

PROJETO E CONTROLE DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO NO LABORATÓRIO DE AVALIAÇÃO DE MEDIÇÃO EM PETRÓLEO

Díaz Amado J. A¹, Ortiz Salazar A¹, Javier Alsina P¹, Fonsêca D. M¹, Cardoso J. C.¹, Quintaes F², Fontes F. A³,

¹Dpto. Ciências e Computação, Universidade Federal Rio Grande do Norte, Campus Universitário, CEP: 59072970, RN, Brasil, sportingjadal@hotmail.com

²Dpto. da Indústria, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró, CEP: 59628330, RN, Brasil, filipe@dca.ufn.br

³Dpto. de Engenharia Mecânica, Universidade Federal Rio Grande do Norte, Campus Universitário, CEP: 59072970, RN, Brasil, franciscofontes@uol.com.br

Área: Instrumentação

RESUMO

O Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo (LAMP), da Universidade Federal Rio Grande do Norte (UFRN), tem como meta principal avaliar medidores de vazão e BSW (Basic Sediments and Water), onde a simulação do maior número de variáveis de operação em campo garante uma avaliação com menor porcentagem de incertezas. A temperatura é um parâmetro que influencia na exatidão em medição de vazão e BSW. O objetivo do trabalho foi projetar a implementação de um sistema de aquecimento, que possibilitará o controle da temperatura de forma segura e eficiente no laboratório.

O sistema está implementado com resistências de imersão, onde foram levados em conta os requisitos do laboratório, tais como condições e restrições atuais do mesmo [1]. Foi feita uma simulação em relação à troca térmica, onde se considerou o fluido utilizado e a temperatura de trabalho em função do procedimento normal do laboratório [2].

Depois de análises feitas no projeto do sistema, foi feita a implementação física do mesmo, tendo resultado concretos e finais. Estratégias de controle foram determinadas, combinando métodos de controle PID e lógica fuzzy.

PALAVRAS CHAVE: Medidores vazão, BSW, Resistências de Imersão, Controle fuzzy-PID.

INTRODUÇÃO

Com o propósito de realizar a calibração de diversos tipos de medidores, instalados em linha na indústria petroquímica, para a monitoração contínua da vazão e (BSW) do óleo, foi construído o Laboratório de Avaliação de Medições em Petróleo, na Universidade Federal Rio Grande do Norte, que permite a simulação de diferentes condições de operação dos medidores em campo, como simular misturas de água e óleo em proporções e vazões variadas[3].

A temperatura é a variável mais influente na medição de vazão e BSW, pois afeta diretamente a viscosidade e a densidade do fluido. Atualmente os testes no laboratório estão sendo realizados com fluidos à temperatura ambiente, em torno de 30oC, diferente do que ocorre em campo, onde os instrumentos trabalham com fluxos que se encontram em temperaturas próximas de 60oC.

Desta forma, de acordo com os requisitos para a calibração de medidores de vazão de óleo, estabelecidos pela portaria conjunta [14], será desenvolvido um sistema de aquecimento com o objetivo de simular as condições térmicas reais das instalações de produção de petróleo atualmente. Esse sistema é um item de fundamental importância para que os equipamentos possam simular as condições térmicas de um campo de produção de petróleo.



Considerando os valores máximos de vazão e temperatura de testes, o sistema requer uma considerável transferência de calor.

Para implementar o sistema de aquecimento foram utilizadas resistências de imersão, de acordo com os seguintes requisitos do laboratório: Instalações elétricas em áreas potencialmente explosivas, Potência elétrica, área de troca térmica, área para a instalação física e finalmente foram feitas algumas simulações para avaliar o comportamento desta em diferentes circunstâncias.

Normalmente, no projeto de um controlador, a modelagem do processo é realizada a partir de aproximações, visto que o sistema é não linear e invariante no tempo. Já no projeto do controlador fuzzy não é necessária a modelagem matemática do processo [3]. A não-linearidade e a modelagem complexa dos sistemas térmicos são peculiaridades que tornam o controle fuzzy uma solução muito atraente para esse tipo de sistemas; é por isso que foi considerado como um método de solução para o controle do sistema de aquecimento.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NOS MEDIDORES DE VAZÃO E BSW

Durante o processo de produção de um poço de petróleo, é comum a produção simultânea de água e óleo, pelas propriedades do reservatório de petróleo, ou como consequência da injeção de água utilizada no processo de recuperação secundária desse reservatório [4].

O conhecimento do BSW é de grande importância para a engenharia de petróleo, uma vez que esse parâmetro representa a razão entre a vazão da mistura água e sedimentos e a vazão da mistura de óleo, água e sedimentos [5]. Com isso a partir da vazão bruta do petróleo, é possível determinar a vazão de óleo correspondente ao poço [6].

A calibração de medidores de vazão e BSW de petróleo é realizada para que se possa estabelecer, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes estabelecidos por padrões, de forma a garantir a rastreabilidade de medição.

A temperatura influencia nos cálculos de incertezas da massa específica do óleo e da água, interferindo portanto, na calibração de medidores de BSW [1]; porém, para compensar a influência da temperatura sobre a densidade do óleo e da água, é utilizado o boletim técnico da Petrobrás [7]. Na calibração de medidores de vazão [3], é feita uma avaliação da temperatura devido à variação volumétrica da água e do óleo, em que também foi utilizada a tabela de correção de temperatura, de acordo com o boletim técnico da Petrobrás [7].

No Brasil, a legislação definida por [14] para sistemas de medição fiscal aprova as seguintes tecnologias de medição de vazão de óleo em tubulações, que é o caso do LAMP: turbinas, deslocamento positivo, mássico e ultrassom. As medições devem ser corrigidas com os seguintes fatores: dilatação térmica entre a temperatura base e a temperatura nas condições de medição. Para fazer as correções devem-se utilizar as seguintes normas de cálculos de volume, ISO 91.2/API 7.2 [15]. É verdade que existem tabelas de correção de temperaturas na medição, mas o ideal nas calibrações seria não depender delas, já que podem aumentar o erro na medição final [8].

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Todos os equipamentos instalados na planta LAMP devem ser certificados para poderem ser utilizados em áreas classificadas, uma vez que a área de testes do laboratório enquadra-se na zona 1 de classificação de áreas. Nesse ponto, a utilização de resistências internas encaixa-se perfeitamente nas necessidades do laboratório, já que podem ser facilmente encontrados no mercado modelos com a certificação necessária.

As resistências de imersão ou internas são resistências elétricas tipo tubular flangeadas, as quais foram instaladas nas paredes internas da tubulação, tendo contacto direto com o fluido. Elas são largamente utilizadas na indústria petroquímica para soluções de sistemas de aquecimento, tanto para gases como para líquidos.

Algumas das vantagens desta resistência é em relação às perdas de energia, pelo fato de estar imersa na tubulação, ou seja, em contato direto com o fluido a ser aquecido, possuir perdas de calor mínimas ou quase nulas, aumentando sua eficiência, e diminuindo o tempo de recirculação do fluido por ela.

O projeto inclui uma adaptação da linha de recirculação, que será desviada para fora da área classificada e, nesse desvio, será inserida uma linha com 12", garantindo assim um espaço interno suficiente para a instalação das

resistências, incluindo uma válvula de alívio de pressão flangeada com castelo fechado para segurança do sistema, o desenho de controle de dados no supervisorio é ilustrado na figura 1.(b) e a figura 1(c) mostra a instalação das resistências imersas no sistema de aquecimento real no laboratório.

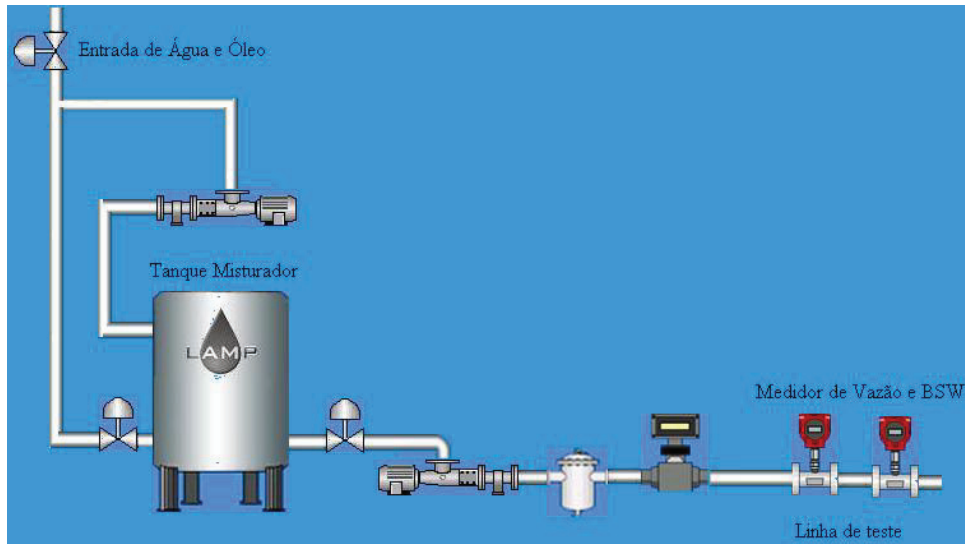


Fig. 1.(a) Linha de recirculação sem o sistema de aquecimento.

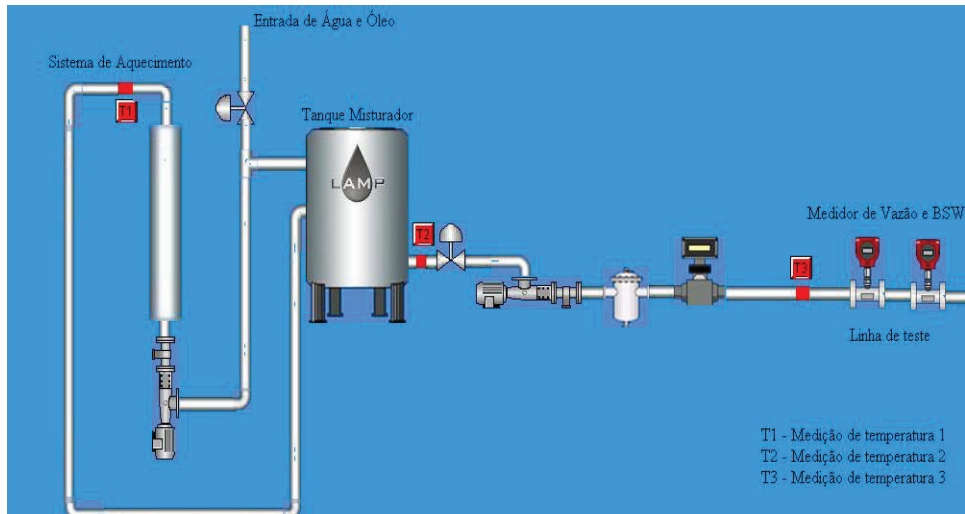


Fig. 1 (b) Adaptação da linha de recirculação para implantação do sistema de aquecimento.



Fig. 1 (c) Sistema de aquecimento real implementada no LAMP.

O cálculo da potência necessária para a instalação do sistema de aquecimento foi baseado em alguns requisitos do projeto, considerando a viabilidade técnica da instalação, em virtude da potência disponível no laboratório para essa aplicação, que é de 100kVA. A vazão máxima de teste foi escolhida a partir da capacidade máxima dos medidores utilizados na região, sendo da ordem de 12m³/h . A vazão mássica, que é a massa de fluido que atravessa uma determinada seção por unidade de tempo, é dada pela Equação 1.

$$\dot{m} = \rho Q = 1000 \frac{Kg}{m^3} \frac{1h}{3600s} \frac{12m^3}{h} = 3,33 Kg / s \quad (1)$$

Onde:

ρ = Vazão volumétrica do fluido

$\dot{m}$ = Escoamento

A quantidade de calor necessária para variar a temperatura do fluido é dada pela Equação 2.

$$q1 = \dot{m} c_p \Delta T \quad (2)$$

Onde:

$q1$ = Calor de convecção transferido ao fluido;

c_p = Calor específico do fluido;

ΔT = Gradiente de temperatura do fluido

De acordo com a equação 2, a potência elétrica necessária para produzir o gradiente de temperatura desejado em um passagem pela linha de recirculação é de 417,58kW. As perdas de energia fornecidas pela resistência ocorrem através de dissipação direta para o ambiente e da tubulação, podendo ser minimizadas por isolamento térmico adequado. A temperatura externa do tubo pode ser estimada a partir da conservação de energia de entrada. Condições de contorno: desprezando-se as perdas de calor para o ambiente, a conservação de energia pode ser obtida a partir da equação 3, considerando-se a temperatura interna do tubo (T_i) igual à temperatura de operação (T_o), $T_i = T_o = 60^\circ C$

$$q1 = q2 = 417,58kW \quad (3)$$

Utilizando as condições de contorno na equação da transferência de calor por condução, considerando o diâmetro externo $d_e = 0,0889m$ e o diâmetro interno $d_i = 0,0779m$, o comprimento total das resistências $L = 12m$, a condutividade térmica para o tubo de aço-carbono (k) de 60,5W/m.K [9] e substituindo a equação 3 na equação 4, obtém-se o valor estimado de T_e .

$$q2 = \frac{T_e - T_i (2\pi k L)}{\ln \frac{d_e}{d_i}} \quad (4)$$

Portanto a temperatura externa do tubo é estimada em $T_e = 72^{\circ}\text{C}$.

Como forma de avaliar a influência da recirculação na diminuição da potência necessária, foi realizado um cálculo, fixando a potência a ser utilizada. O valor de potência é de 100kW, que é a potência disponível hoje no laboratório. Portanto, sabendo que a massa específica da água (ρ) vale $1000\text{Kg}/\text{m}^3$, o calor específico (c_p), vale $4,18\text{kJ}/\text{kgK}$, a variação de temperatura é 30°C já que a temperatura inicial é 30°C ; e considerando um volume médio utilizado nos testes, que vale 4m^3 , é possível calcular o tempo necessário para aquecimento através da equação 5.

$$100\text{kW} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} 30\text{K} \quad (5)$$

$$t(\text{s}) = 1672,3\text{s} = 83,6\text{min}$$

Os resultados obtidos nas simulações, utilizando o software CFX [10], ajudaram a entender melhor o efeito da potência fornecida pelas resistências elétricas a uma determinada área de fluido [11].

Foram utilizadas as mesmas condições formuladas no desenvolvimento analítico: fluido (água e ar), temperatura inicial (30°C), vazão ($6\text{m}^3/\text{h}$ e $126\text{m}^3/\text{h}$), pressão de trabalho (0,5bar), quantidade de calor fornecido pelas resistências elétricas (100kW como máximo) e a especificação do material da tubulação (aço carbônico).

A figura 2(a), apresenta imagens da simulação feita no CFX, a primeira utiliza água como fluido, onde as setas indicam o sentido do fluxo que passa na tubulação; a região vermelha indica o local onde está havendo um maior aquecimento através das resistências, cuja variação é de 300 para 305 Kelvin. O fluido utilizado na segunda, figura. 2(b), simulação é ar, apresentando mudança de 300 para 312 Kelvin.

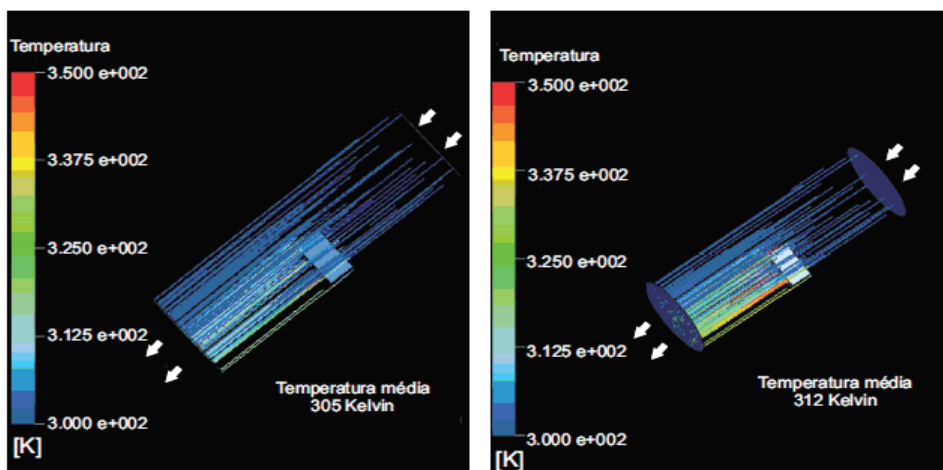


Fig. 2. Simulação do aquecimento utilizando-se o software CFX, (a) com água e (b) gás como fluido.

Para as seguintes simulações, serão consideradas como fontes de avaliação a vazão da água, sendo a máxima utilizada no LAMP ($12\text{m}^3/\text{h}$), e a metade da vazão máxima, ($6\text{m}^3/\text{h}$).

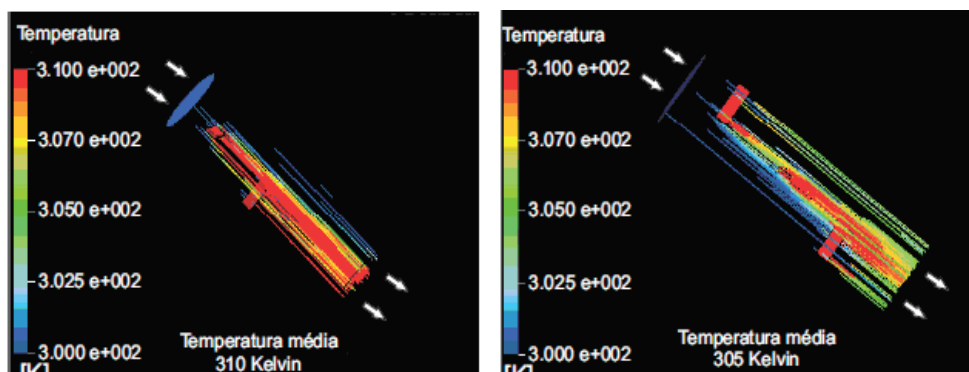


Fig. 3. Simulação do aquecimento utilizando-se o software CFX, para (a) $6\text{m}^3/\text{h}$ e (b) $12\text{m}^3/\text{h}$ de vazão.

A influência da vazão no sistema de aquecimento é de suma importância, já que para a maior vazão utilizada num teste, tinha-se menor aquecimento no fluido, em relação a uma vazão menor como esta demonstrado (Fig 3).

Para que fosse possível a realizar a montagem mecânica, foi necessária uma adaptação do sistema de tubulações já existente no laboratório, localizado na área de recirculação do tanque misturador.

Para adquirir a informação correta do sistema, foi utilizado um controlador de procesos o qual possui: quatro saídas On/Off, uma saída de controle PID com auto-sintonia, uma entrada analógica, comunicação RS-485 e utiliza o protocolo Modbus.

A transferência dessas variáveis para a sala de controle será feita utilizando comunicação RS-485, que é um meio muito empregado na indústria; a aquisição de dados é distribuída pelo protocolo Modbus, que tem como objetivo estabelecer uma comunicação mestre-escravo cliente/ servidor entre dispositivos inteligentes (Fig.4).

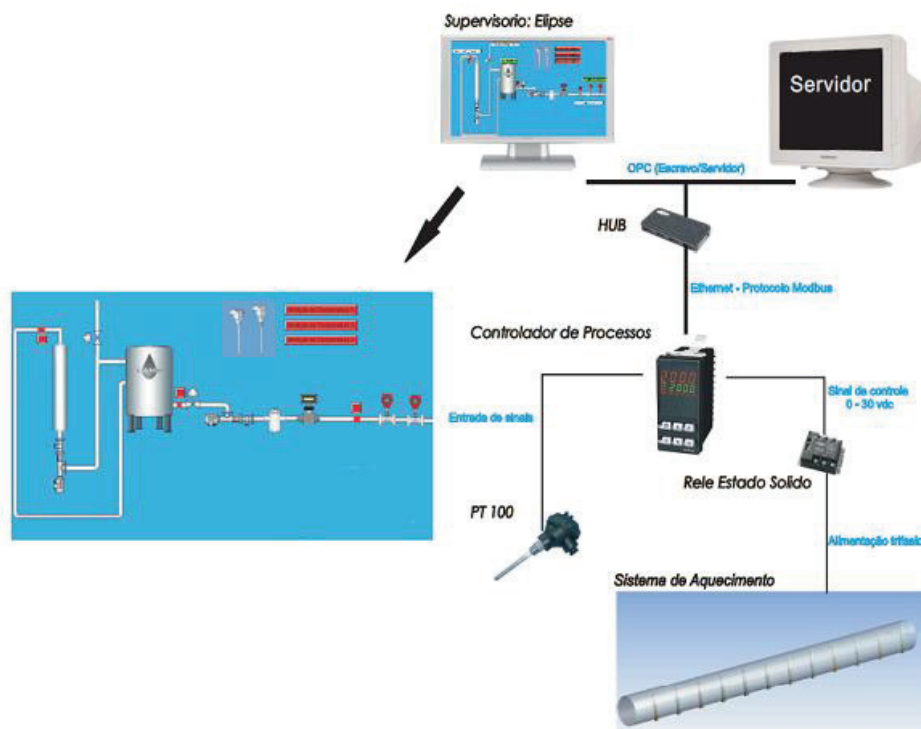


Fig. 4. Instrumentação e comunicação utilizadas no controle do processo.

CONTROLE DO SISTEMA DE AQUECIMENTO

Sistemas de controle tradicionais (P, PD, PID) são o resultado de décadas de pesquisa, sendo um dos enfoques utilizado a obtenção de um modelo matemático idealizado do processo a ser controlado. Geralmente são feitas restrições, como por exemplo, linearizar o processo, ou seja, variações nas entradas produzem variações proporcionais nas saídas. O controle fuzzy oferece uma alternativa para processos que não têm modelagem matemática ou são complexos (não lineares). Nesse caso, o sistema baseado em regras empíricas pode ser mais eficaz que outro baseado em expressões puramente analíticas [12].

O controle implementado foi um Fuzzy-PID, como é mostrado na figura 5.

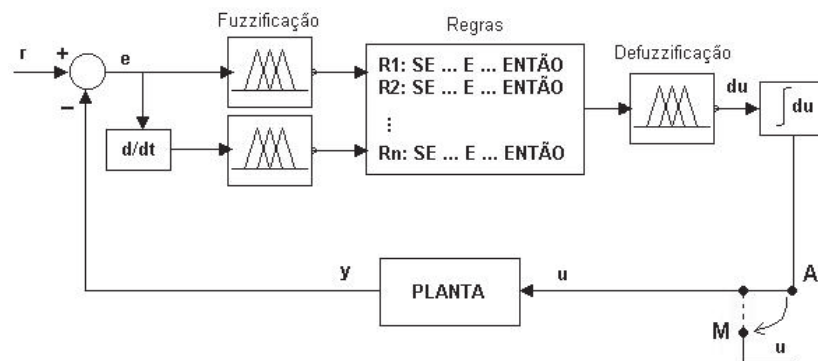


Fig. 5. Sistema de controle fuzzy implementado para o controle do sistema.

O controle foi implementado utilizando a linguagem de programação gráfica LabVIEW [3]. Além do controle, o programa apresenta uma interface gráfica amigável que é responsável pela supervisão: variável do processo, set point, regras fuzzy, alarmes, comunicação serial, protocolo modbus.

Para a implementação do sistema fuzzy, foram utilizadas funções de pertinência triangulares, cinco no erro e cinco na variação do erro, totalizando 25 regras. A fuzzificação foi baseada no método min-max de Mamdani; na etapa de defuzzificação o método implementado foi o COM - centro dos máximos.

Nas figuras 6 pode-se acompanhar o comportamento progressivo do sistema para atingir o alvo de temperatura, no caso 60°C, e também verificar o comportamento do sinal de controle.

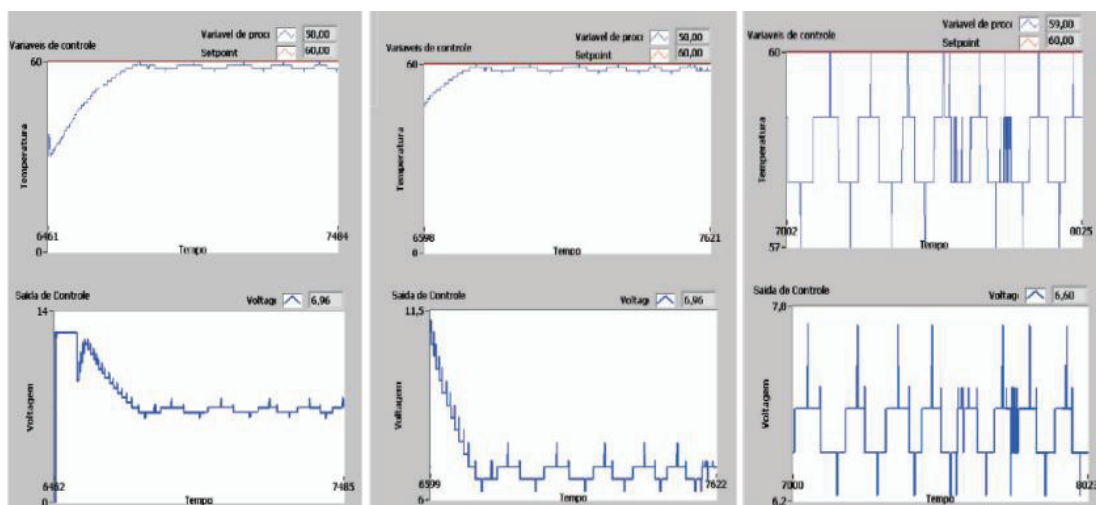


Fig. 6. Compartimento do controle Fuzzy-PID.

CONCLUSÕES:

A temperatura é uma variável importante que influencia diretamente na calibração de medidores de vazão e BSW, e muitas vezes tem que ser corrigida para minimizar a incerteza. As correções têm que ser feitas para poder estimar a influência da temperatura normal no campo de trabalho, em relação à temperatura normal no teste a que são submetidos os medidores.

As resistências de imersão foram avaliadas em função dos requisitos do laboratório e algumas simulações, em diferentes circunstâncias, foram realizadas, de maneira que pode se constatar que é uma alternativa adequada ao sistema de aquecimento do laboratório.

O desempenho de sistemas de inferência fuzzy depende diretamente de vários aspectos relacionados à sua estrutura de implementação. O número de conjuntos associados a cada variável, as formas das funções de pertinência, funções de implicação, operadores t-normas e t-conormas, método de defuzzificação, além de fatores de escala permitem que controladores fuzzy tenham um campo de atuação vasto, devido à sua inerente não-linearidade.

REFERÊNCIAS

1. Díaz AJ, Ortiz SA., Filipe OQ, Iuri AD. Estudo e determinação de um sistema de aquecimento de mistura Água/óleo para avaliação automática de medidores de vazão e BSW, 8º Congresso Iberoamericano de engenharia mecânica, Cuzco, Outubro 2007.
2. Díaz AJ. Projeto e Controle de um Sistema de Aquecimento no Laboratório de Avaliação de Medição em Petróleo, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rio Grande do Norte, Setembro 2008.
3. Filipe OQ, Ortiz SA, André LM, Walter L. Cálculo da incertezada medição para determinação do bsw e da vazão, IV Congresso Rio Automação, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, Rio de Janeiro, 2007.
4. Thomas EJ. Fundamentos de engenharia de petróleo, Relatório técnico, PETROBRAS, Brasil, 2001.
5. Frick, TC, Taylor & Willaim R. *Petroleum Production Handbook*, Volume I, 1962.
6. Lima CEG. Automação de testes de produção e determinação do bsw de poços produtores de petróleo, Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Fevereiro, 2000.
7. Maciel F, Itamar. Correção de densidade e volume tabelas api 2540 e astm d-1250, Relatório técnico, PETROBRAS, Brasil, 2001.
8. Donald E. Beasley, Richard S. Figliola. Teoria e Projeto para Medições Mecanicas, LTC, 2007.
9. Incropera FP, Witt D P. Fundamentos de Transferência de Calor e Massa, Ed. LTC, RJ, Brasil, 1992.
10. ANSYS CFX software delivers powerful computational fluid dynamics ANSYS, Inc, 2006.
11. Creech D. Computational modeling of multiphase turbulent fluid flow and heat transfer in the continuous slab casting mold, Dissertação de mestrado, University of Illinois, Chicago, USA, 1998.
12. Shaw IS, Marcelo GS. Controle e modelagem fuzzy, Edgar Blücher Ltda São paulo, Brasil, 1999.
13. Jurizato L A ,Paulo SRP. Sistemas supervisórios, em Network Technologies, Nova Odessa, Brasil. 2003.
14. Portaria ANP/INMETRO, 2000, Brasil
15. ISO/API, 2000, Brasil