

O USO DA LÓGICA FUZZY COMO FERRAMENTA DE PROCESSO DECISÓRIO NO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DOS FILTROS DE CELULOSE DA REDUC¹

Waldo Vieira Costa²
José Luiz Fernandes²
Marina Brochado⁴

Resumo

Este trabalho propõe o uso da lógica fuzzy para maximização do uso de condensado no circuito de geração de vapor, melhorar o processo decisório quanto a realização da manutenção dos filtros deste condensado, minimizar o uso do elemento filtrante (celulose) e padronizar o momento do processo de manutenção do filtro, de forma a garantir a melhor prática.

Palavras-chave: Lógica Fuzzy; Manutenção centrada em confiabilidade.

THE USE OF FUZZY LOGIC AS TOOL OF POWER TO DECIDE PROCESS IN THE PROCESS OF MAINTENANCE OF THE FILTERS OF CELLULOSE OF THE REDUC

Abstract

This work considers the use of the fuzzy logic for maximization of the condensed use of in the circuit of vapor generation, to improve the power to decide process how much the accomplishment of the maintenance of the filters of this condensed one, to minimize the use of the filter element (cellulose) and to standardize the moment of the process of maintenance of the filter, of form to best guaranty the practical one.

Key words Fuzzy's logic; Reliability centered maintenance.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Engenheiro de Produção, Departamento de Pesquisa e Pós-graduação, CEFET-RJ*

³ *Engenheiro Mecânico, D.Sc., Professor Adjunto, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação – CEFET-RJ*

⁴ *Engenheira Civil, D.Sc., Professor Adjunto, Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação – CEFET-RJ*

1 INTRODUÇÃO

A Refinaria Duque de Caxias é uma Unidade de Negócio da Petrobrás com as seguintes características:

- 35 unidades de processamento, nas quais são produzidos mais de 55 produtos;
- Duas centrais termoeletricas com capacidade instalada de 1180 t/h de vapor e 62,5 MW;
- Demanda típica: 930 t/h de vapor e 67 MW num sistema elétrico configurados em ilhas.

Dentre estes processos destaca-se a Central de Geração e Distribuição Termoeletrica, do qual depende todo o processo produtivo e por isso, especial atenção deve ser dada a este setor para manter seu bom funcionamento. Este setor é responsável pela geração de vapor e energia elétrica que abastece toda a refinaria. Para a geração de vapor, as caldeiras utilizam água captada da Barragem de Saracuruna, que é previamente tratada já na refinaria.

O vapor gerado é distribuído aos processos de produção, que aproveitam a sua capacidade térmica e sua energia cinética para a produção dos derivados de petróleo. Depois que realizou o trabalho requerido incorre na perda de parte da energia do vapor, o que o transforma novamente em água e que agora passa a ser chamado de Condensado.

Para diminuir o uso dos recursos naturais neste processo, o condensado volta ao circuito de água de alimentação das caldeiras, mas para isso, deve estar livre de impurezas perigosas ao processo de geração de vapor.

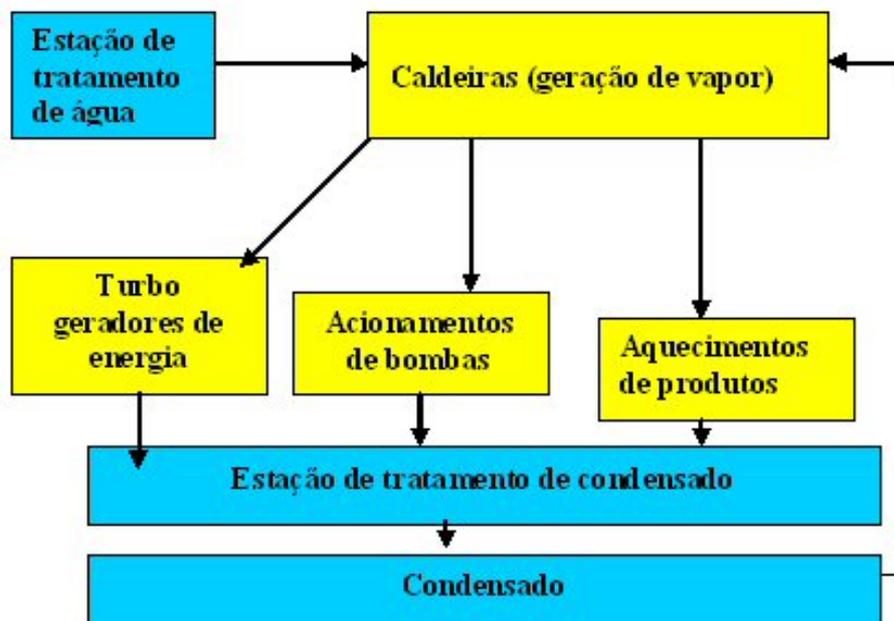


Figura 1. Modelo do sistema de geração de vapor.

Na Central Termoelétrica da REDUC existe um processo, denominado Estação de Tratamento de Condensado (ETC), que realiza o tratamento de todo o condensado descrito. Como o vapor realizou trabalho em equipamentos como trocadores de calor, turbinas e aquecedores, o condensado produzido chega à ETC contaminado por impurezas como óleo, graxa e partículas sólidas, o que o torna impróprio para ser reutilizado nas caldeiras. Na ETC o condensado acumulado no vaso D1240 é succionado pela bomba de condensado P 1244 para deslocá-lo até o filtro D 1239. Uma válvula reguladora controla a vazão do fluxo de condensado ao filtro e faz o controle de nível do vaso D1240.

O filtro D1239 é um vaso composto de células metálicas recobertas com celulose. A celulose constitui efetivamente o material filtrante onde as impurezas contidas no condensado ficam agregadas e permite que o condensado saia limpo para ser reutilizado na caldeira, melhorando o ciclo térmico e contribuindo para o reuso do recurso natural. Em determinado momento as impurezas saturam a celulose e esta deve ser trocada. O processo de troca consiste em:

- isolar o D 1239, drenar o condensado contaminado e retirar a celulose impregnada;
- preparar uma solução de água e material de celulose floculada num tanque conectado em paralelo com o filtro e
- injetar a solução de celulose no filtro D1239 para recompor o material filtrante nas peças metálicas.

Este processo leva uma média de 40 a 60min e, para a decisão de realizar a troca da celulose, o especialista leva em consideração algumas restrições como: o nível do D1240, a abertura da válvula reguladora, o diferencial de pressão entre a entrada e a saída de condensado no filtro e a vazão de saída do condensado limpo.

Este trabalho visa melhorar o processo decisório de manutenção corretiva num sistema de tratamento de condensado da Unidade de Geração de Energia da Refinaria Duque de Caxias, através da proposta de se utilizar a lógica fuzzy para se determinar o melhor momento de realização da limpeza dos filtros que são utilizados para retirar as impurezas contidas nos condensados.

No procedimento atual, o operador deste processo realiza a manutenção e, a escolha do melhor momento para ocorrer a manutenção é baseada na experiência profissional, aliada aos dados do fabricante e ao conhecimento dos especialistas de manutenção. Com esta proposta, espera-se determinar faixas ideais em torno de valores ideais de determinadas variáveis, para se decidir sobre o momento de manutenção, relacionando outras variáveis deste processo que são fatores importantes na decisão final e aumento da confiabilidade operacional.

A técnica consiste em, buscar através de entrevistas com os operadores e especialistas, dados para a determinação dos conjuntos fuzzy, seus valores, suporte, domínio e formação dos conjuntos de grau de pertinência para se montar a lógica proposicional e construir o sistema fuzzy que terá como saída um valor numérico que será interpretado de acordo com o seu valor fuzzy de saída, o qual constituirá o melhor momento para a limpeza do filtro.

Todo o sistema é experimentalmente criado e executado no *Fuzzy Tool Box* do *MatLab 6.1*. Esta proposta é perfeitamente exequível, pois este sistema é de uma dinâmica lenta e os dados de entrada podem ser acompanhados on line através de software específico e alimentar os conjuntos de entrada para o sistema fuzzy. Caberia a gerência do setor investir na conclusão da automação deste processo e num software de utilização de lógica fuzzy que faça comunicação com o software de automação para aquisição dos dados de entrada, além de manter um sistema supervisor de controle para o operador.

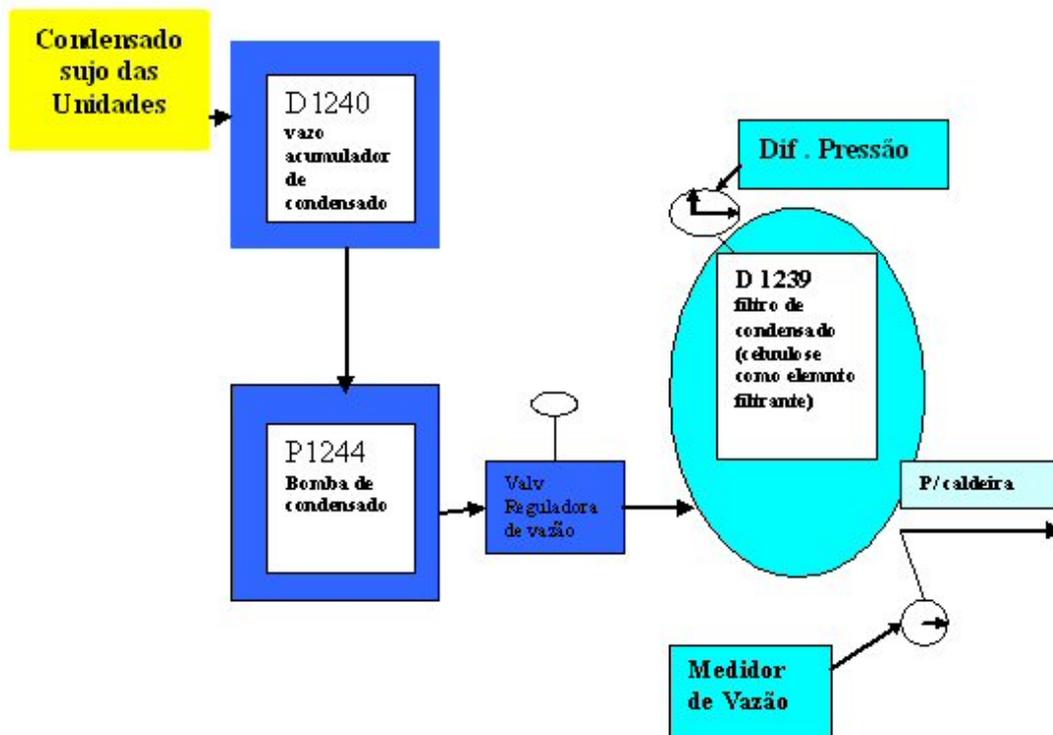


Figura 2. Modelo do processo da filtração.

2 MANUTENÇÃO E CONFIABILIDADE

Segundo Siqueira⁽¹⁾ a história da manutenção, pode ser dividida em três gerações distintas, cada uma caracterizada por um estágio diferente de evolução tecnológica dos meios de produção e pela introdução de novos conceitos e paradigmas. São elas:

- Primeira Geração – caracterizada pela mecanização, que ocorreu ao final da Segunda Guerra Mundial, contava com máquinas simples e sobre-dimensionadas que somente eram restauradas quando apresentavam defeito. A atividade de manutenção se limitava às tarefas preventivas de serviços (como limpeza e lubrificação) e tarefas corretivas de eliminação das falhas.
- Segunda Geração – iniciada aproximadamente em 1950 e resultado do esforço de Industrialização pós-guerra, esta geração acompanhou a disseminação das linhas de produção contínuas e registrou a primeira onda de escassez de mão de obra especializada advinda da velocidade de implantação da automação. Por causa disto, houve um maior esforço científico de pesquisa e desenvolvimento de técnicas de manutenção preventiva voltadas para a redução dos impactos das falhas nos processos

de produção, gerando então as técnicas de manutenção preditivas que se destacaram na indústria aeronáutica, voltadas para as técnicas de qualidade total (organizadas e integradas pela Manutenção da Produtividade Total: *TPM - Total Productive Maintenance*).

- Terceira Geração – é a fase da Automatização, onde o consumo em larga escala dos produtos industrializados elevou o nível de dependência da sociedade aos produtos industriais. Com isso houve também elevação de custos, de mão de obra e de capital associados à concorrência mundial, que conduziram à prática do dimensionamento dos equipamentos no limite dos processos, reduzindo suas faixas operacionais e aumentando a importância da manutenção.

A dependência por parte dos serviços essenciais e de utilidade pública aos processos automáticos impôs então a exigência de requisitos de maior disponibilidade, confiabilidade, qualidade e garantia de desempenho dos produtos. Além disto, evoluiu nas pessoas a consciência da importância da preservação do meio ambiente e da garantia da segurança aos usuários dos processos e produtos industriais. Esta conscientização motivou então ao surgimento de metodologia de manutenção voltada para a confiabilidade.

Normalmente a idéia que se tem de confiabilidade é de confiança no equipamento, durabilidade e presteza em operar sem falhas. No entanto, segundo Lafraia,⁽²⁾ a confiabilidade é definida com sendo “Matematicamente, a confiabilidade é definida como a probabilidade de que um componente ou sistema cumpra sua função com sucesso, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas.”

Como a confiabilidade está geralmente ligada com as falhas durante a vida do produto, é então um aspecto de incerteza da engenharia e por isso pode ser representada por uma função de probabilidade.

3 PROPOSTA DO SISTEMA FUZZY

Embora já exista um valor numérico ideal de cada variável sugerido pelo fabricante para se realizar esta troca, os especialistas indicam o melhor tempo dentro de uma faixa em torno deste valor e cada um deles age considerando mais ou menos cada uma das restrições acima. Nem sempre o sucesso é alcançado e algumas vezes, embora tenha havido sucesso, gera-se a dúvida se aquele foi realmente o melhor momento para a troca da celulose.

Assim, nota-se neste processo decisório algumas incertezas inerentes a cada especialista. Para Amendola⁽³⁾ tais incertezas podem ser agrupadas e aplicadas à lógica fuzzy, para que seja determinada uma situação mais precisa, de forma a maximizar o processo de filtragem e minimizar a utilização da celulose.

4 PROJETO DO SISTEMA DE DIAGNÓSTICO DE MANUTENÇÃO FUZZY PARA O PROCESSO DE TRATAMENTO DE CONDENSADO

4.1 Conjuntos Nebulosos

4.1.1) Variáveis de entrada:

(A) Abertura da Válvula

$\mu_A(x) \rightarrow$ tem domínio de 0 a 100%

(B) Diferencial de Pressão
 $\mu_B(x) \rightarrow$ tem domínio de 0 a 2,4kgf/cm²

(C) Nível do Tanque
 $\mu_C(x) \rightarrow$ tem domínio de 0 a 100%

(D) Vazão de Saída
 $\mu_D(x) \rightarrow$ tem domínio de 0 a 100%

1.1.1) Valores das Variáveis de Entrada

- A = {pouco aberta, normal, muito aberta}
- B = {pequeno, normal, grande}
- C = {baixo, normal, alto}
- D = {baixa, normal, alta}

4.1.2) Variável de Saída:

(F) Condições do Filtro
 $\mu_R(x) \rightarrow$ tem domínio de 0 a 100%

1.2.1) Valores das Variáveis de Saída

- F = {pouco sujo, limpo, muito sujo}

4.2 Relações Fuzzy na Entrada (Fuzzyficador)

$$R_{A \cap B \cap C \cap D} = \mu_A(x) \cap \mu_B(x) \cap \mu_C(x) \cap \mu_D(x) = \min \mu_i(x)$$

4.3 Formato dos Conjuntos

Para todas as variáveis (entrada e saída) foram escolhidos formato trapezoidal combinados com formato triangular para os conjuntos fuzzy, pois: Formato  \rightarrow existem valores definidos pelos especialistas (de grau de pertinência 1) e valores no seu entorno que criam a região de incerteza e, com isso, atuação diferenciada de cada um deles no processo para se realizar a manutenção do filtro.

Formato  \rightarrow os especialistas consideram uma faixa bem definida em que todos concordam que tenha grau de pertinência 1 e nas proximidades do primeiro e último valor ocorre uma faixa de incerteza na atuação do processo.

4.4 Regras Fuzzy - Inferência pelo Antecedente

As regras que tornam o sistema eficiente e preciso são as seguintes:

4.4.1 - Se **vz** é alta então **condições do filtro** é pouco sujo;

4.4.2 - Se **vz** é normal então **condições do filtro** é normal;

4.4.3 - Se **df** é pequeno então **condições do filtro** é pouco sujo;

4.4.4 - Se **df** é normal então **condições do filtro** é normal;

4.4.5 - Se **vz** é baixa e **df** é alta e **ntq** é baixo então **condições do filtro** é normal;

4.4.6 - Se **vz** é baixa e **df** é alto e **ntq** é normal e **av** é pouco aberta então **condições do filtro** é normal;

4.4.7 - Se **vz** é baixa e **df** é alto e **ntq** é normal e **av** é normal então **condições do filtro** é Muito sujo;

- 4.4.8 - Se **vz** é baixa e **df** é alto e **ntq** é normal e **av** é muito aberta então **condições do filtro** é Muito sujo;
- 4.4.9 - Se **vz** é baixa e **df** é alto e **ntq** é muito alta e **av** é pouco aberta então **condições do filtro** é normal;
- 4.4.10 - Se **vz** é baixa e **df** é alto e **ntq** é muito alto e **av** é normal então **condições do filtro** é Muito sujo;
- 4.4.11 - Se **vz** é baixa e **df** é alto e **ntq** é muito alto e **av** é muito aberta então **condições do filtro** é Muito sujo.

onde, **av** (entrada A)= abertura da válvula; **df** (entrada B)= diferencial de pressão; **ntq** (entrada C)= nível do tanque; **vz** (entrada D) = vazão.

A Tabela 1 mostra as regras relativas ao sistema apresentado acima.

Tabela 1. Regras Fuzzy com interferência pelo antecedente.

Regras	Entrada A	Entrada B	Entrada C	Entrada D	Saída F
4.1				alta	Pouco
4.2				normal	limpo
4.3		pequeno			Pouco
4.4		normal			normal
4.5		Alto	baixo	baixa	Normal
4.6	Pouco	Alto	normal	baixa	Normal
4.7	normal	Alto	normal	baixa	Muito
4.8	Muito	alto	normal	baixa	Muito
4.9	Pouco	alto	Muito	baixa	Normal
4.10	normal	alto	Muito	baixa	Muito
4.11	Muito	alto	Muito	baixa	Muito

5 REGRAS FUZZY - INFERÊNCIA PELO CONSEQÜENTE

Segundo Tanscheit⁽⁴⁾ a composição dos dados de entrada para formar o conjunto nebuloso de saída é formada pela união de todas as regras com grau de ativação diferente de zero. No Programa *MatLab* 6.1 o modo de defuzzificação default é através do Método do CENTRÓIDE, o que foi utilizado para este sistema (Figura 3).

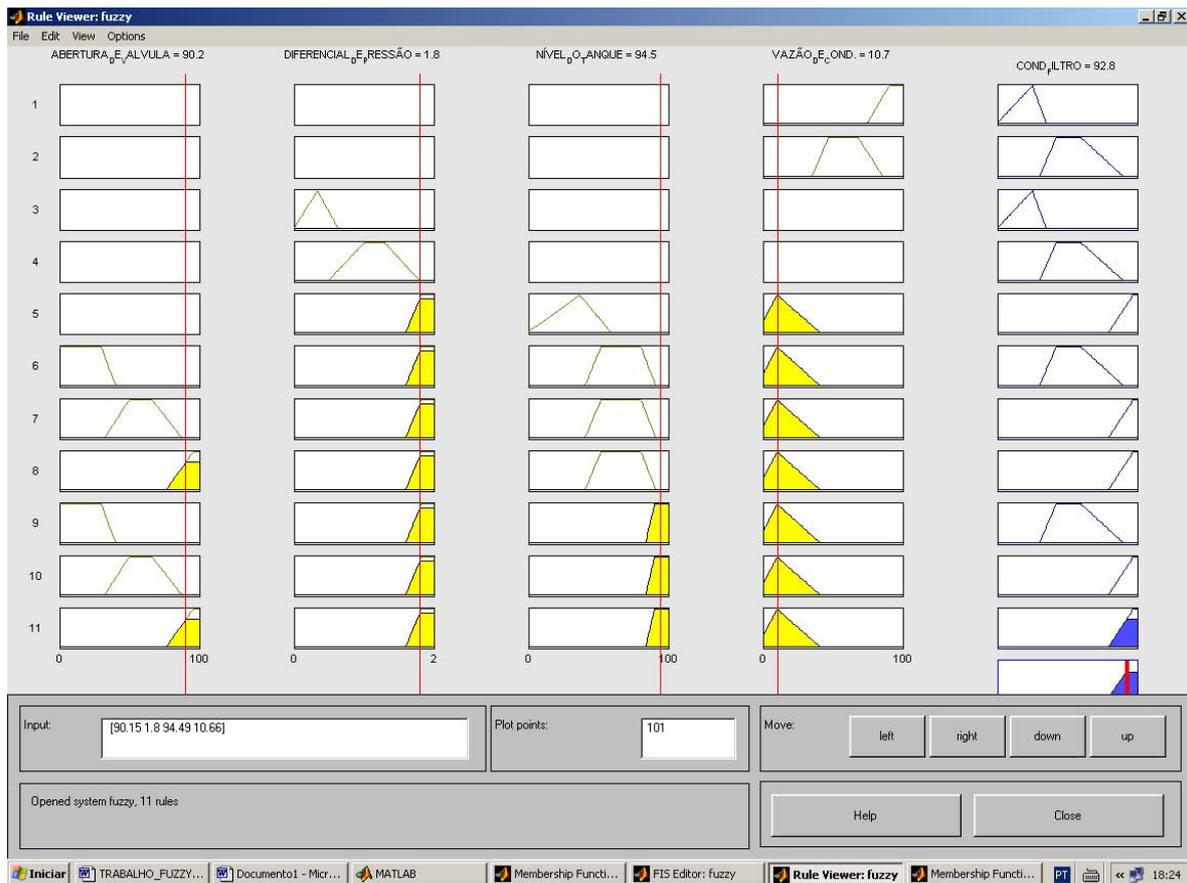


Figura 3. Método do Centróide, mostrado pela saída do MATLAB 6.1.

6 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores da variável de saída proporcionarão um número preciso que indicará ao Operador do processo as seguintes ações de manutenção:

- F = pouco sujo → **não realize manutenção** no processo, isto é, não faça solução de celulose;
- F = limpo → **realize manutenção preditiva** no processo, isto é, não faça solução de celulose mas tome uma medida antecipativa, como limpeza no mostrador visual de contaminação.
- F = muito sujo → **realize manutenção corretiva** no processo, isto é, faça solução de celulose.

7 CONCLUSÃO

A proposta do uso da lógica fuzzy no processo decisório para fazer a manutenção no filtro de condensado do Setor Termoelétrico da REDUC mostra-se muito interessante, pois, com as informações obtidas dos especialistas pode-se ter como variável de saída, um resultado preciso que, numa visão holística, pode ser utilizado como sendo o melhor momento para realizar a manutenção nos filtros de condensado. A simulação realizada no do Fuzzy Tools do *MatLab* 6.1 pode comprovar estes resultados.

Com estes dados precisos haverá uma padronização quanto ao momento da manutenção, os recursos naturais terão seus usos otimizados e o processo decisório terá melhorado.

Este resultado expressa a resultante das interações das melhores práticas dos especialistas, descritas de forma isolada, o mais neutra possível dos fenômenos que no dia-a-dia do trabalho interferem nos processos decisórios.

REFERÊNCIAS

- 1 SIQUEIRA, I. P. Manutenção Centrada em Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Rio de Janeiro, Petrobrás, 2005.
- 2 LAFRAIA, J. R. B. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Rio de Janeiro, Qualymark, 2005.
- 3 AMENDOLA, M. Manual do Uso da Teoria dos Conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5. Disponível em http://www.ime.unicamp.br/~laeciocb/MANUAL_2005.pdf
- 4 TANSCHKEIT, R. Notas de Aula sobre Lógica Fuzzy, 2006. Disponível em <http://www.ica.ele.puc-rio.br/cursos/index.asp>