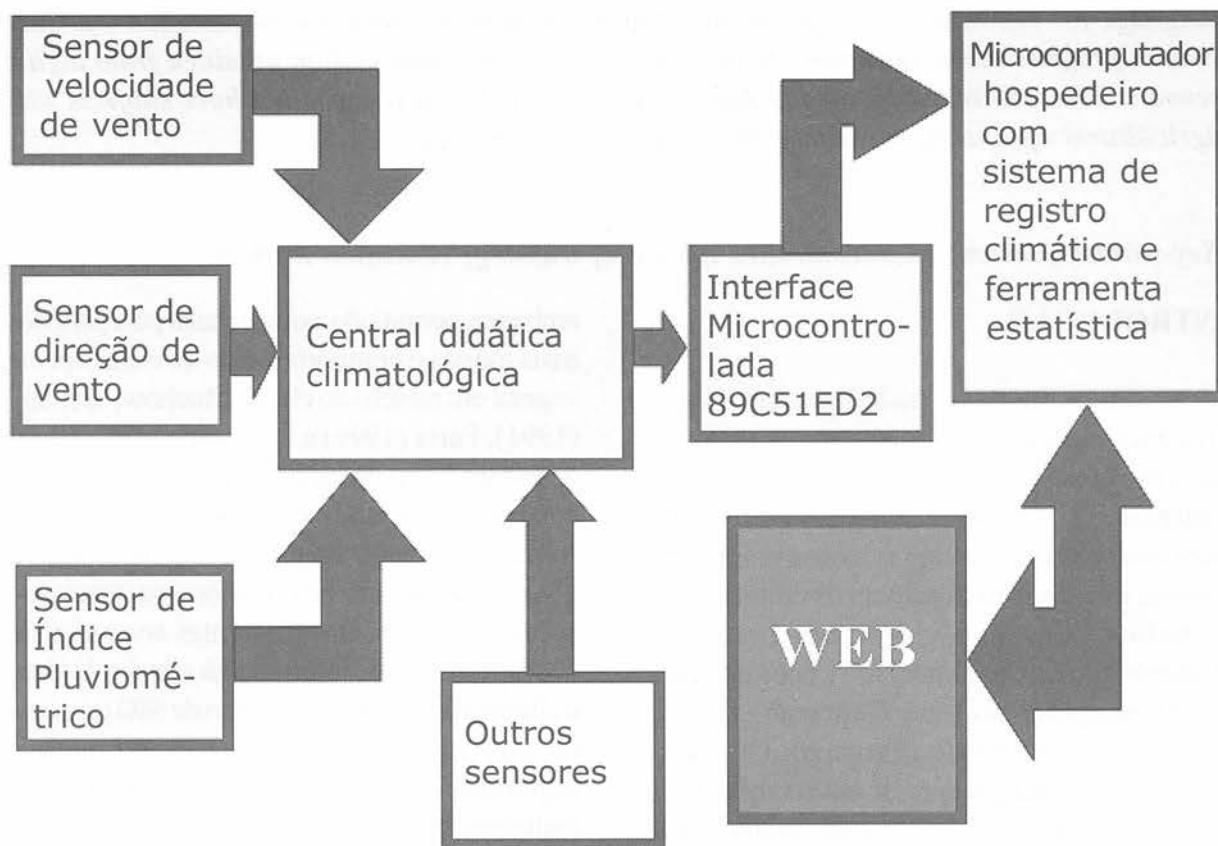


Figura 1 – Diagrama em blocos do sistema didático

Assim, o sistema de sensores digitais é constituído de três módulos sensores e um módulo central, os quais estão conectados a um módulo de interface microcontrolada que recebe as informações dos módulos coletores de dados, conforme ilustra a Figura 1.

A interface microcontrolada, mostrada na Figura 2, processa digitalmente essas informações através de um *software* desenvolvido em linguagem C.

Essas informações são exportadas através de uma porta serial RS232, para microcomputador hospedeiro o qual possui um *software* de aquisição de dados, desenvolvido em Visual Basic® denominado de SRC - Sistema de Registro Climático (Figura 3), que recebe essas informações periodicamente.

Essa periodicidade de informações (intervalos de tempo de aquisição de dados) pode ser alterada na base de tempo do SRC de acordo com o treinamento a ser ministrado.

Com base nas informações contidas nesse banco de dados, o *software* de

gerenciamento, residente no microcomputador hospedeiro, viabiliza a obtenção de representações gráficas com suas respectivas equações, histogramas e análises estatísticas, de forma a se obter um vetor padrão para os eventos que envolvem dados climatológicos na composição de mapas de risco climático, sendo disponibilizados em um *link* na Internet, de maneira a oferecer informações para análise de riscos agroclimáticos, via WEB.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

É papel da escola treinar mão-de-obra especializada para fazer com que essas informações possam chegar aos pequenos e médios agricultores, tornando o projeto da “agricultura familiar” viável. Dessa forma o sistema de sensores digitais agroambientais apresenta uma característica peculiar, que é a automatização na obtenção de dados climatológicos que servem de subsídios para a elaboração de mapas de riscos climáticos. Com

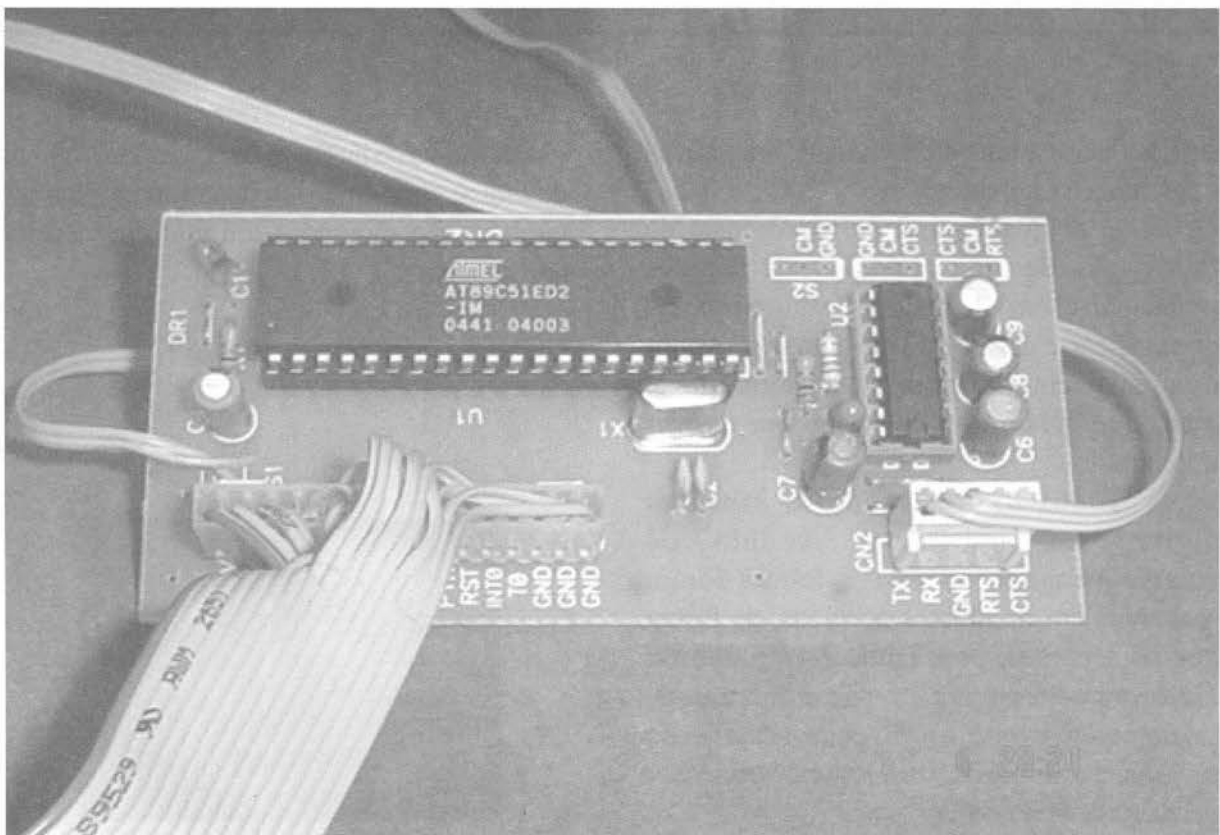


Figura 2 – Interface microcontrolada

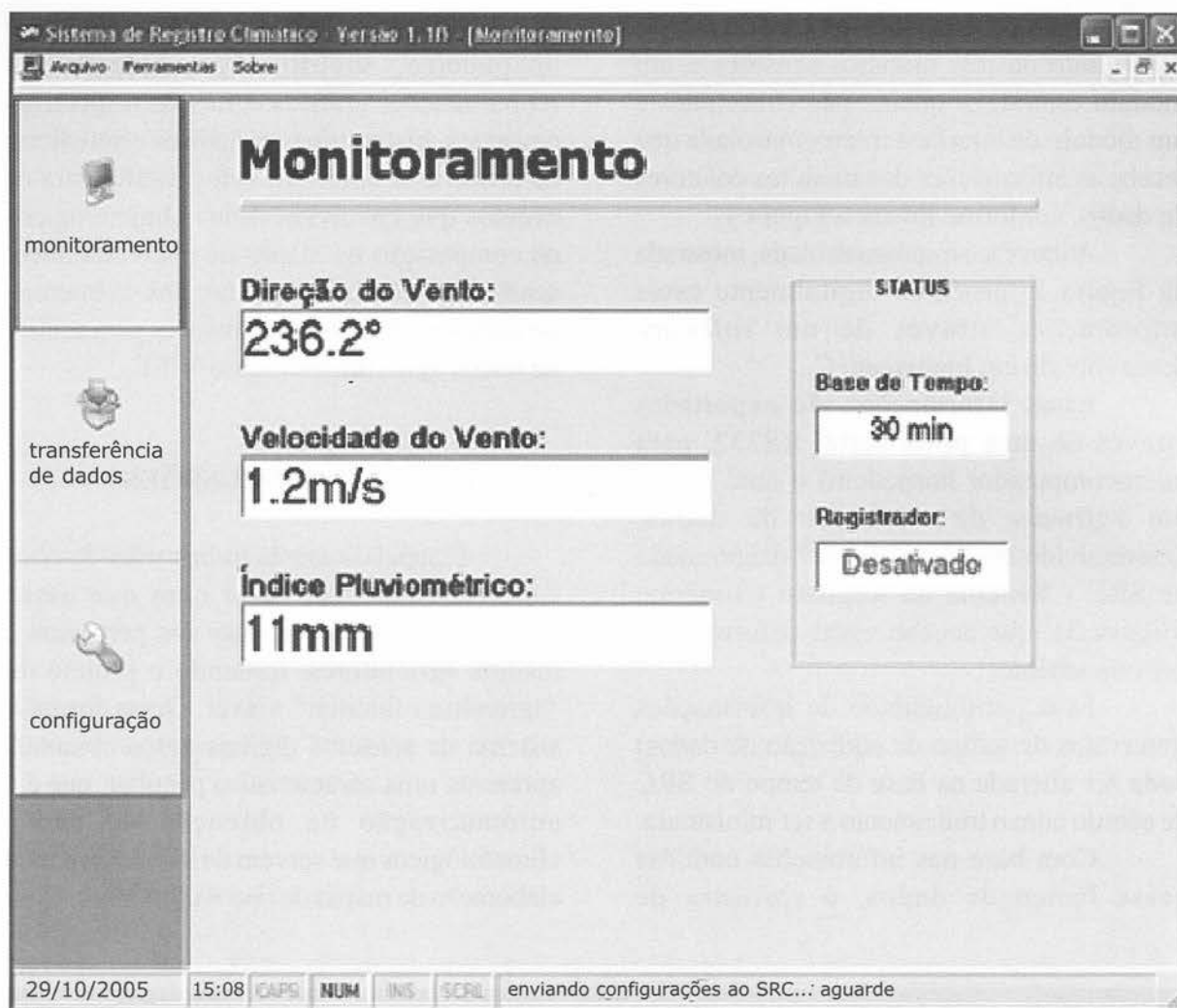


Figura 3 – Tela de monitoramento do SRC

isso, pode-se ter uma produtividade mais eficaz e garantida na agricultura.

O equipamento é de baixo custo de fabricação, de fácil operação, de simples montagem e tem a vantagem de que o modelo de aquisição e tratamento de dados é inovador e extremamente didático, o que o torna viável a qualquer instituição de ensino que desejar implantá-lo.

Todos os três módulos sensores digitais e também o módulo de condicionamento do sinal e leitura foram montados em invólucros acrílicos, de forma que os sensores, bem como a estrutura do *hardware* com circuitos e partes mecânicas, sejam de fácil visualização pelos usuários do sistema, conforme ilustra a Figura 4 do sensor de velocidade do vento.

Da mesma forma, o módulo sensor de

direção do vento ilustrado na Figura 5 e o módulo de índice pluviométrico ilustrado na Figura 6 também são montados em material acrílico transparente.

CONCLUSÕES

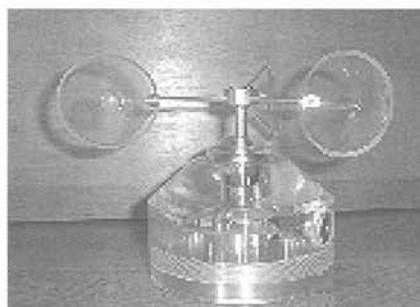


Figura 4 – Módulo sensor de velocidade de vento



Figura 5 – Módulo sensor de direção de vento

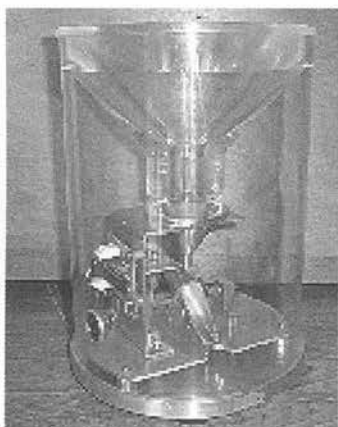


Figura 6 – Módulo de índice pluviométrico

Os conhecimentos desenvolvidos e organizados neste trabalho se caracterizaram como multidisciplinares e predominantemente educacionais. Tais conhecimentos relacionaram-se ao desenvolvimento de sensores, programação em linguagem C, utilização do *software* Visual Basic®, arquitetura de microcontroladores, comunicação de dados em nível de interface RS232, técnicas de *hardware* e *software*, os quais viabilizaram padrão adequado de confiabilidade para um sistema de aquisição de dados e a apresentação a um ambiente didático de instrumentação e controle.

Assim, o sistema apresentado permitiu o estabelecimento de base instrumental, possibilitando a organização de disciplinas com conteúdos afins, de maneira tal que proporcione meios para treinamentos de alto nível, envolvendo uma base teórica e experimental adequada.

Dessa forma, levando-se em conta esta plataforma e a concepção da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, pode-se

estabelecer um plano de abordagem didática para uso em escolas de ensino médio e superior, incluindo cursos de graduação e pós-graduação.

Os alunos dos cursos de agronomia ou ciências agrárias terão acesso e treinamento nesse sistema didático, podendo gerar procedimentos técnicos que servirão de auxílio à tomada de decisão com relação ao tipo de cultura, época de plantio e local de plantio, baseados em mapas de riscos climáticos obtidos através de informações das leituras dos sensores digitais e eletromecânicos do sistema didático.

AGRADECIMENTOS: À UNITAU, à EMBRAPA, e ao CEFET-SP, pelo apoio e oportunidade no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAD, E. D. et al. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E.(org). *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*, p. 311-327, 1998.

ASSAD, E.D.; SANO, E.E. *Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura*. 2.ed. Brasília: EMBRAPA, 1998.

CAMARGO, A.P.; ORTOLANI, A.A. Climas de zonas canavieiras do Brasil. *Boletim técnico*, 20. Campinas: IAC, 1966.

MUCHOW, R.C.; BELLANY, J.A.(org). *Climatic risk in crop production: models and management for the semiarid tropics and subtropics*. C.A.B. International, Wallingford, 1991.

PELLEGRINO, G. Q. O uso de sistemas de informações geográficas no mapeamento de informações agrometeorológicas. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E.(org). *Sistema de*

informações geográficas: aplicações na agricultura, p. 329 - 338, 1998.

PUGSLEY L., CRUVINEL, P.E., CARAMORI P. *New agroclimatic digital images classification system and risk zone mapping*. IEEE Computer Society, p.237-244, 2001.

Para contato com o autor:

José L. Azzolino
jazzolino@uol.com.br

ANÁLISE DE QUALIDADE DA EFICIÊNCIA DA PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA COM PROCESSAMENTO DE IMAGEM E REDE NEURAL

Yoshikazu Suzumura Filho

Mestre em Engenharia Mecânica – Subárea de Automação e Controle Industrial – Universidade Taubaté– UNITAU
Professor da Área de Eletrônica e Telecomunicações do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo – CEFET-SP
Professor da Área de Eletrônica e Telecomunicações da Escola Técnica Estadual Getúlio Vargas – ETE FGV-SP

Paulo E. Cruvinel

Doutor em Engenharia Elétrica – Subárea de Automação – Universidade de Campinas - UNICAMP
Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlo-SP – CNPDIA
Professor convidado no Programa de Pós-graduação da Universidade de Taubaté – UNITAU

Este artigo apresenta um método de análise da qualidade da pulverização, processo este que requer atenção especial devido ao seu impacto ambiental, social e econômico. O método constitui-se na digitalização e no processamento de imagem, utilizando a transformada de Hough das amostras da pulverização compreendida em papéis hidrossensíveis, em que se obtêm os principais descritores que compõem o vetor parâmetro qualidade para avaliação da eficiência de pulverização analisada. Os parâmetros de qualidade da pulverização são obtidos por meio de figuras de mérito de qualidade (FMQ); adicionalmente é utilizada uma rede neural artificial (RNA) do tipo backpropagation a qual viabiliza a automatização da obtenção dos parâmetros de qualidade para análise da eficácia da pulverização.

Palavras-chave: Automação; qualidade da pulverização; rede neural artificial; processamento de imagem.

This article presents a method for analysis of the quality of the pulverization process, which requires special attention due to its environmental, social and economic impact. The method uses pulverization samples from digitalized water-sensitive papers, with digital image processing and transformed of Hough for obtaining the main describers, which compose the parameter vector quality in order to evaluate the analyzed pulverization efficiency. The pulverization quality parameters are obtained by the numeric median diameter (NMD), the volumetric median diameter (VMD), the accumulative volumetric diameter of 90% ($DV_{0,9}$), the accumulative volumetric diameter of 10% ($DV_{0,1}$), extension (Ex) and drops number (Dn). Besides, it is used an artificial neural network (ANN) of the backpropagation type which makes possible the automation for obtaining the illustration of quality merit (FMQ).

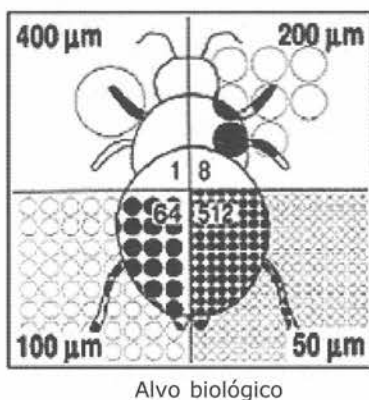
Key-words: Automation; pulverization quality; artificial neural network; image processing.

INTRODUÇÃO

Para manter-se competitivo na área agrícola, o Brasil necessita cada vez mais de investimento no desenvolvimento da alta tecnologia, objetivando aumento de produtividade com menor utilização de insumo agrícola e redução de impacto no meio

ambiente. Assim, a aplicação de produtos agroquímicos pelo processo de pulverização tem papel fundamental nesta área, onde *pulverizar* é definido como o processo físico-mecânico de transformação de uma substância líquida em partículas ou gotas (ANDEF, 2003), e a *aplicação* é o processo que visa colocar o produto químico no alvo

(Christofoletti, 1999). Portanto, a tecnologia de aplicação e os componentes pulverizadores são fatores que contribuem para eficiência da pulverização de um tratamento agroquímico. Um dos fatores principais para análise da eficiência da pulverização é a densidade das gotas. Esse fator tem como parâmetros de base o diâmetro das gotas e o seu espectro. A densidade das gotas representa o número de gotas por centímetro quadrado (cm^2). Vários produtores de agroquímicos estabelecem valores de densidade das gotas para obter resultados satisfatórios com seus produtos. A superfície de densidade cresce com uma razão inversa do diâmetro das gotas. A Figura 1 ilustra a relação entre o tamanho das gotas e a densidade, comparada com um alvo biológico.



Alvo biológico

Figura 1 – Relação entre o tamanho das gotas e a densidade, comparado com um alvo biológico. Fonte: LOBO, 2005.

As gotas geradas pelos bicos pulverizadores são constituídas de diferentes diâmetros, e sua distribuição é feita por classes de tamanhos, formando um espectro. Para a obtenção dos parâmetros que formam o espectro diversas técnicas são utilizadas, desde as mais simples – microscópio de bolso com retículo (Mathews, 1979), método fotográfico (Roels, 1981), método do óleo (Eigel, 1983) – até os mais complexos – processamento digital de imagem com correlação em frequência (Cruvinel, 1996a; 1999) e processamento digital de imagem com uso da transformada rápida de Hough (Martinez, 2002; Cruvinel, 2003). Quanto mais uniformes são os diâmetros das gotas em uma aplicação,

mais homogêneo será o espectro de gotas e melhor será sua eficiência.

MATERIAL E MÉTODO

Como estudo de caso, este trabalho avaliou a eficiência de uma pulverização agrícola convencional em uma cultura de laranja na região de Araraquara, em um talhão de 1 ha. As amostras da pulverização foram obtidas com 20 papéis hidrossensíveis espalhados aleatoriamente neste talhão. A Figura 2 é um exemplo de uma amostra.

Para o reconhecimento do tamanho da gota e definição do espectro, utilizou-se como ferramenta base o processamento digital de imagem, e a transformada rápida de Hough para objetos circulares a fim de identificar os raios de diferentes tamanhos de gotas na mesma imagem. A Figura 3 ilustra em diagrama de blocos do subsistema de análise e mensuração de gotas utilizando a transformada de Hough, em que se tem o seguinte detalhamento: na primeira etapa ocorre aquisição da informação, abertura da imagem, verificação de ruído e *zoom*. Neste momento realiza-se a digitalização das amostras com um *scanner* com resolução de operação em 300 dpi, delimitação de uma área

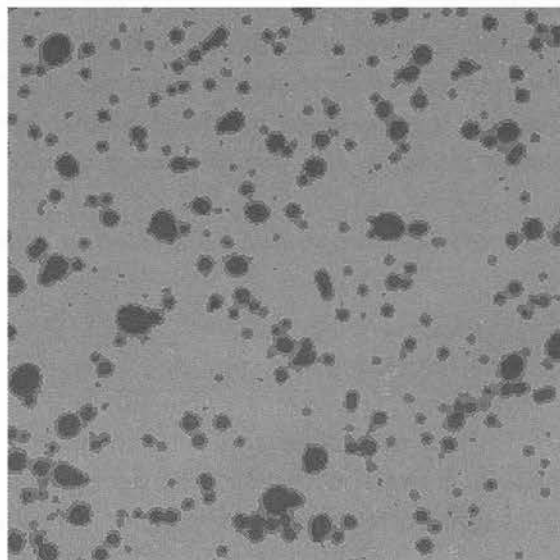


Figura 2 – Amostra da pulverização em papel hidrossensível de 1 cm^2 .

de 1 cm² com verificação de ruído; caso não haja ruído é realizada uma ampliação de 3 vezes para ser utilizada na etapa seguinte.

Na segunda etapa, tem-se a limiarização, na qual é realizada a binarização da imagem, diferenciando o que é imagem do que é fundo. A terceira etapa consiste na segmentação da imagem, que é a detecção de bordas utilizando um filtro laplaciano para destacar de forma mais precisa as circunferências. Na etapa seguinte, tem-se a utilização da transformada rápida de Hough, responsável pela obtenção dos dados da imagem, convertendo espaço de imagem em espaço de parâmetros através de arranjo acumulador gerado pelos pixels que compõem a borda da imagem. Na etapa do *backmapping* é gerado um segundo arranjo acumulador para identificar os falsos picos gerados na etapa anterior.

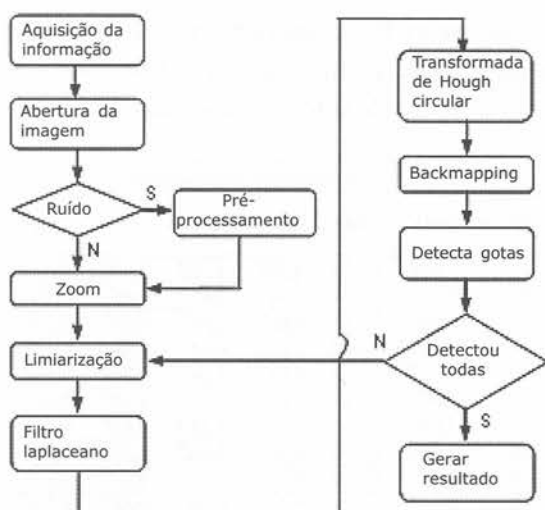


Figura 3 – Diagrama de bloco do subsistema de processamento digital de imagem utilizando a transformada de Hough

Como última etapa, tem-se a detecção das gotas e geração dos resultados. Os resultados obtidos com o processamento de imagem fornecem os descritores diâmetro mediano numérico (DMN), diâmetro mediano volumétrico (DMV) e número de gotas (Ng); a partir destes obtém-se o diâmetro volumétrico acumulativo de 90% (DV_{0,9}), diâmetro volumétrico acumulativo de 10% (DV_{0,1}), extensão (Ex), formando os seis descritores que constituíram o vetor qualidade

de pulverização, para análise de eficácia, conforme apresenta a Figura 4.

A avaliação qualidade da pulverização, utilizando o processo de análise multiparametral, envolveu o estabelecimento de um polígono denominado figura de mérito

DMV (µm)	DMN (µm)	DV _{0,9} (µm)	DV _{0,1} (µm)	Extensão (µm)	Número de Gotas
-------------	-------------	---------------------------	---------------------------	------------------	--------------------

Figura 4 – Vetor qualidade de pulverização

de qualidade (FMQ) inscrito em um círculo de raio unitário, no qual os vértices da figura são formados pelos descritores que compõem o vetor qualidade. Em função das áreas das FMQ (A_{FMQ}) estabeleceu-se o parâmetro de qualidade da pulverização. Investigações preliminares quanto à validade desta metodologia foram apresentadas em caráter de simulação no Congresso Internacional de Agricultura de Precisão, realizado em Sete Lagoas, MG (CRUVINEL, 2005). A Figura 5 ilustra o círculo de raio unitário e a área inscrita formadas pelos vértices estabelecidos pelo cálculo dos descritores DMV, DMN, Ex, Ng, DV_{0,1} e DV_{0,9}.

Para automatizar o processo de obtenção dos parâmetros de qualidade da pulverização, o método utiliza uma rede neural artificial (RNA).

O interesse em rede neural artificial data do início da década de 1940, com o

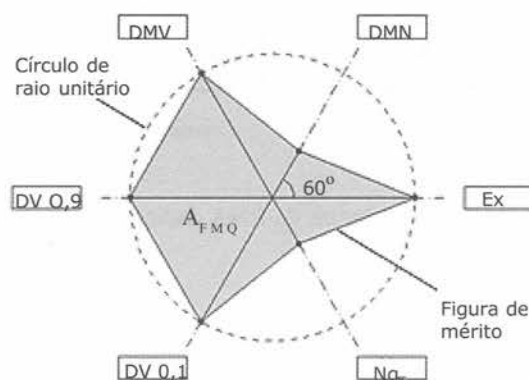


Figura 5 – Exemplo de figura de mérito de qualidade (FMQ) composta pelos descritores DMV, DMN, DV_{0,1}, DV_{0,9}, extensão (Ex), número de gotas (Ng) e área (A_{FMQ})

trabalho pioneiro de McCulloch e Pitts (BRAGA, 2000). Uma RNA baseia-se em técnica computacional que implementa um modelo matemático de um sistema neural biológico simplificado, com capacidade de aprendizado, generalização, associação e abstração. As RNAs tentam aprender padrões diretamente dos dados através de um processo de repetidas apresentações dos dados à rede, ou seja, por experiência.

Desta forma, uma RNA procura por relacionamentos, constrói modelos automaticamente e os corrige, de modo a diminuir seu próprio erro. As características de uma RNA dependem da função de ativação, do tipo de arquitetura e do modelo de aprendizagem. Neste trabalho a RNA utilizada foi do tipo *backpropagation* com arquitetura de duas camadas, conforme apresentado na Figura 6. Na entrada desta rede aplicou-se cada vetor qualidade constituído por seus seis descritores, que são analisados na camada oculta com uma função tangente sigmoial e na camada de saída com uma função linear em relação ao vetor qualidade utilizado no treinamento.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Os vetores qualidade obtidos na etapa

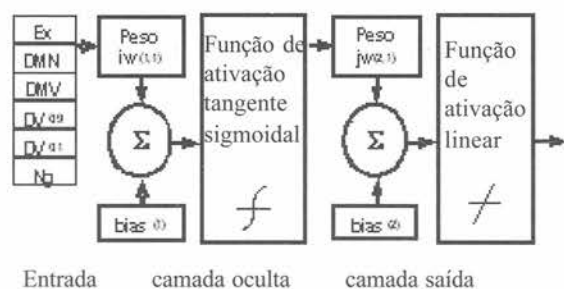


Figura 6 – Arquitetura da RNA dedicada

de processamento digital de imagem das 20 amostras dos papéis hidrossensíveis estão relacionados na Tabela 1.

A partir dos valores dos descritores que compõem os vetores qualidade, certificam-se variações em seus valores, o que representa alterações no processo de aplicação

Vetores Qualidade	Descritores					
	DMV (µm)	DMN (µm)	DV _{qp} (µm)	DV _{q1} (µm)	Ex (µm)	Ng
01	254,001	25,000	228,601	25,400	203,201	250
02	169,334	22,200	152,401	16,933	135,467	220
03	169,334	23,200	152,401	16,933	135,467	232
04	169,334	36,098	152,401	16,933	135,467	361
05	169,334	43,798	152,401	16,933	135,467	438
06	169,334	43,800	152,401	16,933	135,467	438
07	254,001	37,900	228,601	25,400	203,201	379
08	254,001	39,900	228,601	25,400	203,201	399
09	169,334	44,900	152,401	16,933	135,467	449
10	169,334	50,000	152,401	16,933	135,467	500
11	254,001	31,100	228,601	25,400	203,201	311
12	169,334	39,900	152,401	16,933	135,467	399
13	169,334	27,700	152,401	16,933	135,467	277
14	169,334	22,200	152,401	16,933	135,467	222
15	169,334	67,000	152,401	16,933	135,467	670
16	254,001	20,800	228,601	25,400	203,201	208
17	169,334	29,700	152,401	16,933	135,467	297
18	169,334	31,100	152,401	16,933	135,467	311
19	169,334	32,099	152,401	16,933	135,467	321
20	169,334	41,598	152,401	16,933	135,467	416

Tabela 1 – Descritores obtidos na etapa de processamento de imagem

da pulverização, mas em termos de qualidade fica difícil analisar.

Para a análise da qualidade da pulverização foi elaborada figura de mérito de qualidade, composta pelos descritores de cada vetor qualidade. Os descritores tiveram

Vetores Qualidade	Descritores Normalizados					
	DMV	DMN	DV _{qp}	DV _{q1}	Ex	Ng
01	1,000	0,373	1,000	1,000	1,000	0,373
02	0,667	0,331	0,667	0,667	0,667	0,331
03	0,667	0,346	0,667	0,667	0,667	0,346
04	0,667	0,539	0,667	0,667	0,667	0,539
05	0,667	0,654	0,667	0,667	0,667	0,654
06	0,667	0,654	0,667	0,667	0,667	0,654
07	1,000	0,566	0,667	0,667	0,667	0,566
08	1,000	0,596	0,667	0,667	0,667	0,596
09	0,667	0,670	0,667	0,667	0,667	0,670
10	0,667	0,746	0,667	0,667	0,667	0,746
11	1,000	0,464	1,000	1,000	1,000	0,464
12	0,667	0,596	0,667	0,667	0,667	0,596
13	0,667	0,413	0,667	0,667	0,667	0,413
14	0,667	0,331	0,667	0,667	0,667	0,331
15	0,667	1,000	0,667	0,667	0,667	1,000
16	1,000	0,310	1,000	1,000	1,000	0,310
17	0,667	0,443	0,667	0,667	0,667	0,443
18	0,667	0,464	0,667	0,667	0,667	0,464
19	0,667	0,479	0,667	0,667	0,667	0,479
20	0,667	0,621	0,667	0,667	0,667	0,621

Tabela 2 – Resultados dos descritores normalizados seus valores normalizados em função do maior valor, conforme apresentados na Tabela 2.

As 20 FMQ correspondendo aos vetores qualidade que representam as 20

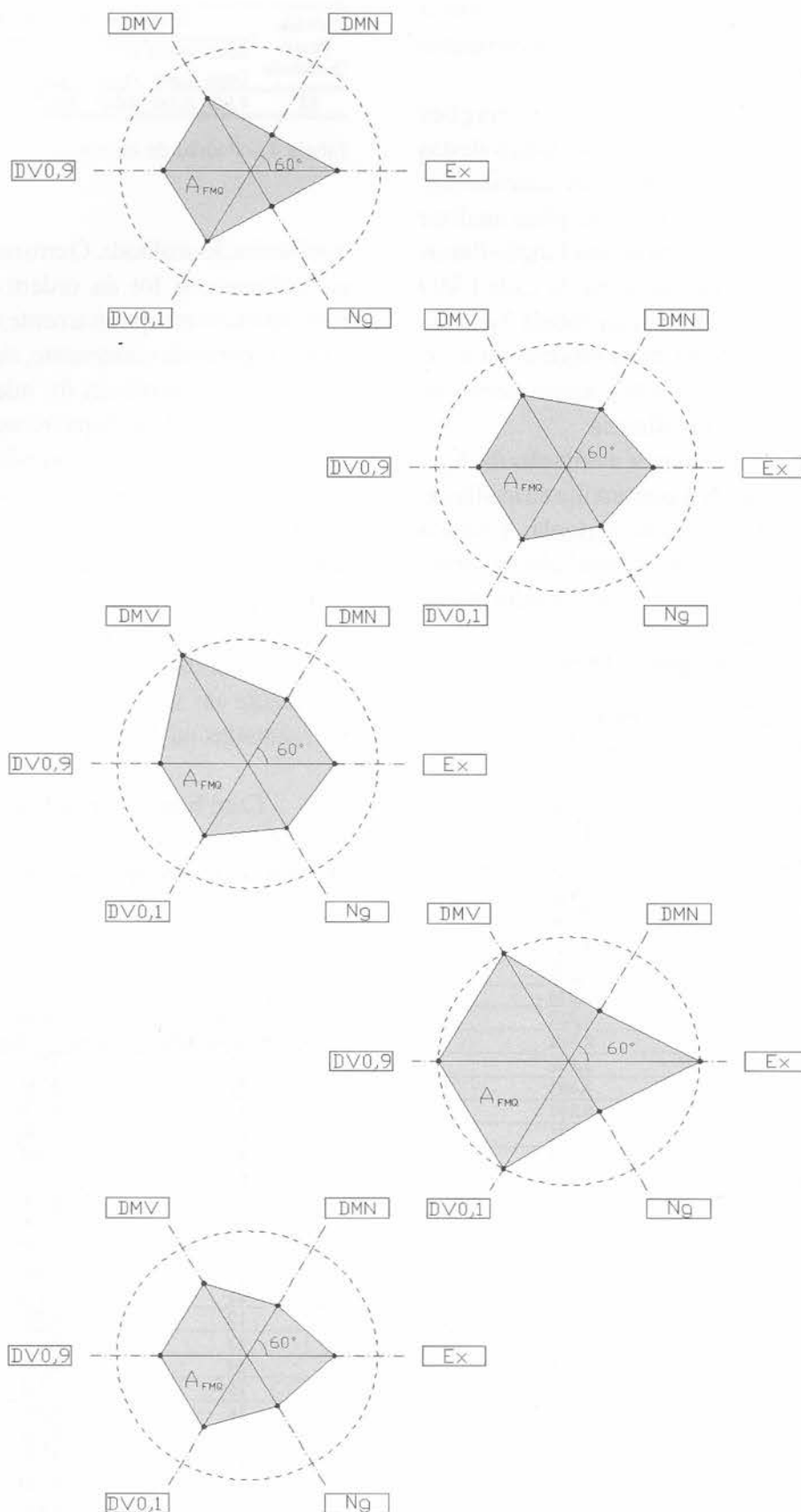


Figura 7 – Figuras de mérito de qualidade, onde: a) FMQ referente ao vetor qualidade 02; b) FMQ referente ao vetor qualidade 04; c) FMQ referente ao vetor qualidade 08; d) FMQ referente ao vetor qualidade 11; e) FMQ referente ao vetor qualidade 18

amostras da pulverização, facilitaram a visualização da variação ocorrida no processo de pulverização.

Para exemplificar as variações ocorridas, a Figura 7 representa cinco destas FMQ. Em cada FMQ elaborada, calcularam-se suas áreas (A_{FMQ}) e assim se pôde analisar a qualidade da pulverização em função destas áreas. Os resultados das áreas de cada FMQ obtidos estão relacionados na Tabela 3 e serão utilizados para análise do comportamento da aplicação da pulverização, assim como na etapa de avaliação da eficácia.

Para automatizar a avaliação da A_{FMQ} foi utilizada uma RNA que auxilia na avaliação da eficácia da pulverização agrícola. A mesma foi implementada com o MatLab[®] (versão 6.5) como ferramenta de base. Na informação

Áreas das Figuras de Mérito	
Figura de Mérito	Área (unidades de área)
01	1,512
02	0,768
03	0,785
04	1,008
05	1,141
06	1,141
07	1,217
08	1,256
09	1,159
10	1,247
11	1,670
12	1,074
13	0,862
14	0,768
15	1,541
16	1,403
17	0,897
18	0,921
19	0,939
20	1,103

Tabela 3 – Áreas das figuras de mérito

de entrada para o treinamento da RNA foi utilizado o vetor qualidade 02 com valor normalizado. A saída considerada padrão de treinamento teve como referencial a A_{FMQ} obtida anteriormente, conforme apresentado na Tabela 4.

A escolha deste vetor como referencial de qualidade para o treinamento da RNA foi devido aos descritores serem significativos e terem os menores valores, produzindo assim a menor FMQ, o que foi considerado ideal para

Entrada Vetor Qualidade	Descritores Normalizados						Saída Alvo
	DMV (μm)	DMN (μm)	DV _{Q0} (μm)	DV _{Q1} (μm)	Ex (μm)	Ng	
02	0,667	0,331	0,667	0,667	0,667	0,331	0,768

Tabela 4 – Padrão de treinamento da RNA.

a pulverização analisada. O erro máximo atingido no treinamento foi da ordem de 10^{-24} , o que representa um erro praticamente nulo alcançado com 70 épocas de treinamento, significando que a arquitetura escolhida foi adequada para a análise da qualidade da pulverização. Em cada avaliação, para os estudos de casos considerados, utilizou-se um vetor qualidade de entrada, gerando-se na saída um parâmetro de qualidade de pulverização, bem como o erro médio quadrático em função do padrão de treinamento. As informações normalizadas dos vetores qualidade de entrada, parâmetros de qualidade de saída e erros da RNA estão apresentadas na Tabela 5.

Com base nos resultados obtidos pela RNA e com a A_{FMQ} podem-se comparar as análises de qualidade da pulverização pelos dois

Entrada (Vetores Qualidade)	Saída (Parâmetro Qualidade)	Erro
01	0,827	-0,0588
02	0,768	0,0000
03	0,770	-0,0018
04	0,790	-0,0224
05	0,801	-0,0328
06	0,801	-0,0328
07	0,807	-0,0391
08	0,809	-0,0413
09	0,802	-0,0341
10	0,808	-0,0401
11	0,831	-0,0633
12	0,796	-0,0277
13	0,777	-0,0094
14	0,768	0,0000
15	0,825	-0,0567
16	0,823	-0,0553
17	0,781	-0,0127
18	0,783	-0,0149
19	0,784	-0,0165
20	0,801	-0,0323

Tabela 5 – Dados de entradas, saídas e erros na etapa de testes realizados com a RNA

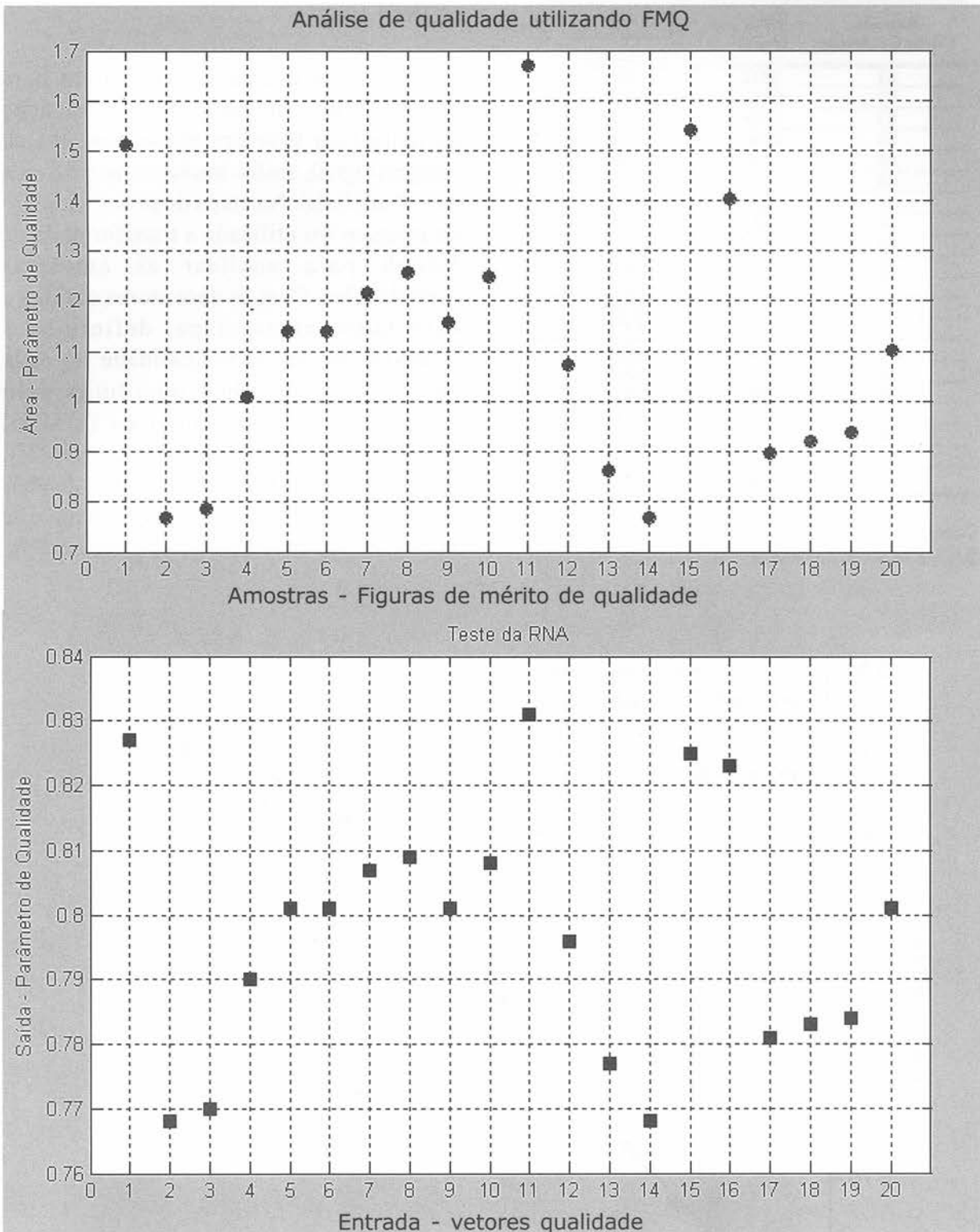


Figura 8 – Parâmetro de qualidade da pulverização, onde: (a) obtido com a A_{FMQ} e (b) obtido com a RNA.

processos. A Tabela 6 apresenta e a Figura 8 ilustra estas comparações.

A Figura 9 ilustra os resultados de correlação existente entre a A_{FMQ} e a saída da RNA, tomando como base os vetores qualidade normalizados. O alto índice de correlação ($R^2=$

0,98) verificado ilustra a confiabilidade do resultado obtido.

Entrada (Vetor Qualidade)	FMQ (Área)	RNA (Parâmetro de Qualidade)
01	1,512	0,827
02	0,768	0,768
03	0,785	0,770
04	1,008	0,790
05	1,141	0,801
06	1,141	0,801
07	1,217	0,807
08	1,256	0,809
09	1,159	0,802
10	1,247	0,808
11	1,670	0,831
12	1,074	0,796
13	0,862	0,777
14	0,768	0,768
15	1,541	0,825
16	1,403	0,823
17	0,897	0,781
18	0,921	0,783
19	0,939	0,784
20	1,103	0,801

Tabela 6 – Quadro comparativo entre as saídas da RNA e as áreas das FMQ

CONCLUSÕES

Foi apresentado um método para avaliação da eficiência de pulverização agrícola com base em processamento de imagem digital, análise multiparametral e rede neural artificial. Na etapa de processamento de imagem foi utilizada a transformada de Hough para analisar as amostras digitalizadas. Com os descritores obtidos e calculados nesta etapa, definiu-se a composição do vetor qualidade de cada amostra processada, constituída pelo diâmetro mediano numérico (DMN), diâmetro mediano volumétrico (DMV), diâmetro volumétrico acumulativo de 90% ($DV_{0,9}$), diâmetro volumétrico acumulativo de 10% ($DV_{0,1}$), extensão (Ex) e número de

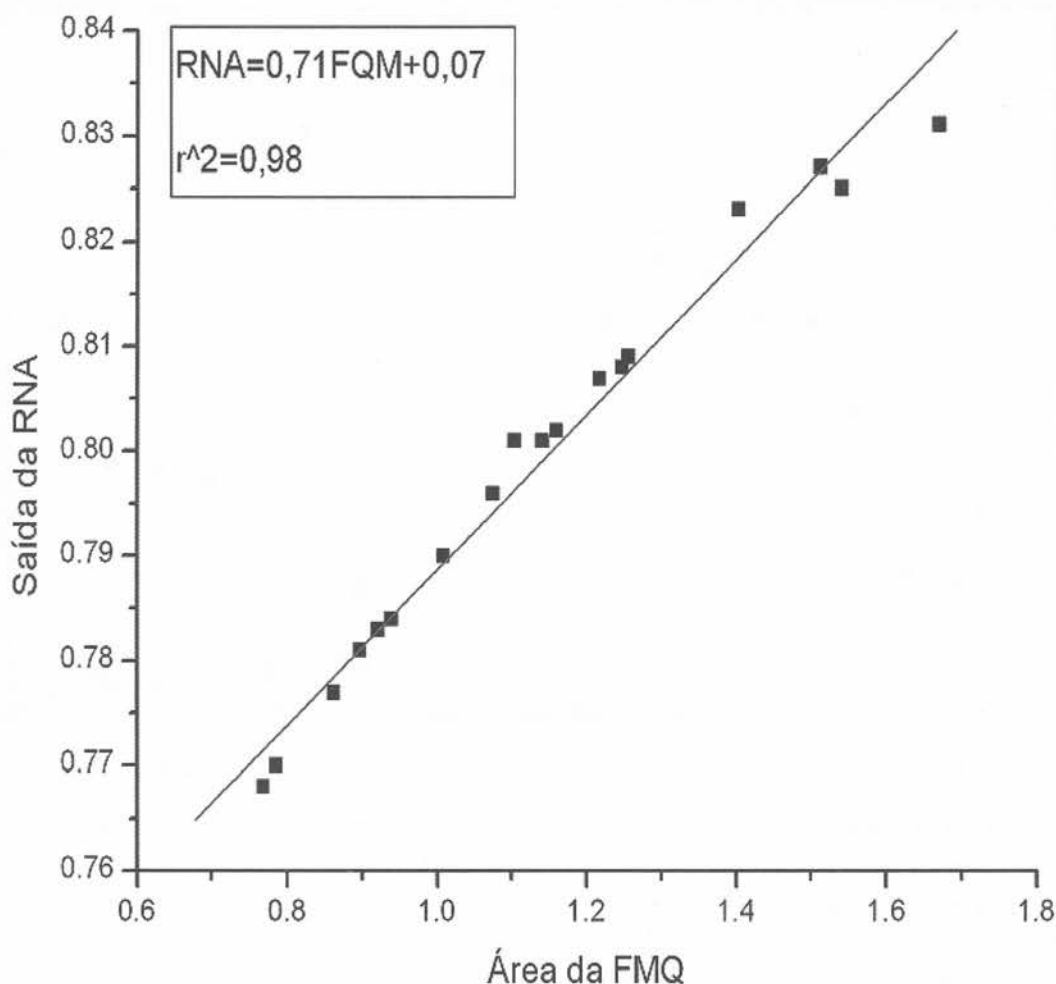


Figura 9 – Correlação dos parâmetros de qualidade da RNA com as áreas das FMQ

gotas (Ng). O resultado obtido garantiu a precisão do parâmetro de qualidade da pulverização. Pode-se avaliar a qualidade da pulverização com a análise multiparametral, envolvendo o estabelecimento de um polígono denominado figura de mérito de qualidade FMQ, inscrito em um círculo de raio unitário, onde os vértices da figura foram formados pelos descritores que compõem o vetor qualidade. Em função das áreas das FMQ, estabeleceu-se o parâmetro de qualidade da pulverização A_{FMQ} . Para automatizar o processo de avaliação, utilizou-se uma rede neural do tipo *backpropagation*, devido às suas características de reconhecimento de padrões, detecção de regularidades e extração de informações apresentadas de forma não explícita. A rede neural foi configurada em função do vetor qualidade de entrada e do parâmetro de qualidade da saída. Os resultados obtidos foram então comparados com as análises realizadas com base na A_{FMQ} . Verificou-se o mesmo padrão de variação, confirmando a aplicabilidade do método para automatização da análise do processo de pulverização agrícola, em termos de sua eficácia e confiabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. Disponível em: <www.undef.com.br/aplicação 2003>.
- BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. C.; LUDERMIR, T. B. *Redes neurais artificiais teoria e aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000.
- CHRISTOFOLETTI, J. C., Pulverização ou Aplicação? In: *Boletim Técnico* BT01/99. São Paulo: Teejet South América, p. 2-5, 1999.
- CRUVINEL, P. E. et al. An automatic method based on image processing for measurements of drop size distribution from agricultural sprinklers. *Simpósio brasileiro de computação gráfica e processamento de imagens*, vol. 9, SBC/UFMG, Caxambu, MG, 1996, p. 39- 46.
- CRUVINEL, P. E. et al. Image processing in automated measurements of raindrop size and distribution. *Computers and electronics in agriculture*. Amsterdam, p. 205-217, 1999.
- CRUVINEL, P. E. et al. Metodologia para o mapeamento georeferenciado da aplicação de chuva artificial em área de plantio com base no uso de visão computacional. *3º Simpósio internacional de agricultura de precisão – SIAP 2005 – Sete Lagoas MG*, 16 a 18 ago. 2005.
- EIGEL, J. D.; MORE, I. D. A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. *Transactions of the ASAE* 26, p. 1079-1084, 1983.
- LOBO Jr., M. I. *Deriva nas aplicações de defensivos agrícolas*. Disponível em: <www.Pulverizador.com.br>. Acesso em junho 2005.
- MARTINEZ, A. C. *Um novo método para medidas de gotas de chuva com técnicas do processamento digitais* – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos, 2002.
- MATHEWS, G.A. *Pesticides application methods*. London: Butler & Tanner, 1979.
- ROELS, J. M. Personal communication. Utrecht, Netherlands: Lab. Physical Geography. Geographical Institut, 1981.

DESENVOLVIMENTO DE UM MANIPULADOR ELETROPNEUMÁTICO E DE UMA CÉLULA DE MANUFATURA ROBOTIZADA DIDÁTICA

José Francisco Ferreira de Oliveira

Mestre em Engenharia Mecânica - Unitau

Professor do CEFET-SP

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um manipulador eletropneumático com três graus de liberdade e de uma célula de manufatura robotizada didática. Ambos serão implementados no laboratório de robótica dos cursos de Tecnologia em Automação Industrial e Processos de Produção do Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo. O manipulador é composto por uma base giratória, dois membros e uma garra. A célula de manufatura é composta pelo manipulador eletropneumático, uma esteira transportadora, um robô com seis graus de liberdade e uma interface com dois microcomputadores. O manipulador e a célula serão controlados por um controlador lógico programável. Este manipulador e esta célula são sistemas abertos de simples configuração e envolvem várias tecnologias, permitindo a execução de diversas tarefas e processos. O resultado obtido foi a integração completa deste sistema didático com os demais equipamentos do laboratório de robótica, contribuindo para o desenvolvimento multidisciplinar e proporcionando aos alunos uma visão sistêmica compatível com a realidade atual.

Palavras-chave: Manipulador eletropneumático; célula de manufatura didática.

The objective of this work is the development of an electric pneumatic manipulator with 3 degrees of freedom and the development of a didactic cell of robotic manufacture. Both equipments will be implemented in the robotics laboratory of the Technology in Industrial Automation Course and Processes of Production Course, running at Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo (Technological Education Federal Center of São Paulo). A revolving base, two members and a claw composes the manipulator. The manufacture cell is composed by the electric pneumatic manipulator, a transporting mat, a robot with six degrees of freedom and an interface with two microcomputers. The manipulator and the cell will be controlled by a programmable logical controller. This manipulator and this cell are open systems of simple configuration and involve several technologies, allowing the execution of many tasks and processes. The obtained result was the complete integration of this didactic system with the other equipment of the robotics laboratory, contributing for the multidisciplinary development and providing to the learners a compatible systemic vision with the current reality.

Key-words: Electric pneumatic manipulator; manufacture didactic cell.

INTRODUÇÃO

Durante a última década observou-se uma intensificação do processo de internacionalização das economias capitalistas, fato este denominado de

“globalização”. O aumento da produtividade, a melhoria da qualidade, a variedade de produtos gerados, a produção em pequenos lotes e a redução de custo de produção são características desse processo globalizado. Algumas de suas características são a enorme

integração dos mercados financeiros mundiais e o crescimento do comércio internacional, principalmente dentro dos grandes blocos econômicos.

Os parques industriais nacionais e internacionais esforçam-se para atender aos requisitos fundamentais à sua sobrevivência no mundo globalizado, e a automação surge como um conceito capaz de adequar esses requisitos aos exigidos pelo mercado. A automação é o principal meio capaz de alcançar a qualidade, custos, prazos de entrega e conseqüente competitividade. Para serem bem-sucedidos, os sistemas de automação necessitam ser implementados adequadamente; serem flexíveis e confiáveis. Muitos sistemas de automação falharam no passado devido à implementação parcial, às deficiências no conhecimento da tecnologia e a erros operacionais em sua implantação. Muitas empresas não conseguem investir adequadamente em treinamento, pois não podem esperar um ou dois anos para que a mão-de-obra se torne produtiva e se integre à sua força de trabalho. Em conseqüência, as empresas buscam para seus quadros uma mão-de-obra que atenda às suas expectativas.

As transformações ocorridas no processo produtivo desde o advento da automação são constantes e necessárias para a sobrevivência das empresas, assim como a atualização e a diversificação dos seus produtos tornaram-se uma regra nos processos globalizados.

Os sistemas de manufaturas programáveis e flexíveis há muito tempo tornaram-se objeto de interesse das indústrias no mercado contemporâneo, devido à busca constante de melhoria técnica, visando ao aumento de flexibilidade, bem como ao crescimento da competitividade ao longo destes últimos anos. A necessidade enfrentada pelas indústrias em investir rapidamente em automação, a fim de fazer frente à inserção cada vez maior de um grande número de novas tecnologias, promoveu a mudança das características dos postos de trabalho e o surgimento de novas atividades funcionais.

Este fato acarretou transformações nos empregos tradicionais e principalmente naqueles relacionados diretamente com os processos de automação.

Em muitas aplicações industriais a vantagem da automação tornou-se evidente, exigindo, cada vez mais, profissionais qualificados para o exercício em diversas funções, e isto, naturalmente, causou um afunilamento de empregos neste setor.

As tarefas repetitivas, principalmente aquelas de processamento de materiais, podem ser realizadas pelas máquinas automáticas com grande repetibilidade. O transporte, o manuseio e a alimentação das máquinas também foram automatizados. Até mesmo os procedimentos de inspeção dos produtos estão sendo, cada vez mais, realizados automaticamente e integrados aos processos de manufatura. Os operadores passam a trabalhar em células de manufatura, ficando responsáveis por funções de supervisão destes sistemas, em vez de operar máquinas de modo individual como ocorria anteriormente.

Neste contexto, torna-se imperativo haver uma boa capacitação da força de trabalho, para que ela esteja apta a implementar os modernos sistemas industriais, compreender suas tecnologias e suas tendências desde o início de sua implantação, habilitando as empresas a serem competitivas no mercado contemporâneo. Quanto ao profissional de automação, atualmente exige-se que tenha formação multidisciplinar, visão sistêmica e conhecimentos de sistemas integrados de manufatura.

Torna-se necessário que esta capacitação seja realizada também no meio acadêmico e por meio de formação educacional sintonizada com as necessidades do mundo do trabalho.

Preocupado com estas questões, o Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo (CEFET-SP) resolveu investir na modernização e diversificação de seus cursos, introduzindo modalidades na área da tecnologia industrial, a saber: Processos de Produção e Usinagem, Automação Industrial

e Eletrônica de Sistemas Digitais. Como consequência da infra-estrutura necessária, uma das ações implantadas foi o incentivo ao desenvolvimento de um manipulador eletropneumático e o de uma célula de manufatura robotizada didática, objetos deste trabalho.

O manipulador eletropneumático possuirá três graus de liberdade (ME3) e será comandado por um CLP por meio de válvulas solenóides e integrado a uma esteira transportadora e a um outro robô (com seis graus de liberdade). O conjunto, assim composto, será gerenciado por dois computadores, constituindo desta forma uma célula de manufatura robotizada didática. A utilização deste conjunto possibilitará aos alunos o contato e a integração com diversas tecnologias de automação, e, ainda, por apresentar um sistema aberto, permitirá a realização de diferentes configurações, estimulando a realização de atividades em

Material	ρ (N/m ³)	E (MPa)	$\rho/E \times 10^{-1}$
Aço	$7,64 \times 10^4$	$2,1 \times 10^5$	3,64
Alumínio	$2,65 \times 10^4$	$7,0 \times 10^4$	3,79
Fibra de carbono	$1,27 \times 10^4$	$6,3 \times 10^4$	2,02

Tabela 1 – Materiais apropriados para construção mecânica leve

grupo e o desenvolvimento de visão sistêmica dos processos de automação.

DESENVOLVIMENTO

O manipulador eletropneumático (ME3) foi desenvolvido com três graus de liberdade e seus membros foram construídos em alumínio, em função da boa relação peso/potência deste material. Quando o critério de dimensionamento de uma peça é a rigidez, então o melhor material para minimizar o peso é aquele que possuir a menor relação (r/E),

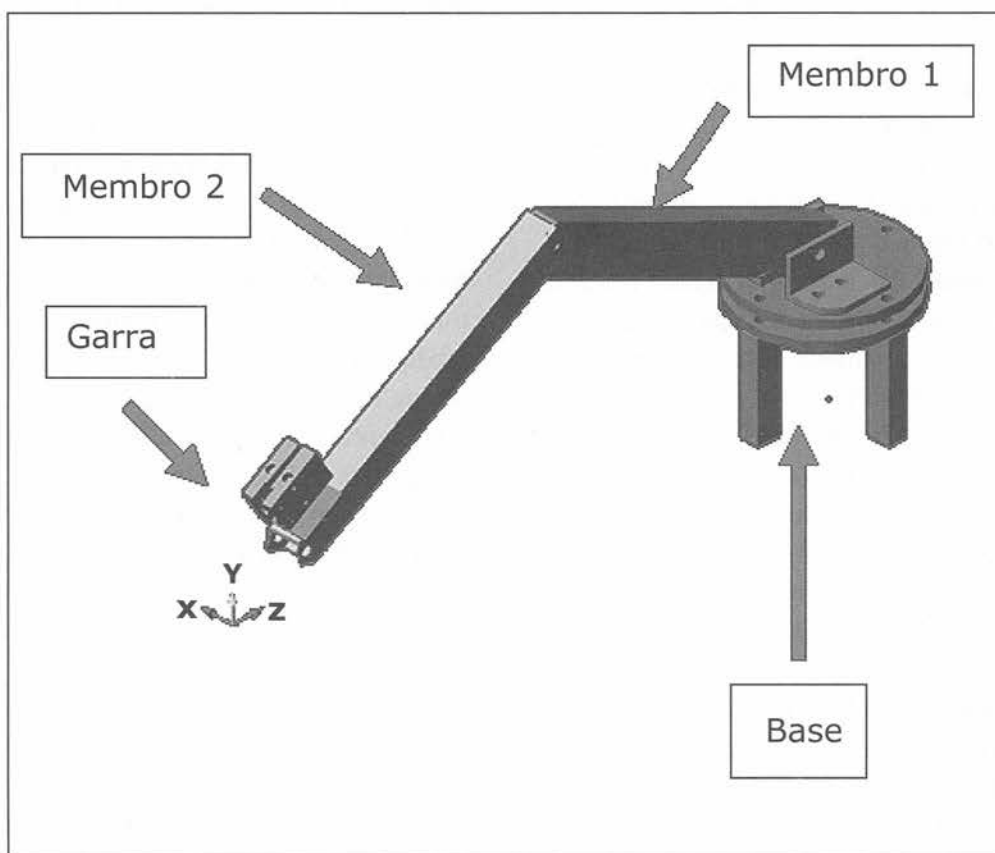


Figura 1 – Manipulador eletropneumático ME3
 Altura da base 1 150mm
 Ângulo de giro da base 0° a 110°

Comprimento do membro 1 300mm
 Comprimento do membro 2 284mm
 Comprimento do efetuador 100mm

em que r é a densidade do material e E o módulo de elasticidade. Entretanto, quando o critério é a resistência, então o melhor material é o que possuir a menor relação r/s_r , em que s_r é a tensão de ruptura. A Tabela 1 apresenta os valores da densidade, módulo de elasticidade, e a relação r/E para os materiais utilizados habitualmente em projetos mecânicos.

Denota-se, na Tabela 1, que o melhor material para minimizar o peso, de acordo com o critério adotado no desenvolvimento do projeto, seria a fibra de carbono, mas, devido ao seu alto preço, foi descartada a sua utilização. Optou-se então pelo alumínio, por ter uma melhor relação custo/benefício, comparado ao aço, já que a relação (r/E) de ambos é muito próxima. A fibra de carbono é aproximadamente 55 % mais leve que o aço e 53 % mais leve que o duralumínio.

Na Figura 1 é mostrada a estrutura do ME3 a ser desenvolvida para utilização na célula de manufatura didática (CMRD).

DESCRIÇÃO DE ME3

O ME3 é composto por uma base giratória, o membro 1, o membro 2 e um efetuator com as seguintes características:

A base giratória, o primeiro grau de liberdade (GLD) do robô manipulador eletropneumático antropomórfico, denominado

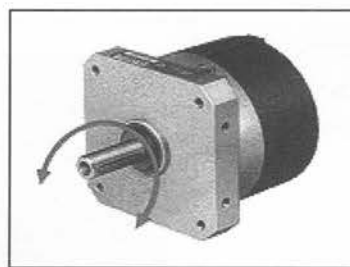


Figura 2 – Base do ME3

de ME3, é constituído por um cilindro rotativo de dupla ação de ângulo de giro, variando de 0 a 272°. A Figura 2 mostra a base do ME3.

A seguir, a Tabela 2 do fabricante Festo® mostra as características da base do ME3.

Mostra-se em destaque, na Tabela 2, as características do modelo da base utilizada na montagem do ME3: o diâmetro é de 25 [mm] com um torque de 5 [N.m], uma força radial admissível de 120 [N], uma força axial admissível de 50 [N], com uma pressão máxima de trabalho de 10 [Bar]. Essas características atendem plenamente às necessidades do projeto. Este modelo DSM 270 P da Festo© pode trabalhar com ou sem lubrificação.

No projeto utiliza-se, para deslocamento do membro 1, um atuador linear de dupla ação com um diâmetro de 16 mm e de comprimento máximo da haste de 80 [mm].

A Figura 3 mostra o membro 1 com seus sensores magnéticos de fim de curso e válvulas reguladoras de fluxo unidirecionais (VRF).

Os sensores magnéticos do membro 1

	Diâmetro do Atuador [mm]				
	12	16	25	32	40
Ângulo de giro	0 a 272°				
Torque [N.m]	1,25	2,5	5	10	20
Força radial [N] admissível sobre o eixo de acionamento	45	75	120	200	380
Força axial [N] admissível sobre o eixo de acionamento	18	30	50	75	120
Pressão de trabalho [Bar]	2 a 10	1,5 a 10	1,5 a 10	1,5 a 10	1,5 a 10

Tabela 2 – Características do cilindro rotativo de dupla ação do ME3

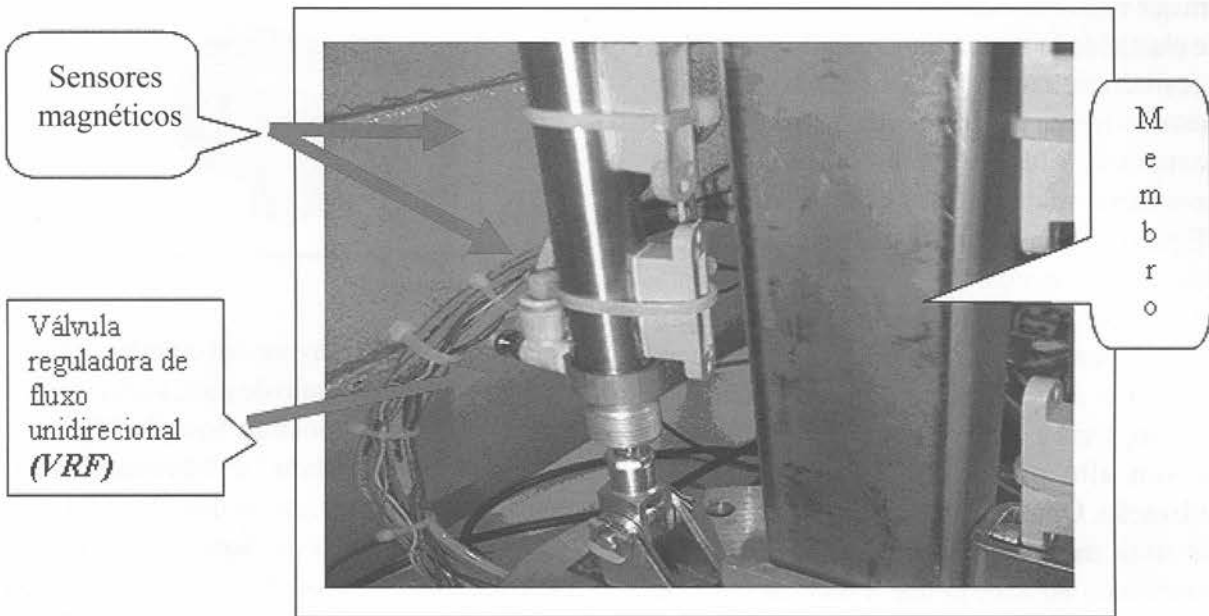


Figura 3 - Atuator de dupla ação, sensores magnéticos e VRF

detectam somente dois estados possíveis quando o atuador está parado recuado e quando o atuador está parado avançado.

As válvulas reguladoras de fluxo unidirecionais têm como finalidade ajustar a velocidade de atuação dos cilindros lineares, ou a rotação de giro da base dos atuadores rotativos. A válvula de retenção bloqueia a passagem em uma direção e o ar pode fluir somente através da secção regulável. A Figura 4 demonstra a válvula reguladora de fluxo unidirecional e sua simbologia.

Para movimentação do membro 2 utilizou-se um atuador linear de dupla ação

com um diâmetro de 12 [mm] e o comprimento máximo da haste de 80 [mm]. Os sensores magnéticos do membro 2 são acionados somente quando o atuador está parado recuado ou quando está parado avançado. A Figura 5 mostra o membro 2 com seus sensores magnéticos de fim de curso e suas válvulas reguladoras de fluxo unidirecional.

As características dimensionais dos membros 1 e 2 encontram-se na tabela do fabricante, com dados específicos de cada atuador utilizado no projeto.

O efetuador é a extremidade terminal do manipulador. Ele promove a interação entre

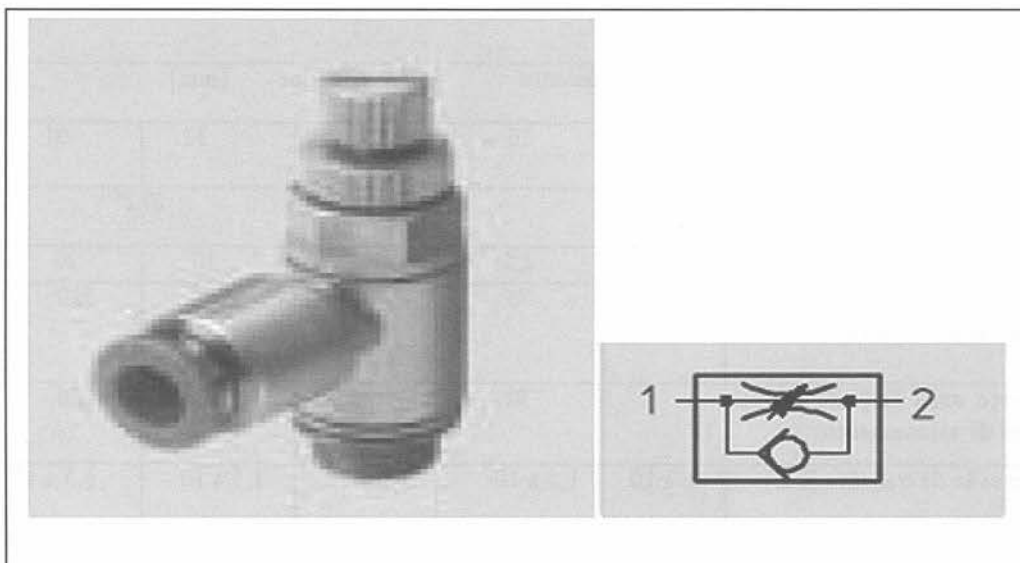


Figura 4 - Válvula reguladora de fluxo VRF

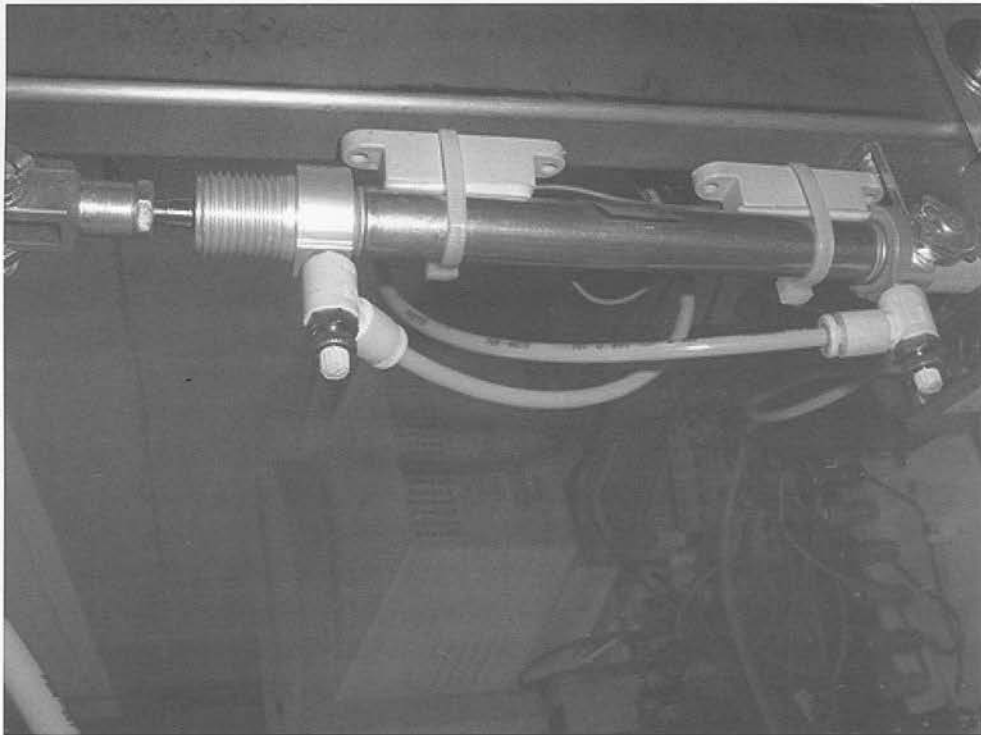


Figura 5 - Atuador do membro 2 e seus sensores magnéticos

o robô e o objeto a ser manipulado. Os efetadores são divididos em dois grandes tipos: ferramentas especiais e garras mecânicas. O efetador do ME3 (garra) é um atuador de dupla ação do modelo SVC MHC2 com pressão variando de 0,1 a 0,6 [MPa]. O efetador utilizado no projeto é demonstrado na Figura 6.

O efetador é acionado através da válvula de controle direcional (VCD) 4 vias x 3 posições de retorno por mola. Em seu estado de repouso o efetador é normalmente aberto,

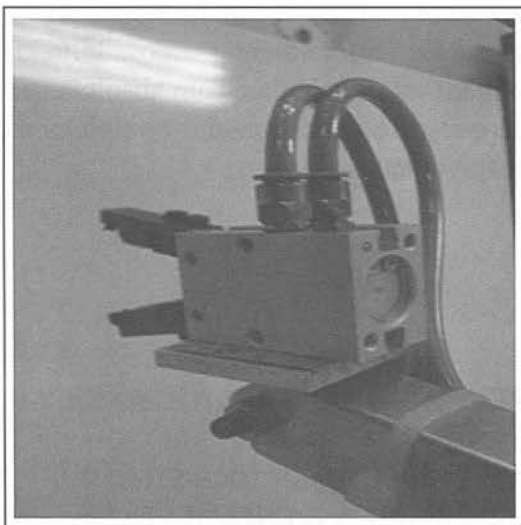


Figura 6 - Efetuador utilizado no projeto do ME3

uma vez acionado fecha sua garra e fixa o objeto a ser manipulado.

IMPLEMENTAÇÃO DO ME3 NO LABORATÓRIO DE ROBÓTICA

O ME3, juntamente com o mentor e a esteira, disponibilizam mais uma interessante opção de trabalho no laboratório, no desenvolvimento das atividades didáticas, criando uma gama de possibilidades novas com uma característica diferenciada, pois agora, para a criação das manobras na célula de manufatura flexível, são necessários também conhecimentos adquiridos nos laboratórios anteriores, integrando assim as seguintes disciplinas: Clp, eletropneumática e pneumática, além do conhecimento da utilização do *software* que controle Walli.

A proposta de elaboração de novas tarefas juntamente com os alunos, despertando a criatividade e o espírito de trabalho em grupo, está sendo recebida por eles com muita satisfação. A Figura 7 mostra um destes momentos de desenvolvimento de tarefas na nova célula, juntamente com os alunos, no laboratório de robótica.

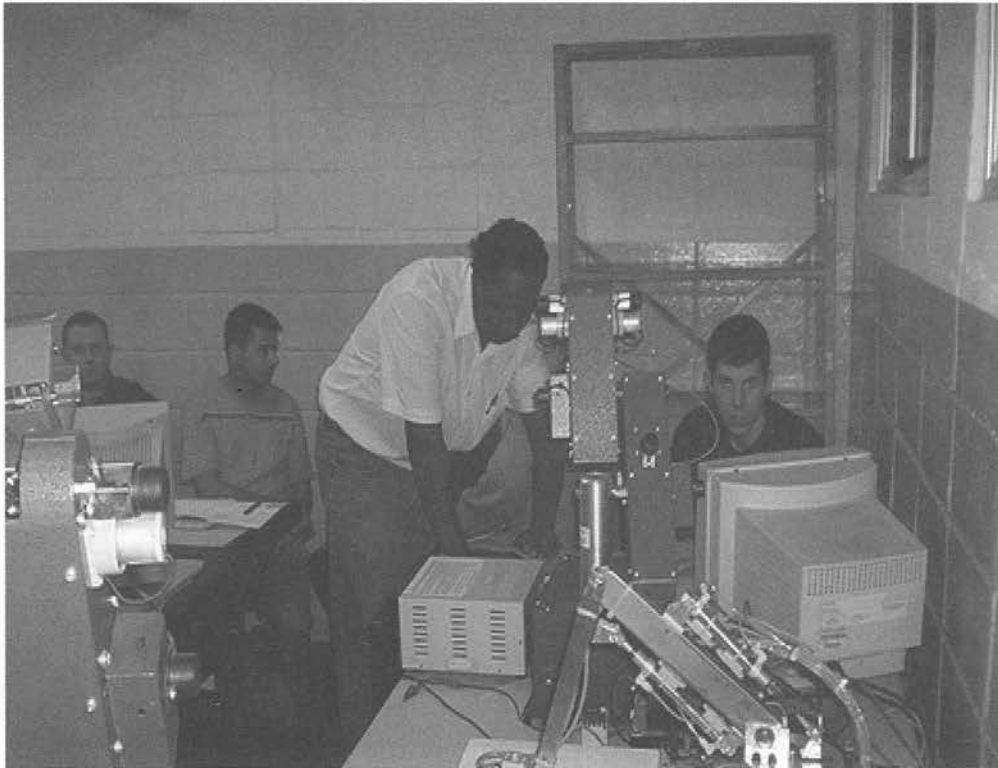


Figura 7 – Aula prática no Laboratório de Robótica

CONCLUSÃO

Os sistemas avançados de manufaturas têm sido apontados como um dos fatores-chave para o desenvolvimento industrial de qualquer país. A construção e implementação de uma célula de manufatura flexível didática em muito contribui para o desenvolvimento profissional de todos os envolvidos neste processo.

O processo educacional é bastante dinâmico e envolve áreas diferenciadas, cada qual com seu saber específico; a integração de áreas de conhecimentos sempre foi um objetivo do processo de formação educacional. Um dos pontos a ressaltar em nossa proposta de trabalho é justamente a integração de áreas até então estanques, abrindo a possibilidade de que, num futuro próximo, possamos integrar em torno de um único projeto um número cada vez maior de áreas, sempre com o objetivo de aprimorar a formação dos alunos.

Há um certo consenso, quando se

discute avanço tecnológico, de que a implantação de robôs nas indústrias é uma via de mão única que cresce em ritmo acelerado. O trabalho em equipe para o desenvolvimento de novas tarefas na célula de manufatura flexível também em muito contribui para a formação destes futuros profissionais, estimulando-lhes a criatividade.

Para trabalhos futuros poderíamos apontar para a possibilidade de substituir o controle da base giratória do MP3, trocando o atuador rotativo de dupla ação por um motor de passo, para aumentar a possibilidade de paradas intermediárias, com absoluta certeza de que esse procedimento complementaria positivamente o projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
HIDRÁULICA E PNEUMÁTICA.
Coletânea de artigos técnicos: hidráulica e

pneumática. Vol 1, 1995.

BOLTON, W. *Engenharia de controle*. São Paulo: Makron Brooks do Brasil, 1995.

BOLLMANN, A. *Fundamentos da automação industrial pneumática*. São Paulo: Associação Brasileira de Hidráulica e Pneumática, 1997.

BONACORSO, N.G.; NÖLL, V. *Automação eletropneumática*. São Paulo: Érica, 1997.

MEIXNER, H.; SAUER, E. *Introdução a sistemas eletropneumáticos*. Festo Didactic, Brasil, 1996

MELCONIAN, S. *Mecânica técnica e resistência dos materiais*. São Paulo: Érica, 1993

MERKLE, D.; RUPP, K.; SCHOLZ, D. *Electro-hydraulics*. Festo Didactic, KG, 1994

MORAES, C.C.; CASTRUCCI, P.L. *Engenharia de automação industrial*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001

NATALE, F. *Automação industrial*. 4. ed. São Paulo: Érica, 2000

PAZOS, F. *Automação de sistema e robótica*. Axcel Books do Brasil, 2002

ROMANO, V.F. *Robótica industrial*. São Paulo: Edgard Blücher, 2002

SILVEIRA, P.R.; SANTOS, W.E. *Automação e controle discreto*. 6.ed. São Paulo: Érica, 2004

A LÓGICA FUZZY APLICADA AO CONTROLE DE TEMPERATURA EM FORNOS A GÁS

Silvana Bueno Gomes

Mestra em Engenharia Mecânica

Subárea de Automação Industrial e Robótica pela UNITAU

Professora da Área de Mecânica do CEFET-SP

Este artigo apresenta um trabalho sobre a aplicação da lógica fuzzy para controle automático de temperatura em fornos a gás e a comparação de seu desempenho com os controladores convencionais utilizados para estes fornos.

Através de uma simulação será feita a análise da aplicação do controlador com lógica fuzzy utilizando-se da ferramenta Simulink do programa Matlab.

Palavras-chave: Controlador; lógica fuzzy.

This article presents a research on the application of the fuzzy logic for the automatic control of temperature in gas ovens and the comparison of its performance with the conventional controllers used in these ovens.

Through a simulation, the analysis of the fuzzy logic controller application will be done using the Simulink tool of the software Matlab.

Key-words: Controller; fuzzy logic.

INTRODUÇÃO

Atualmente a economia é uma grande preocupação mundial e envolve vários aspectos: tempo, energia, matéria-prima, mão-de-obra e principalmente custos.

Para atender todas as necessidades exigidas pelo consumidor e pelo controle da qualidade, é necessário que as indústrias utilizem equipamentos cada vez mais sofisticados, e este artigo apresenta um trabalho que trata de um desses tipos de equipamentos: os controladores.

Neste caso o foco é o controle inteligente que leva em consideração o conhecimento de humanos especializados na implantação e melhoria do controle de temperatura em fornos alimentados a gás natural ou GLP.

A maior parte dos fornos disponíveis no mercado, principalmente os de uso doméstico, não apresentam um controle de temperatura baseado no conhecimento dos usuários e as melhores soluções para o processo (receita), principalmente em termos

de qualidade de cozimento, levando-se em curto prazo à queima de nutrientes, queima heterogênea, sabor, etc.

METODOLOGIA

Neste trabalho foram executadas duas experiências: prática e teórica. Na prática, foram coletadas temperaturas adquiridas em um forno convencional a gás para se chegar à curva de elevação de temperatura. No total foram feitas cinco medições que poderão ser observadas na tabela 1.

A tabela desta experiência mostra que as temperaturas coletadas e o tempo de espera para a estabilização da temperatura na parte interna da câmara do forno variam a cada medição. Essa variação é influenciada pela quantidade de gás existente no botijão, interferindo assim na pressão aplicada à entrada desse gás na tubulação.

Na experiência teórica, tirou-se a média das cinco medições feitas na experiência prática e em seguida fez-se o gráfico da curva teórica da elevação de temperatura em função

Tabela 1 – Valores adquiridos a partir das medições do ensaio prático

Tempo (s)	Temperaturas coletadas (°C)					T.média (°C)	Desvio padrão	%	Curva teórica
	20	23	25	25	25				
0	20	23	25	25	25	24	2	9%	0
120	150	144	200	150	142	157	24	15%	78
240	208	190	238	210	186	206	21	10%	142
360	250	234	284	250	232	250	21	8%	196
480	284	270	300	286	278	284	11	4%	240
600	316	300	314	316	306	310	7	2%	277
720	336	324	338	336	338	334	6	2%	308
840	355	342	356	352	342	349	7	2%	334
960	368	356	368	366	358	363	6	2%	355
1080	374	364	378	378	370	373	6	2%	373
1200	380	378	384	388	380	382	4	1%	387
1320	385	386	394	396	388	390	5	1%	400
1440	390	393	400	402	394	396	5	1%	410
1560	396	396	406	408	400	401	6	1%	418
1680	402	404	410	412	404	406	4	1%	425
1800	406	408	414	416	409	411	4	1%	431
1920	410	411	418	420	412	414	4	1%	436
2040	412	414	420	422	416	417	4	1%	440
2160	416	418	422	424	418	420	3	1%	443
2280	420	420	422	426	420	422	3	1%	446
2400	424	422	425	428	422	424	2	1%	449
2520	426	424	458	429	423	432	15	3%	450
2640	430	429	468	430	424	436	18	4%	452
2760	432	432	472	432	425	439	19	4%	453
2880	434	435	474	433	426	440	19	4%	455
3000	437	438	474	434	427	442	18	4%	455
3120	440	440	476	435	428	444	19	4%	456
3240	442	448	478	436	429	447	19	4%	457
3360	444	452	480	436	429	448	20	4%	457
3480	446	458	478	437	429	450	19	4%	458
3600	447	462	480	437	430	451	20	4%	458
3720	449	466	480	438	430	453	20	5%	458
3840	451	466	480	438	430	453	20	4%	459
3960	454	470	480	438	432	455	20	4%	459
4080	457	471	480	438	432	456	21	5%	459
4200	458	471	480	438	432	456	21	5%	459
4320	460	472	480	438	433	457	21	5%	459
4440	462	472	480	439	433	457	20	4%	460
4560	464	472	480	440	434	458	20	4%	460
4680	465	473	480	440	434	458	20	4%	460
4800	465	474	480	439	434	458	21	5%	460
4920	466	474	480	440	434	459	21	4%	460
5040	470	474	480	440	434	460	21	5%	460
5160	470	474	480	440	434	460	21	5%	460
5280	469	474	480	440	434	459	21	5%	460
5400	470	474	480	440	434	460	21	5%	460
5520	470	474	480	440	434	460	21	5%	460
5640	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
5760	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
5880	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
6000	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
6120	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
6240	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
6360	470	474	480	440	435	460	21	5%	460
Variação média em porcentagem								4%	

do tempo da média adquirida, como mostra a Figura 1.1, em que se podem observar os pontos adquiridos através da variação média em porcentagem que girou em torno de 4%, conforme a Tabela 1.

Ainda na Figura 1.1, pode-se observar que a curva teórica de elevação de temperatura do forno, adquirida através da experiência prática, apresentou um valor empírico de $\tau = 650$ referente à equação de elevação de temperatura em sistemas térmicos (Weedy, 1979), pois este foi o valor mais aproximado de porcentagem da margem de erro da curva adquirida pelas medições.

Os pontos apresentados no gráfico representam o comportamento do sistema conseguido pelas medições no forno.

Em seguida, utilizando os dados obtidos, fez-se a simulação na ferramenta Simulink (Matsumoto, 2002) do *software* Matlab (Hanselman, 2003), aplicando-se controladores do tipo convencional e os que utilizam a lógica nebulosa, também conhecida como lógica fuzzy. Após a simulação fez-se a análise do comportamento do forno e a comparação entre os controladores para se chegar ao melhor desempenho

Pelos dados adquiridos nas medições, observou-se que a temperatura média ambiente foi de 24 °C, e a temperatura se estabilizou em 5040 segundos com uma temperatura de 460 °C. Portanto a equação de elevação de temperatura fica:

$$\theta_f = 24^\circ + 460^\circ \left[1 - e^{-\frac{t}{650}} \right] \quad (1.1)$$

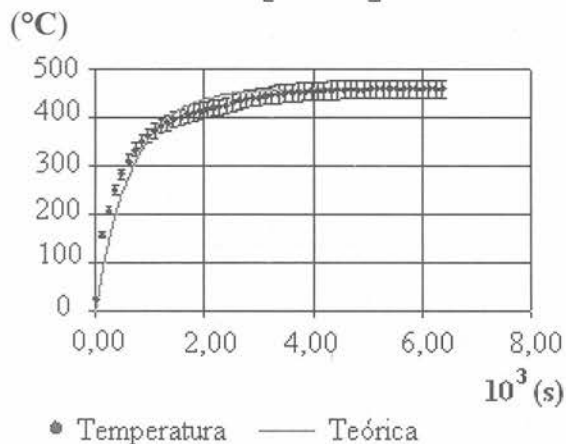


Figura 1.1 – Curva de elevação de temperatura

Com relação à simulação feita no Simulink do Matlab, a primeira, com base nos dados adquiridos na medição do forno, levando em consideração seu controle convencional, foi feita no domínio do tempo (Figura 1.2) seguida pelo domínio da frequência (Figura 1.3). Após isso, foi introduzido um controlador PI (Bega, 1989) (Figura 1.4). O comportamento dessas simulações pode ser observado nas imagens captadas das telas do simulador e são mostradas nas Figuras 1.5, 1.6, 1.7.

Após a observação do comportamento do controle convencional do forno, o sistema foi simulado introduzindo-se na malha um controlador PI analógico, com servomotor de corrente alternada (Sen, 1997), acompanhado de um servoamplificador e um termopar. A malha de controle deste sistema é apresentada na Figura 1.8.

Após a simulação, foi observado o comportamento do sistema visto na malha da Figura 1.8, a partir dos *scopes* do erro, da saída do controlador, da temperatura de saída e da realimentação. As imagens desses *scopes* podem ser vistas nas Figuras 1.9, 1.10, 1.11 e 1.12.

Depois do sistema analógico, fez-se então a simulação com o controlador fuzzy (Reis, 2002). As regras utilizadas para esta simulação foram as do tipo “if-then”,

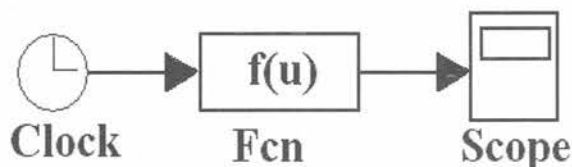


Figura 1.2 – Função no domínio do tempo

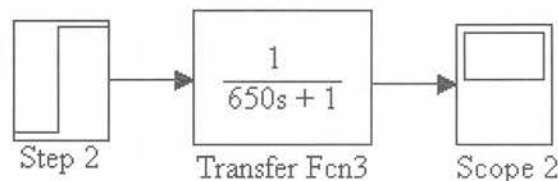


Figura 1.3 – Função de transferência no domínio da frequência

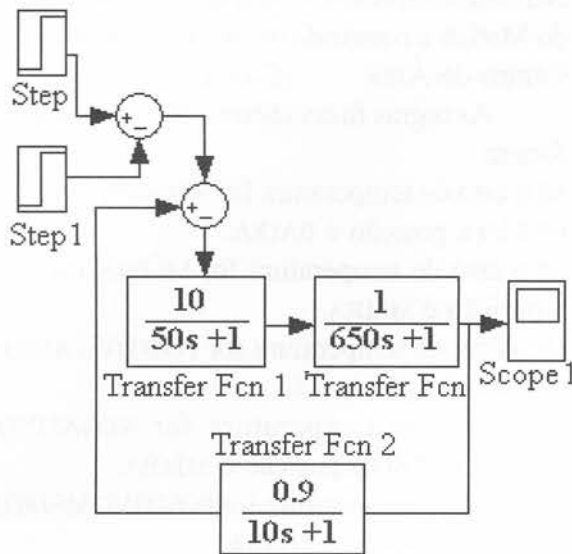


Figura 1.4 – Malha com aplicação de controlador PI

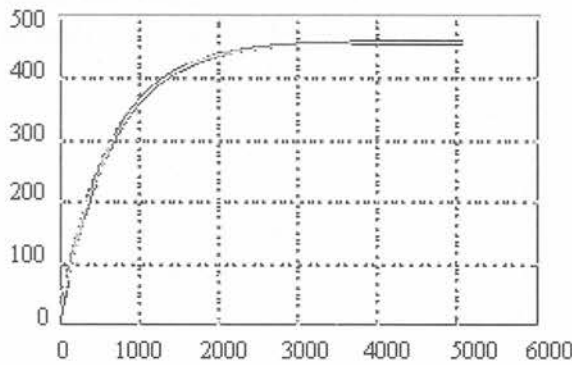


Figura 1.5 – Curva de resposta no domínio do tempo

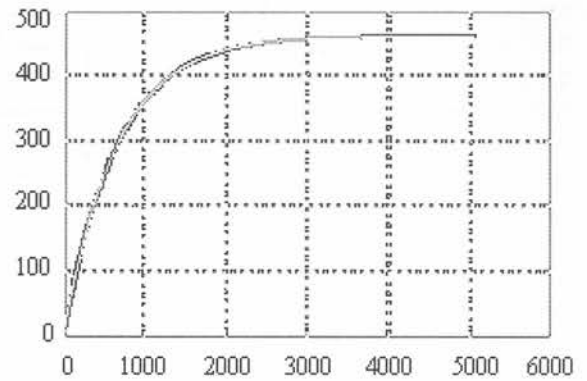


Figura 1.6 – Curva de resposta no domínio da frequência

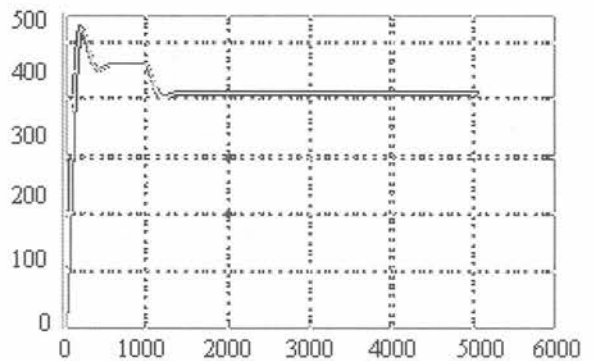


Figura 1.7 – Curva de elevação de temperatura após introdução do controlador PI

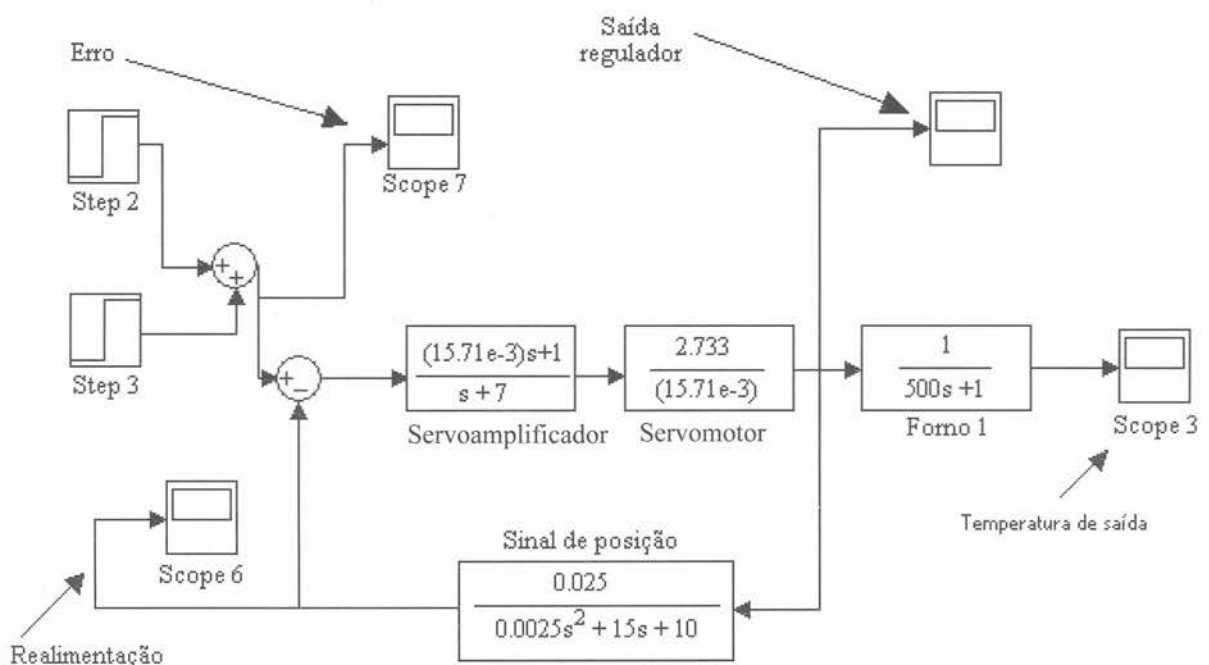


Figura 1.8 – Modelo em malha aberta do atuador (servomotor) e forno (planta)

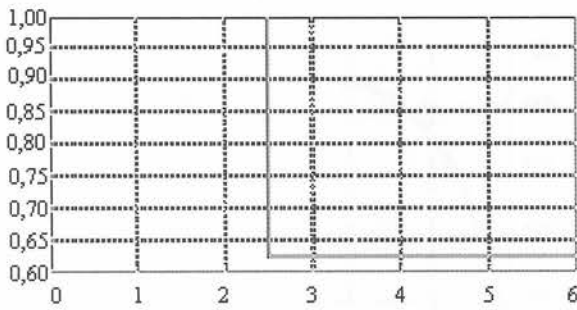


Figura 1.9 – Imagem captada da resposta do erro na simulação

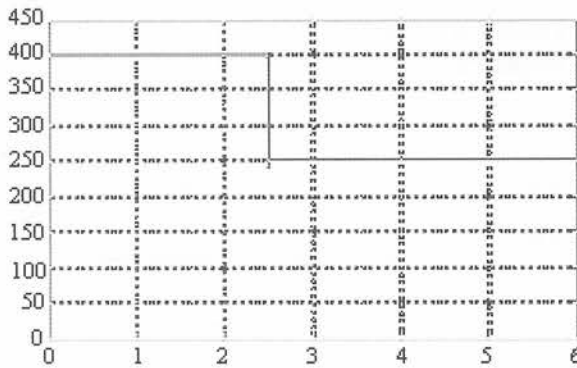


Figura 1.10 – Imagem da saída do regulador na simulação

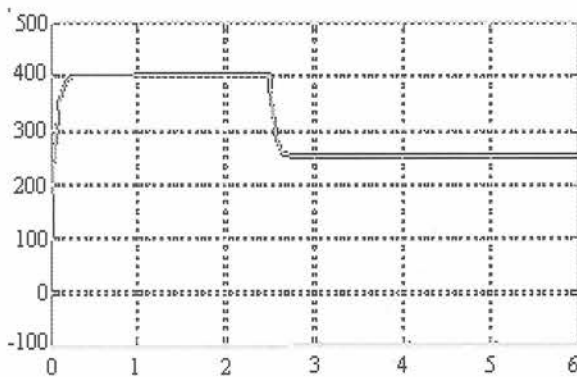


Figura 1.11 – Imagem captada do comportamento da temperatura na simulação

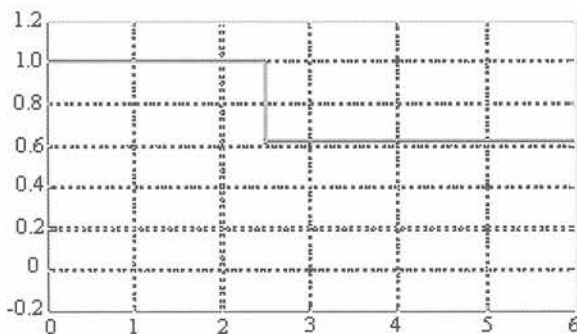


Figura 1.12 – Imagem captada do sinal de realimentação

elaboradas no editor de regras do *toolbox* fuzzy do Matlab e o método de defuzzificação foi o Centro-de-Área (C-o-A).

As regras fuzzy (Shaw, 2001) utilizadas foram:

SE o erro de temperatura for NEGATIVO ALTO, ENTÃO a posição é BAIXA.

SE o erro de temperatura for MÉDIO, ENTÃO a posição é MÉDIA.

SE o erro de temperatura for POSITIVO ALTO, ENTÃO posição é ALTA.

SE o erro de temperatura for NEGATIVO MÉDIO, ENTÃO a posição é MÉDIA.

SE o erro de temperatura for POSITIVO MÉDIO, ENTÃO a posição é MÉDIA.

A partir da introdução das regras, foram determinadas as funções de pertinência para as variáveis de entrada e saída do controlador fuzzy, que podem ser observadas no editor de funções de pertinência fuzzy das Figuras 1.13 e 1.14.

O mapa de regras está demonstrado na Figura 1.15 e a malha de controle desta simulação está ilustrada na Figura 1.16. A função de pertinência utilizada foi do tipo triangular.

Este sistema utiliza um controlador baseado em lógica fuzzy com uma entrada e uma saída, em que o erro de temperatura é a variável lingüística de entrada e a posição é a variável lingüística de saída, como pode ser observado pelas regras vistas anteriormente. A Figura 1.17 apresenta a malha de controle que foi montada para melhor se observar e comparar o resultado final entre os sistemas fuzzy e analógico. Na Figura 1.18 pode-se observar então o resultado dessa comparação entre o comportamento dos dois controladores. Também se pode observar, na Figura 1.19, a imagem captada do sinal nos controladores fuzzy e analógico. A Figura 1.20 ilustra a imagem captada do erro dos controladores fuzzy e analógico. Já a Figura 1.21 ilustra as imagens captadas da realimentação do controlador analógico e da saída de temperatura do controlador fuzzy.

FIGURAS

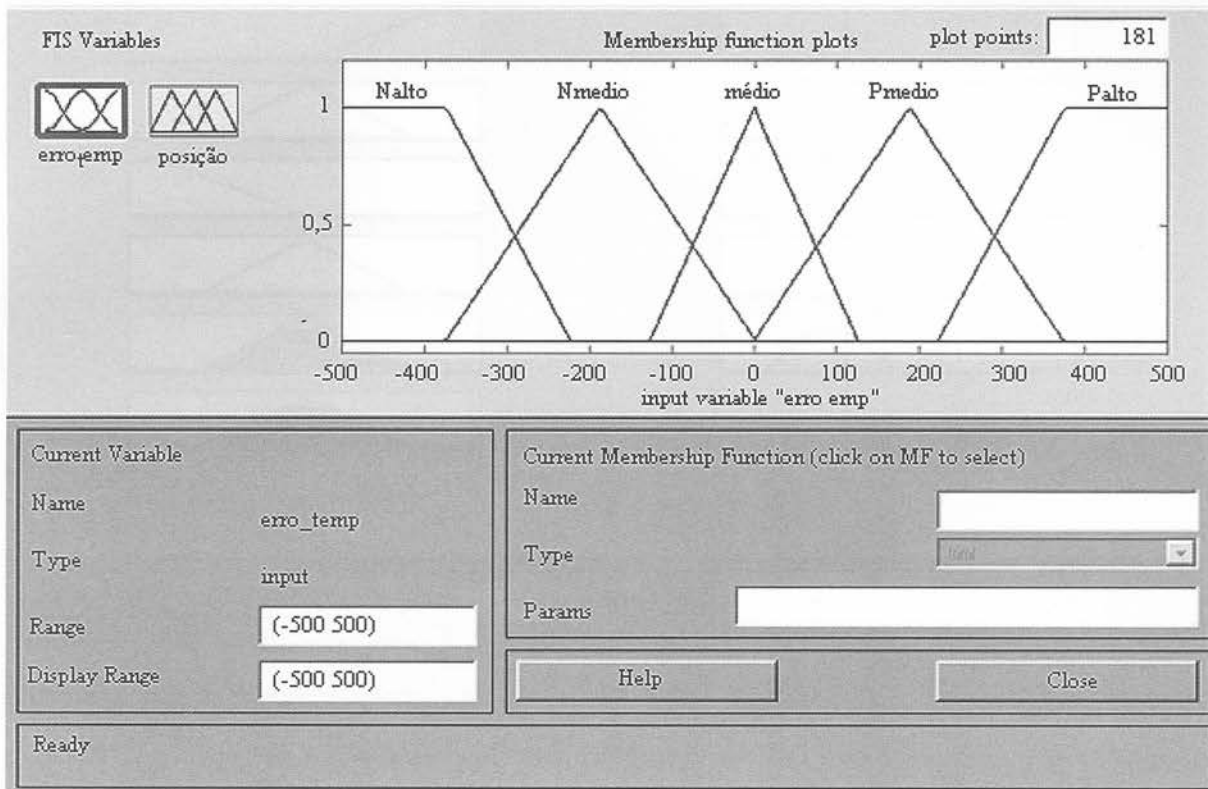


Figura 1.13 – Determinação das funções de pertinência para as variáveis de entrada do controlador fuzzy.

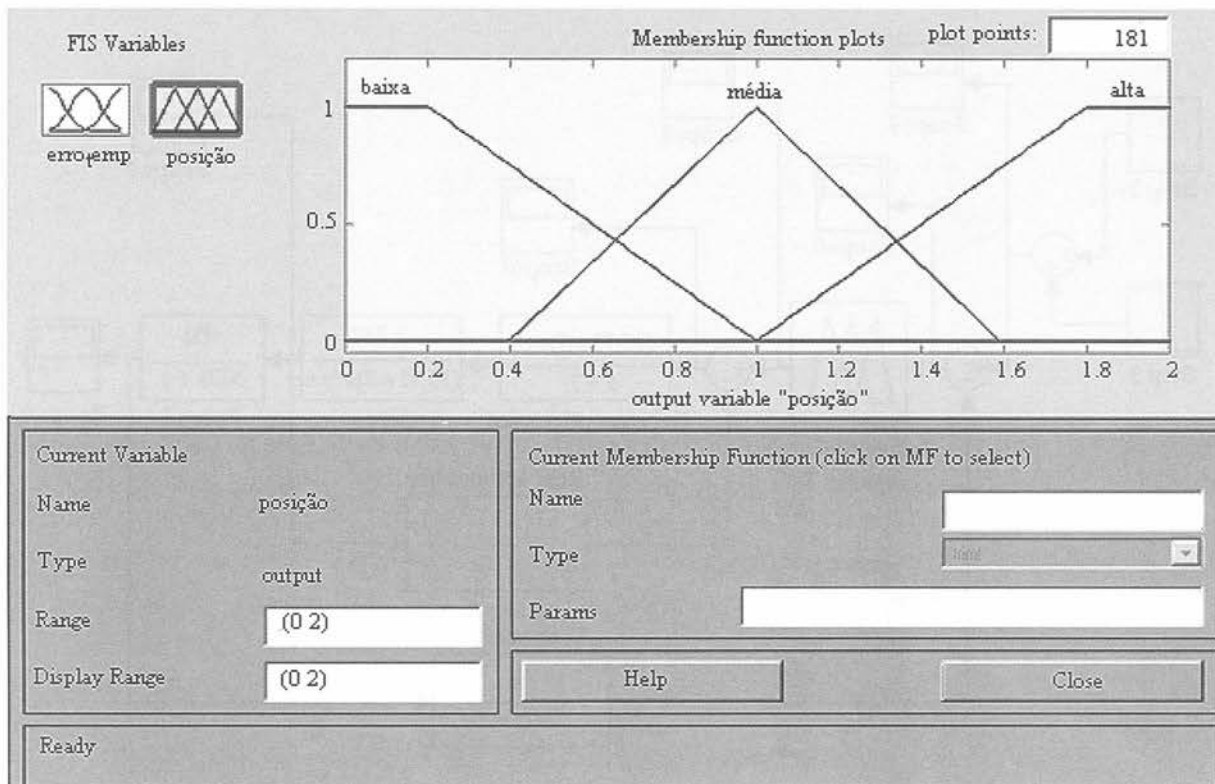
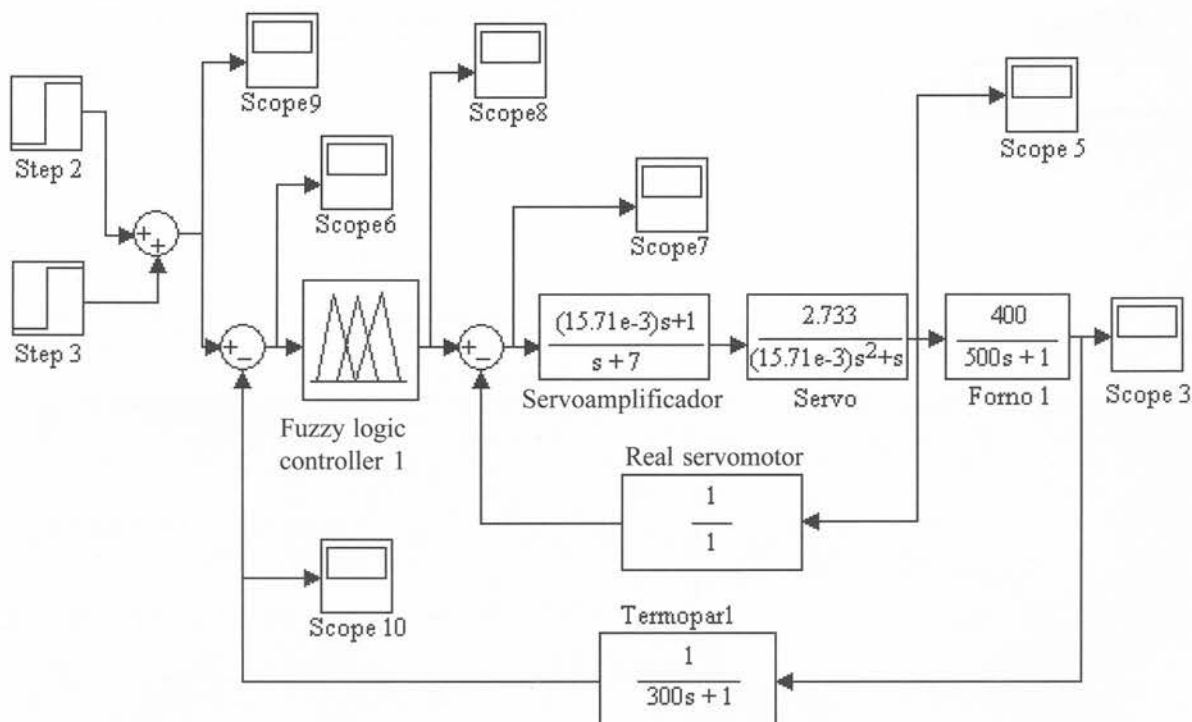
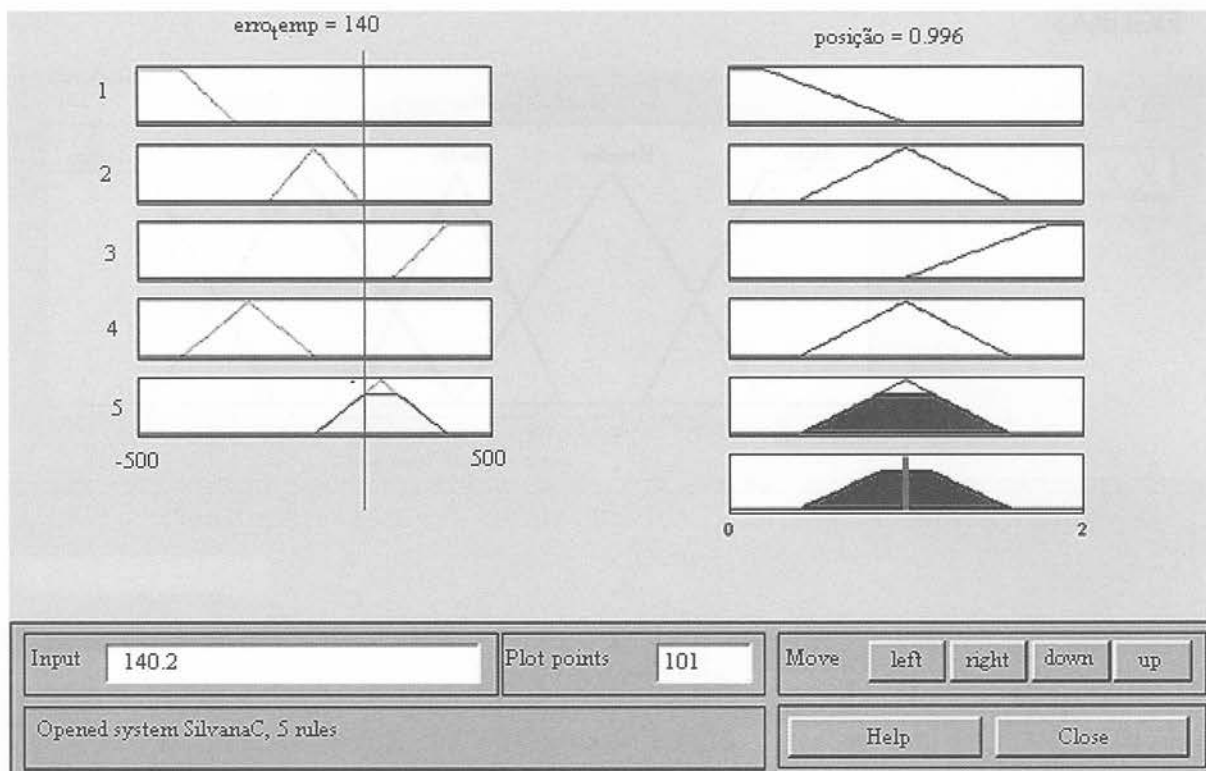


Figura 1.14 – Determinação das funções de pertinência para as variáveis de saída do controlador fuzzy.



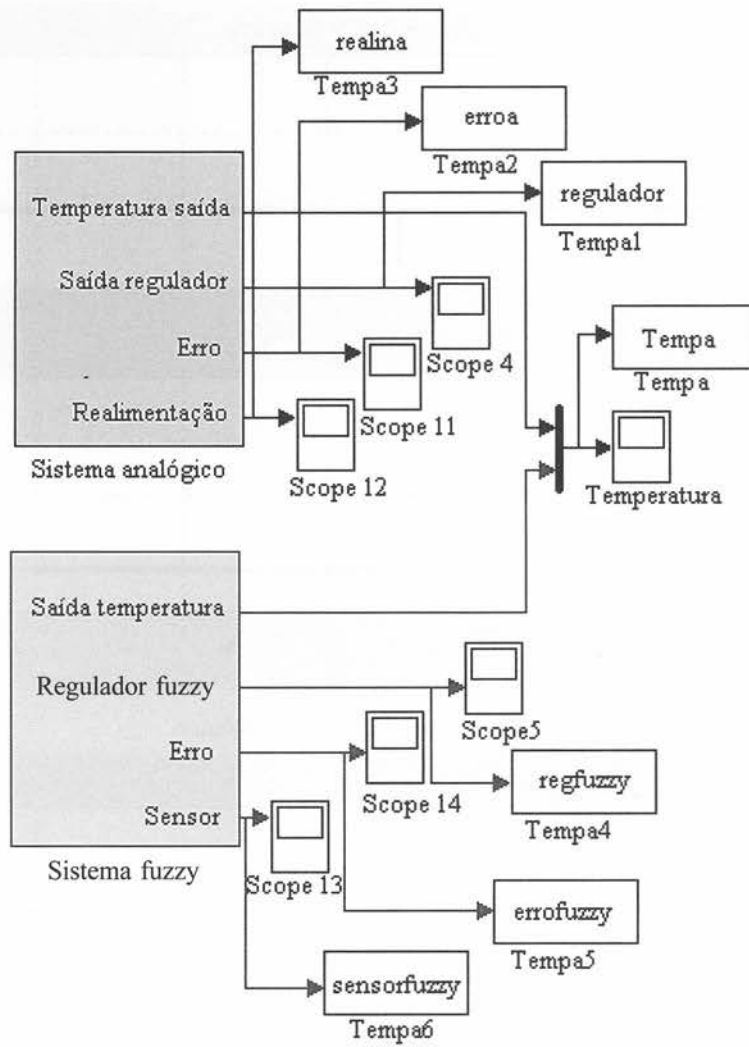


Figura 1.17 - Malha do resultado da comparação entre os subsistemas fuzzy e analógico

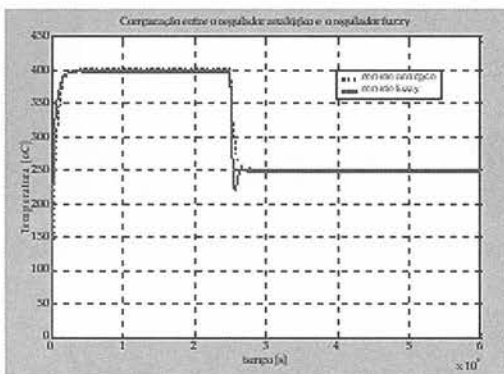


Figura 1.18 – Comparação entre o controlador fuzzy e o controlador analógico

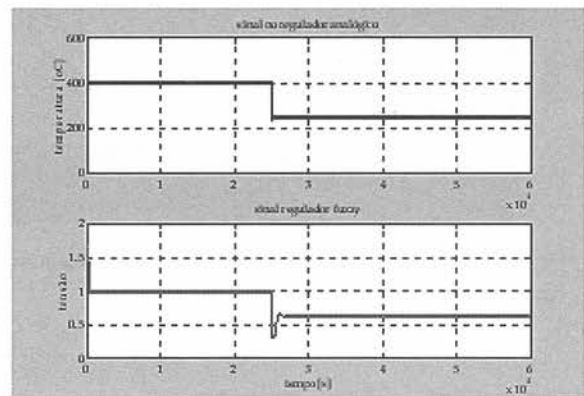


Figura 1.19 – Sinal no controlador fuzzy e no controlador analógico

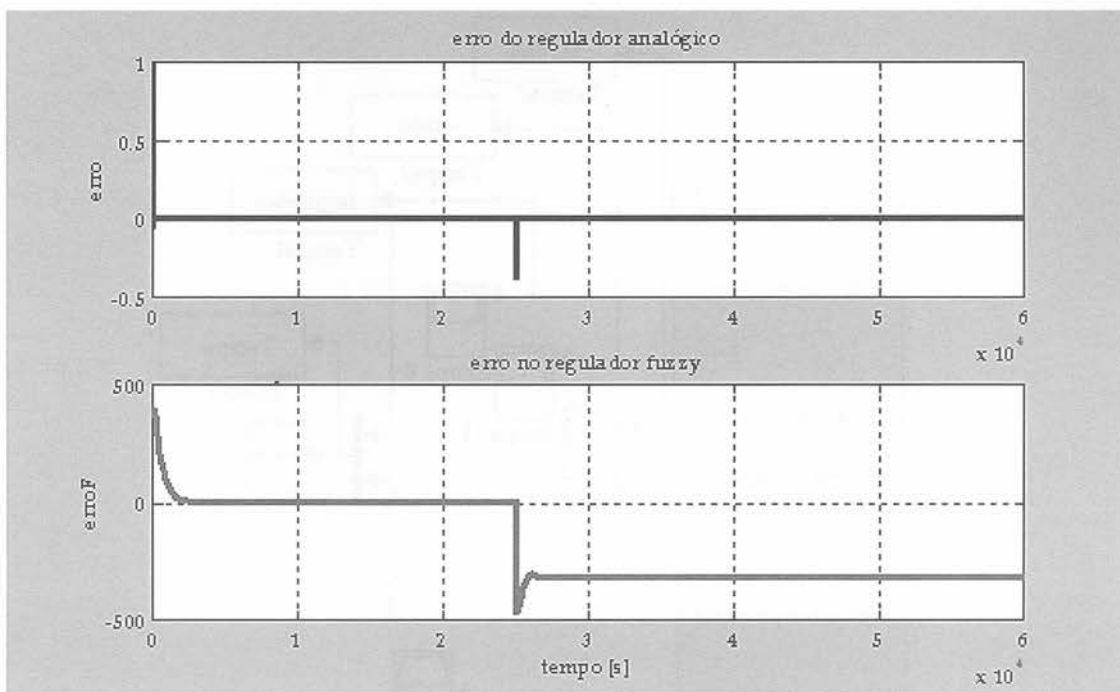


Figura 1.20 – Erro no controlador fuzzy e no controlador analógico

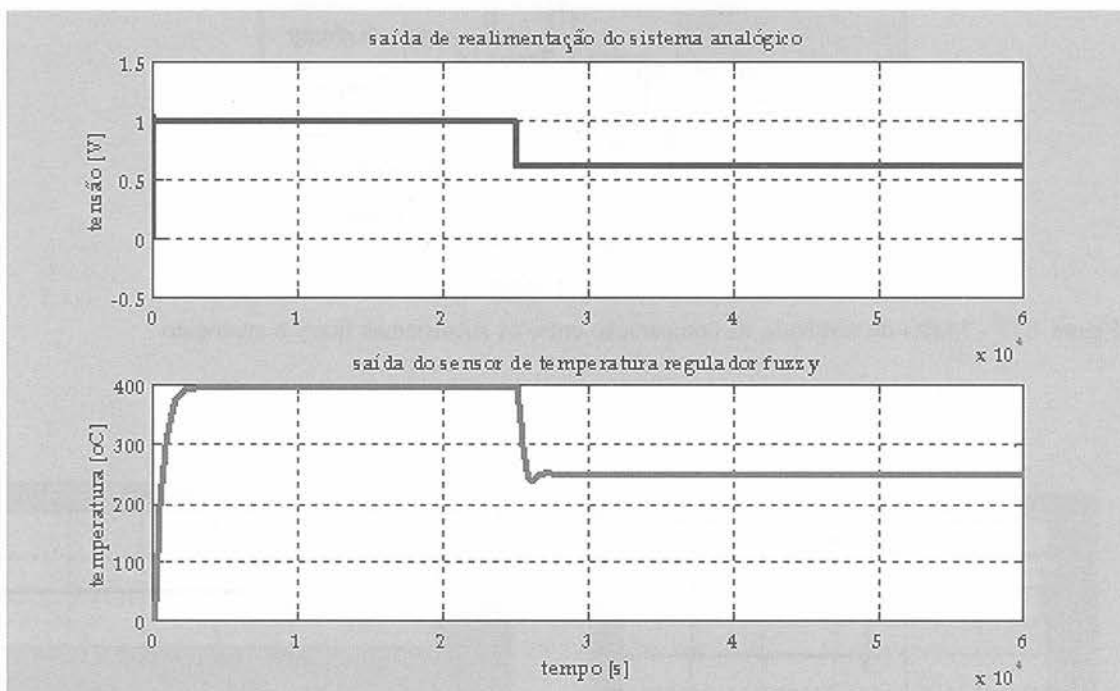


Figura 1.21 – Saída da realimentação do controlador analógico e saída do sensor de temperatura do controlador fuzzy

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pôde-se observar, após as experiências, tanto a prática pelas medições no forno, quanto a teórica pelas simulações, que o sistema convencional de controle do forno não possui precisão no *setpoint* marcado no painel

e existe certa lentidão na chegada ao valor desejado. A temperatura interna do forno também pode se alterar com mudanças de temperatura ambiente e conforme a quantidade de pressão de gás no reservatório. Isto é, o sistema se comporta de maneira variada.

Com a introdução do controlador PI pôde-se observar que essa lentidão melhora acentuadamente e consegue-se chegar ao *setpoint* desejado com maior precisão. Caso ocorram alterações na temperatura do ambiente ou variações na quantidade de gás do reservatório, o controlador PI se encarrega de corrigir o erro, permitindo então que o valor do *setpoint* desejado se mantenha estabilizado.

Na comparação entre a curva de temperatura em função do tempo gerada pelos sistemas de controle analógico e fuzzy, pôde-se notar que não houve uma grande melhora no comportamento do sistema.

Quando foi determinada para o sistema a introdução de um *setpoint* no valor de 400 °C, a curva de chegada a este valor no controlador fuzzy foi levemente mais aberta em relação à curva gerada pelo controlador analógico. O sistema analógico se estabilizou mais rapidamente, porém com uma diferença quase imperceptível.

Quando se alterou o *setpoint* de 400 °C para 250 °C notou-se que a temperatura do sistema fuzzy caiu bruscamente até um valor aproximado de 220 °C. Em seguida o erro foi corrigido e o sistema se estabilizou no valor de 250 °C. Este comportamento é normal no controlador fuzzy, pois ele se ajusta conforme o número de regras introduzidas. Neste caso foram criadas 5 regras, pois atendiam as necessidades para este trabalho. Quando se deseja um ajuste fino no comportamento da resposta deste controlador, sem que haja um *overshoot* considerável, pode-se criar um número maior de regras, porém quanto maior for o número de regras, mais sobrecarregada fica a memória do computador, resultando assim em um tempo de resposta maior do controlador.

Já para a mesma situação, pôde-se observar, na curva gerada pelo sistema analógico, que a temperatura caiu suavemente até chegar ao valor do *setpoint* desejado e se estabilizou em seguida. Apesar destas diferenças o tempo de resposta dos controladores fuzzy e analógico foram

semelhantes.

Quanto ao erro, comparando os dois controladores, pôde-se observar que no analógico o erro sempre se estabilizou no zero, mesmo após a alteração do valor do *setpoint*, enquanto que no controlador fuzzy, com a mesma situação, o erro permaneceu zero no primeiro *setpoint* introduzido (400 °C) e ficou negativo após a alteração do *setpoint* (250 °C).

Portanto, do ponto de vista de controle a aplicação de um sistema fuzzy no controle de temperatura em fornos alimentados a gás é interessante, pois este reduzirá o tempo de espera de homogeneização da temperatura da parte interna da câmara do forno e manterá a estabilidade desejada.

Existe uma vantagem importante para a aplicação do controlador fuzzy em fornos com relação aos outros controladores. É que em locais onde os fornos ficam instalados, os ambientes sofrem grandes variações de temperatura, e, neste caso, o controlador fuzzy pode compensar este efeito. Portanto, para esta aplicação, o controlador fuzzy trará melhores resultados (Gomes, 2006).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGA, E.A. *Caldeiras instrumentação e controle*, Editora Técnica, 1989.

GOMES, S.B. *Aplicação da lógica fuzzy em controle de temperatura de fornos a gás*. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de Taubaté, São Paulo, 2006.

HANSELMAN, D. LITTLEFIELD, B. *Matlab 6: curso completo*. Prentice Hall, 2003.

MATSUMOTO, É.Y. *Simulink 5: Fundamentos*. São Paulo: Érica, 2002.

OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. 3.ed. Prentice-Hall do Brasil, 1997.

REIS, L. O. M. *Lógica fuzzy de geração de energia elétrica: eólica, fotovoltaica e e biogás*. 181f. Tese de doutorado em engenharia elétrica. Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá, 2002.


SHAW, I. S.; SIMÕES, M. G. *Controle e modelagem fuzzy*. Edgard Blücher, 2001.

REIS, L. O. M.; SILVA, V. F. *Apostila de instrumentação elétrica*, 2002.

WEEDY, B. M. *Electric power systems*. 3. ed, John Wiley and Sons, 1979.

Para contatos com a autora:
silbugomes@yahoo.com.br



Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo 
Rua Pedro Vicente, 625 - Canindé
São Paulo- SP CEP. 01109-010