

CONTROLE CENTRALIZADO DE MALHAS DE DUTOS PARA TRANSPORTE DE FLUIDOS IMISCÍVEIS

Maurício Maciel Shiraishi, mauricioshiraishi@petrobras.com.br¹
Fábio Yukio Kurokawa, kurokawa@ita.br²

¹Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobrás

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Mar Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, CEP 12228-900, São José dos Campos

Resumo: *Polidutos ou dutovias são tubulações simples de mesmo diâmetro utilizados para transportar múltiplos fluidos em percursos de longa distância e grandes tempos de operação. Presente em todo o processo de refino do petróleo desde a exploração até a comercialização. Após o refino do petróleo, os produtos derivados (gasolina, nafta, diesel, etc.) são transportados através das dutovias para os terminais de distribuição e embarque. A integridade e qualidade dos produtos transportados das refinarias até os terminais são ameaçadas pela formação de misturas na região de contato entre dois produtos distintos, uma vez que, o transporte é realizado em regime de bateladas seqüenciais. O volume dessas interfaces depende das características químicas dos produtos e das condições das variáveis de controle (pressão e vazão). Os métodos mais utilizados para marcar bateladas são baseados em diferenças de densidade, viscosidade ou de cor. Atualmente, o monitoramento das variáveis críticas é obtido nos terminais e comunicadas via telefone. Observa-se uma perda de produto contaminado de interface muito alta devido ao processo de corte entre os fluidos. Neste trabalho foi realizada uma automatização do processo, no qual foi construído um aparato experimental que simula uma dutovia, em que são transportados dois fluidos imiscíveis, em regime de bateladas. Os resultados mostram a precisão da região de corte (interface entre os fluidos) em tempo real, reduzindo a perda de produto contaminado de interface.*

Palavras-chave: *Polidutos, refino de petróleo, fluidos imiscíveis, automação, refinaria.*

1. INTRODUÇÃO

Polidutos ou dutovias são dutos simples para transporte de múltiplos fluidos em percursos de longa distância e grandes tempos de viagem, Carvalho, *et al.* (2003). Um poliduto opera continuamente com diversos produtos enviados em regime de bateladas seqüenciais, Fig.1, Petrobrás (1995). Uma restrição operacional fundamental é a de garantir a integridade e qualidade dos produtos, ameaçadas pela formação de misturas nas adjacências das interfaces entre os produtos transportados, Souza, *et al.* (2004). Todavia este ônus é compensado pelo fato de que as dutovias serem o método de transporte mais eficiente para petróleo, gás natural e produtos refinados.



Figura 1 - Operação em regime de bateladas, “Batching”.

As bateladas adjacentes se misturam nos pontos de contato, Fig. 2. Estas correntes misturadas podem ser enviadas às refinarias para re-refino representando custos e perdas adicionais que devem ser minimizados.



Figura 2 - Área de interface entre bateladas (mistura).

Vazão lenta nas dutovias pode conduzir a um escoamento laminar. O escoamento laminar faz com que aumente de tamanho a zona de mistura na interface, além de dificultar a tarefa de determinar onde uma batelada termina e outra começa, Petrobrás (1995).

O volume dessas interfaces depende das características químicas dos produtos e das condições das variáveis de controle como pressão e vazão, sendo necessário à operação com os valores dessas variáveis, a fim de manter o fluxo no poliduto estável, evitando uma possível laminação (aumento do volume da interface) do produto decorrente de uma depressurização do poliduto, Souza *et al.* (2004).

O rastreamento de bateladas é o processo utilizado para determinar a localização de cada batelada no sistema de oleodutos. O operador deve estar a par da localização de início e do fim de cada batelada à medida que esta escoe ao longo do sistema, a fim de poder operar um sistema de oleodutos eficientemente, Petrobrás (1995).

A operação contínua entre polidutos é feita através de um controle centralizado, conhecido como controle de malha de dutos, Transpetro (2007). O rastreamento de bateladas pode ser efetuado manualmente. Os sistemas de computadores podem realizar o rastreamento de bateladas captando informações e processando rapidamente, Fig. 3.

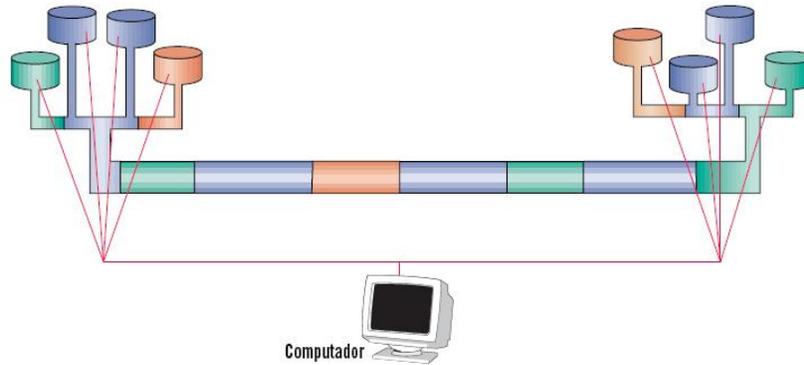


Figura 3 - Captação e processamento das informações de bateladas via computador.

O primeiro sistema de controle centralizado iniciou suas atividades em 1998 com a malha de gasodutos do sudeste. Todo o monitoramento das variáveis críticas, como vazão, pressão e temperatura eram obidas no local das instalações e comunicadas via telefone, Transpetro (2007).

A mudança dos antigos medidores de vazão, pressão, temperatura, densidade e nível, por controle computadorizado, representam o início da transmissão dos dados via satélite, através de estações de monitoração (SCADA), Petrobrás (1995), onde os dados dos sensores dos equipamentos e instrumentos de campo são transmitidos a um computador central, Fig. 5, dando condições ao operador de analisar o sistema monitorado e tomar decisões.



Figura 4 - Fluxo de comunicação entre o operador e os equipamentos e instrumentos de campo.

Este trabalho tem como objetivo a automatização do processo de transporte de fluidos imiscíveis escoando em regime de bateladas, reduzindo as perdas decorrentes das zonas de mistura.

2. MODELAMENTO MATEMÁTICO

O escoamento da interface ao longo da tubulação é equivalente à resolução do problema de difusão turbulenta e multicomponente, Carvalho *et al.* (2003). O deslocamento da mistura e as condições de bombeamento são levados em conta ao servirem para definir o tempo disponível para dispersão de componentes. Este intervalo de tempo corresponde ao tempo de viagem das bateladas no duto.

A equação da continuidade para o composto i ($i = 1, \dots, nc$) é dada pela Eq. 1, assumindo-se o sistema unidimensional segundo a coordenada espacial z e a concentração molar da espécie i ($C_i = C \cdot x_i$), expressa em $gmol / m^3$:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + \frac{\partial N_i}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

As $nc - 1$ relações independentes de Stefan-Maxwell (Taylor & Webb, 1981) entre os fluxos de transporte relativos a observador estacionário, gradientes espaciais de potenciais químicos e coeficientes de transferência de massa são dados pela Eq. (2):

$$\frac{x_i}{RT} \frac{\partial \mu_i}{\partial z} = \sum_{k=1}^{nc} \frac{x_i N_k - x_k N_i}{k_{ik}}; i = 1, \dots, nc - 1 \quad (2)$$

A resolução destas equações demanda a introdução de uma equação extra, a relação de determinância, que define o tipo de fenômeno de transferência que está ocorrendo.

As relações de Stefan-Maxwell podem ser tratadas vetorialmente pela definição das matrizes, Eq. (3):

$$\Gamma_{ij} = \delta_{ij} + x_i \frac{\partial \ln \hat{\phi}_i}{\partial x_j}; B_{ii} = \frac{x_i}{k_{inc}} + \sum_{k=1}^{nc} \frac{x_k}{k_{ik}}; B_{ij} = \frac{x_i}{k_{inc}} - \frac{x_i}{k_{ik}}; i, j = 1, \dots, nc - 1 \quad (3)$$

3. DESENVOLVIMENTO

3.1 Construção do Protótipo

A Fig. 5 mostra a montagem final do protótipo, juntamente com suas partes estruturais e de sistema. Os tanques e as tubulações foram construídos com material de acrílico para uma melhor visualização na transferência dos fluidos. A estrutura desenvolvida foi construída para suportar os tanques e os equipamentos.



Figura 5 - Estrutura e linha de sistema.

Uma visão geral do sistema pode ser observada pelo diagrama de blocos abaixo, Fig. 6.

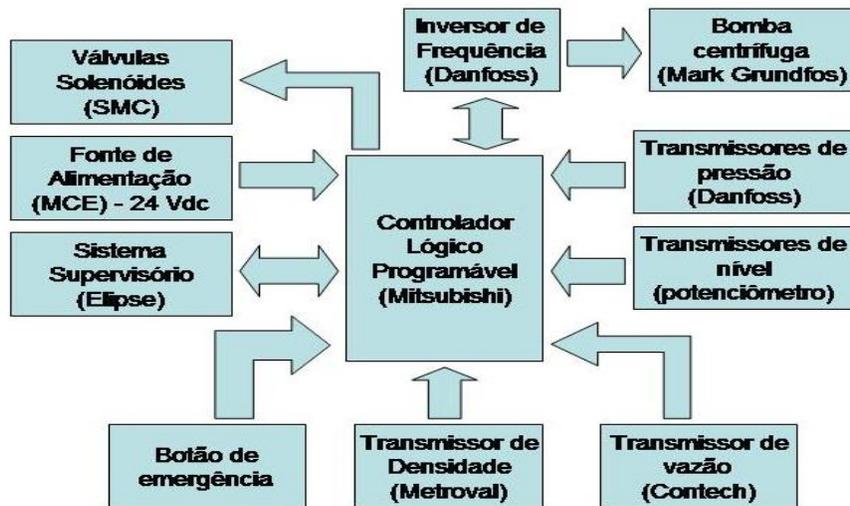


Figura 6 - Diagrama de blocos.

3.2 Esquema hidráulico

O esquema hidráulico, referenciando a disposição dos equipamentos utilizados no protótipo pode ser observada na Fig. 7.

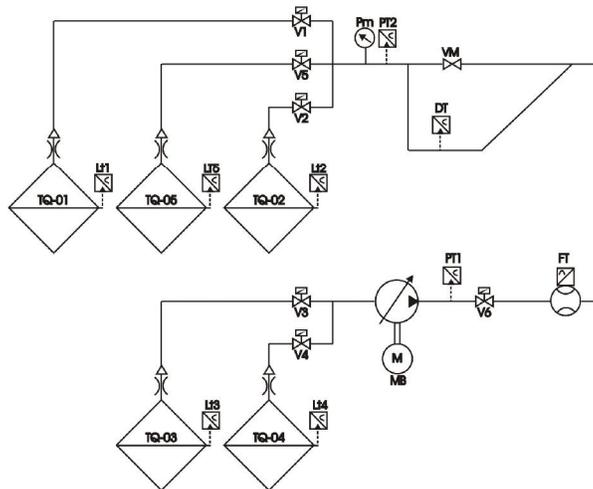


Figura 7 - Esquema hidráulico.

Onde:

- TQ-01: tanque de recebimento de diesel;
- TQ-02: tanque de recebimento de H₂O;
- TQ-03: tanque de envio de diesel;
- TQ-04: tanque de envio de H₂O;
- TQ-05: tanque de recebimento de interface;
- LT1: transmissor de nível do tanque 01;
- LT2: transmissor de nível do tanque 02;
- LT3: transmissor de nível do tanque 03;
- LT4: transmissor de nível do tanque 04;
- LT5: transmissor de nível do tanque 05;
- V1: válvula solenóide do tanque 01;

- V2: válvula solenóide do tanque 02;
- V3: válvula solenóide do tanque 03;
- V4: válvula solenóide do tanque 04;
- V5: válvula solenóide do tanque 05;
- V6: válvula solenóide de descarga da bomba;
- VM: válvula esfera manual;
- MB: conjunto motor-bomba;
- FT: transmissor de vazão;
- PT1: transmissor de pressão da descarga da bomba;
- PT2: transmissor de pressão da chegada do fluido;
- Pm: manômetro indicador;
- DT: transmissor de densidade.

O esquema hidráulico apresentado na Fig. 7, ilustra como as variáveis de controle do processo estão sendo monitoradas em tempo real via supervisorio.

A Fig. 8 mostra o painel elétrico com os equipamentos de controle utilizados no comando e monitoramento dos instrumentos do sistema.

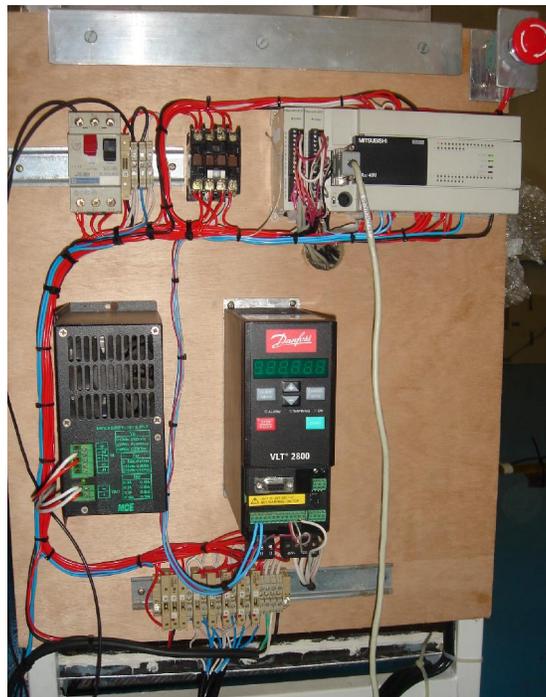


Figura 8 - Painel de controle.

3.3 Software

O Software Elipse E3 (Elipse, 2008) foi utilizado para supervisionar o sistema e proporcionar uma interface de fácil compreensão ao usuário, facilitando a monitoração e a mudança de parâmetros.

A criação de interface é feita de maneira simples e rápida, onde estão disponíveis recursos como sinótico, displays, gráficos de tendência, alarmes, transferência de fluidos, setup de tanques etc. Na tela inicial, Fig. 9, pode-se monitorar todo o sistema.

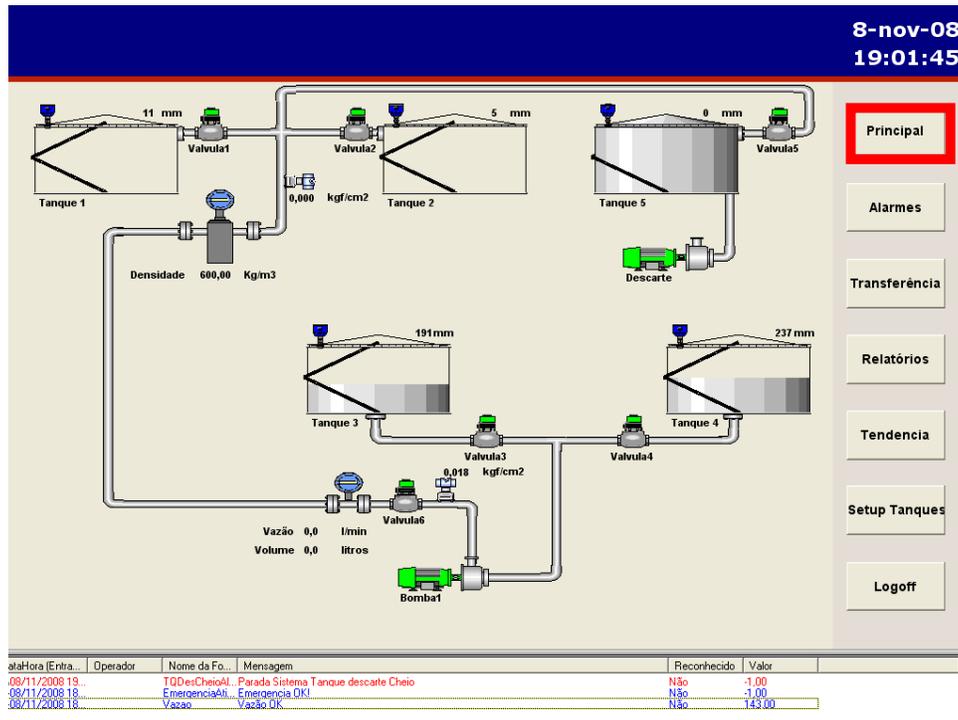


Figura 9 - Tela inicial do supervisor.

Na tela de alarmes o operador pode verificar e analisar os eventos de parada do sistema, Fig. 10.

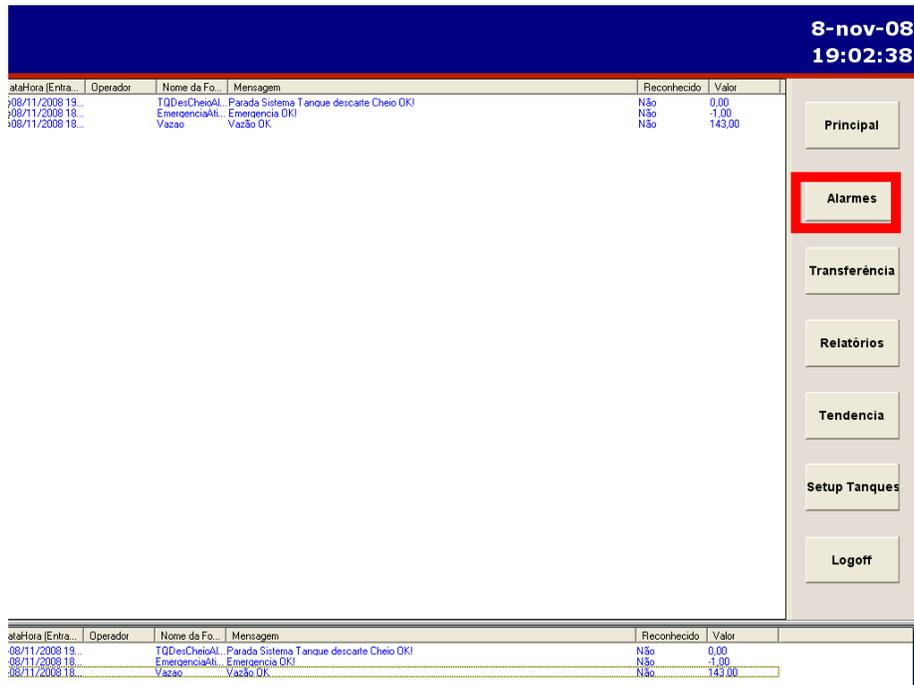


Figura 10 - Tela de alarmes.

Na tela de transferências o operador discrimina a quantidade e o produto a ser enviado, Fig 11.

Figura 11 - Tela de transferência.

Na tela de setup dos tanques, Fig. 12, os dados dos produtos são inseridos e gravados.

Figura 12 - Tela de inserção e gravação dos dados.

4. RESULTADOS

Os testes com as bateladas sequenciais foram divididos em diferentes configurações de volumes a serem enviados, conforme Tab. 1.

Tabela 1 – Configuração das bateladas.

Produtos	H ₂ O	Diesel	H ₂ O	Diesel	Interface
Volumes	10.1	10.1	10.1	10.1	5.18
	5.1	15.1	15.1	5.1	5.63
	15.1	5.1	5.1	15.1	5.53

Nas rodadas de batelada, observou-se uma perda de produto contaminado de interface conforme apresentado na Tab. 1.

Os dados apresentados nos gráficos abaixo foram obtidos através de relatórios armazenados pelo supervisor de onde pode-se obter valores de densidade, pressão e vazão do fluido e o tempo de transição e corte. O comportamento da zona de mistura de interface pode ser observado nas Fig. 13 e Fig. 14.

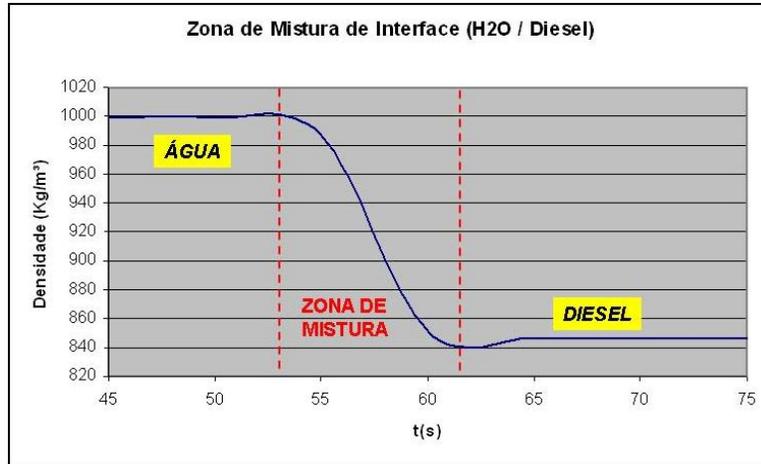


Figura 13 - Gráfico da zona de mistura de interface (H_2O / Diesel).

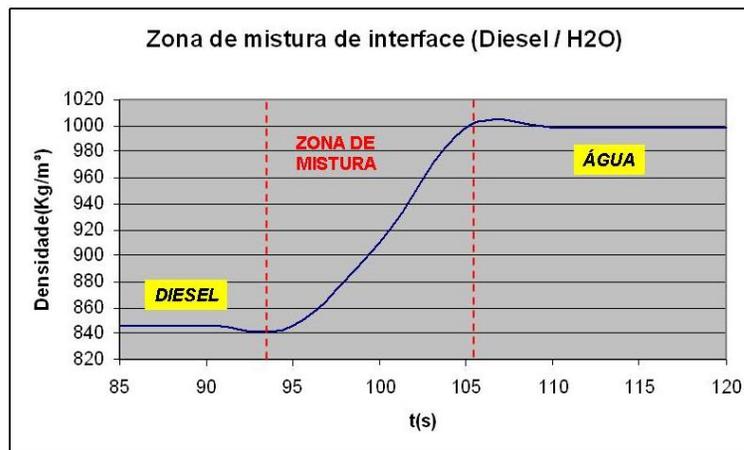


Figura 14 - Gráfico da zona de mistura de interface (Diesel/ H_2O).

Nota-se que a densidade é extrapolada na região de mistura, isto se deve ao fato de se ter um escoamento bifásico nesta região e também que no setup do supervisor se define um valor mínimo e máximo para a densidade dos fluidos transportados.

Observou-se que, independente do volume programado das bateladas o tempo de resposta do corte continuou semelhante (volume de interface constante). Através do monitoramento das variáveis críticas conseguiu-se detectar a fase transitória do escoamento, permitindo um controle centralizado na região de interface, ou seja, garantiu-se um rendimento maior conforme o volume programado entre duas bateladas diminuindo o percentual de perda de produto, Fig. 15, Fig. 16 e Fig. 17.

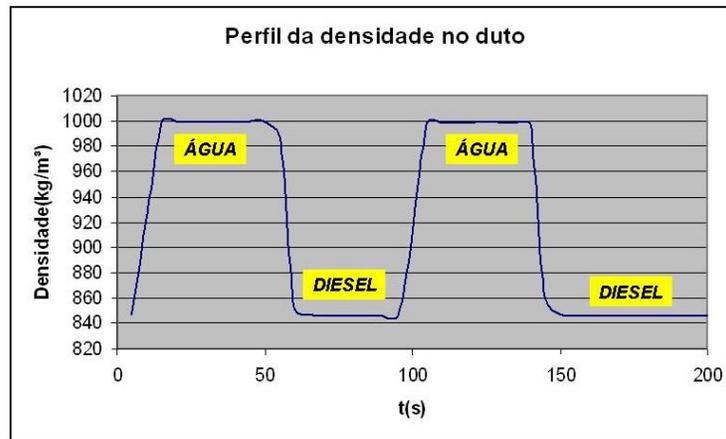


Figura 15 - Perfil da densidade dos fluidos no duto para 10.1L (H₂O) e 10.1L (Diesel).

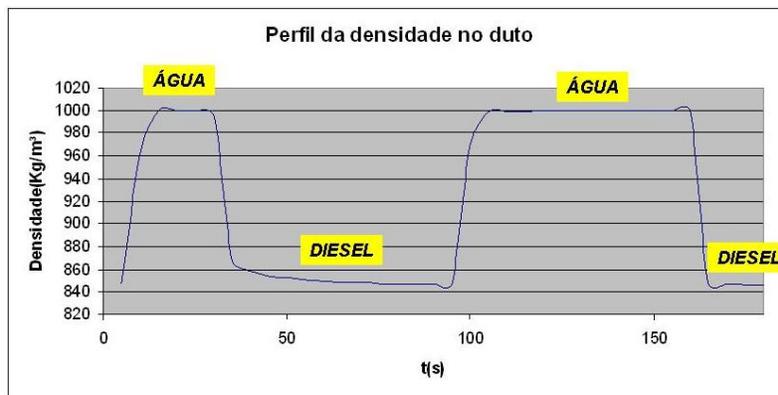


Figura 16 - Perfil da densidade dos fluidos no duto para 5.1L (H₂O) e 15.1L (Diesel).

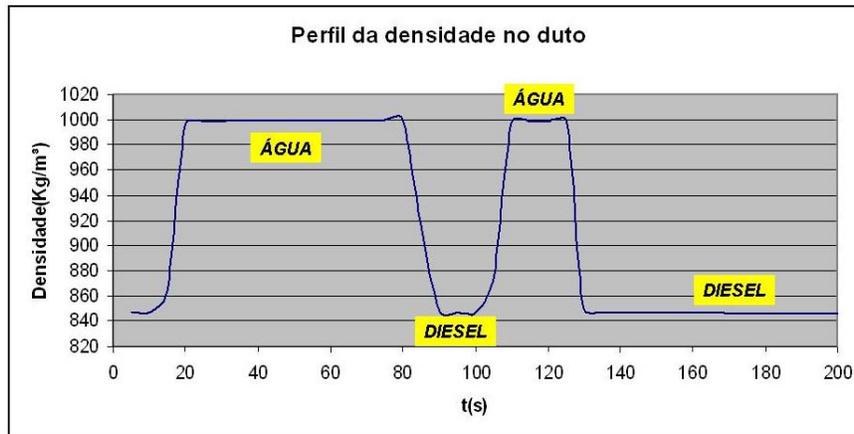


Figura 17 - Perfil da densidade dos fluidos no duto para 15.1L (H₂O) e 5.1L (Diesel).

Observou-se que durante o envio das bateladas seqüencialmente, o perfil do escoamento se altera, conforme Fig. 18. No trecho 1 tem-se o escoamento em regime transitório ocasionado pela variação das variáveis críticas (pressão, vazão e densidade), e escoamento bifásico ocasionado pela operação das eletroválvulas de envio alterando o tipo de produto a ser enviado. No trecho 2 tem-se o escoamento em regime permanente e monofásico em função das variáveis críticas se manterem constantes e pelo fluxo de apenas um produto no duto.

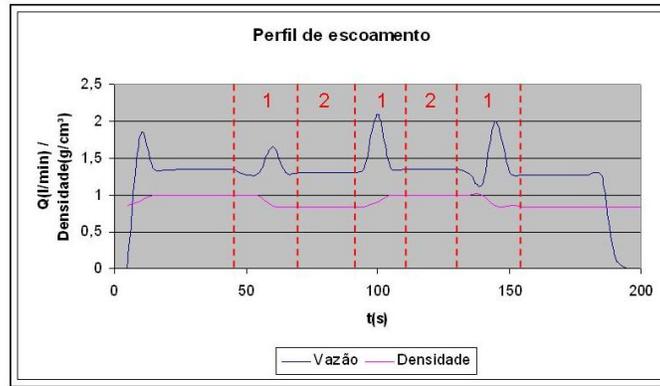


Figura 18 - Perfil de escoamento

5. COMENTÁRIOS FINAIS

Apresentou-se uma metodologia para simulação do acompanhamento operacional de bateladas em poliduto. A metodologia baseia-se no monitoramento em tempo real das variáveis críticas (pressão, vazão, nível e massa específica) do sistema. Conclui-se que com a automatização do processo de transporte em polidutos reduz-se o reprocessamento ou desperdício de produtos de interface.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Petrobrás, Calfer, Metroval, Contech, SMC, Beta Automação, PHM Software, Automotion.

7. REFERÊNCIAS

- Carvalho, H.P.M., Medeiros, J.L. e Araújo, O.Q.F., 2003, "Modelagem Maxwell-Stefan para predição de propriedades e volume de mistura na região de interface de bateladas em sistemas polidutos", Boletim Técnico, Petrobrás, pp. 78-133.
- Elipse Software, 2008, Manual do usuário, Brasil.
- Petrobrás, 1995, "Rastreamento de bateladas", Rio de Janeiro, acesso restrito.
- Petrobrás, 1995, "Introdução ao sistema de controle de oleodutos (SCADA)", Rio de Janeiro, acesso restrito.
- Souza, J.N.M., Medeiros, J.L. e Costa, A.L.H., 2004, "Modelagem dinâmica do escoamento bifásico em risers de exploração de petróleo em águas profundas", Boletim Técnico, Petrobrás, pp. 49-87.
- Taylor, R. and Webb, D. R., 1981, "Film models for multicomponent mass transfer, computational methods: the exact solution of the Maxwell-Stefan equations, Comput. Chemical Eng., pp. 61-73.
- Transpetro, 2007, Revista Petrobrás Transportes, Rio de Janeiro.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.