

PETRO & QUÍMICA

Ano XXXI - nº 318 - 2009

PETRÓLEO - GÁS - PETROQUÍMICA - QUÍMICA
www.clube-do-petroleo-e-gas.com.br e www.petroquimica.com.br



Logística da tecnologia

**Expansão
da malha
de dutos
abre espaço
para inovações
em construção
e materiais**

**Circulação
bônus**

**Rio
Pipeline
2009**
Conference & Exposition
September 22-24

Estudo termohidráulico para ampliação de capacidade de oleodutos

Antônio Geraldo de Souza – Eng. Mecânico – Transpetro

Leonardo Motta Carneiro – Eng. de Dutos – SIMDUT – PUC-Rio

Luis Fernando G. Pires – DSc, Eng. Mecânico – SIMDUT – PUC-Rio

Philipe Barroso Krause – Eng. Mecânico – SIMDUT – PUC-Rio

1. Introdução

Nos últimos dez anos verificou-se um aumento expressivo nas reservas e na produção de petróleo no Brasil. O consumo de derivados vem acompanhando esta elevação e conseqüentemente observa-se uma pressão sobre os meios de transporte encarregados da movimentação destes produtos para as refinarias e para os pontos de consumo. O melhor meio para escoar estes produtos é através de dutos, os quais levam em média cinco anos para serem construídos, dependendo da localização, extensão e diâmetro.

O Brasil é um país em desenvolvimento que possui cerca de 17.000 quilômetros de dutos dos quais 10.000 estão com aproximadamente 40 anos de uso e são utilizados para o transporte de petróleo, derivados e biocombustíveis. Com o aumento da produção e da demanda destes combustíveis surge a necessidade de ampliar a malha de transporte.

A ampliação da capacidade de transporte de um oleoduto remete ao projeto conceitual de todo o sistema de transferência. É preciso estudar todas as alternativas possíveis para cumprir a movimentação solicitada, considerando substituição de trechos do duto, substituição de bombas, construção de estações intermediárias, redimensionamento do sistema de segurança, mudança da composição das misturas, a utilização de redutores de atrito ou, em último caso, até a construção de um novo duto (Carneiro, 2008). Neste cenário, a utilização de simuladores computacionais de dutos torna-se uma ferramenta imprescindível para a definição das novas condições termohidráulicas tendo em vista o grande número de variáveis envolvidas e a velocidade de resposta requerida para a tomada de decisão.

O presente trabalho tem como objetivo abordar os pontos que devem ser analisados para realizar um estudo de ampliação de um duto do ponto de vista termohidráulico, analisando dois casos como exemplo.

2. Parâmetros

O primeiro passo do projeto de ampliação de um duto deve ser o levantamento das características das instalações e equipamentos que o compõem. Devem ser também definidas as condições operacionais do duto.

2.1. Levantamento das instalações

A verificação da integridade estrutural do duto é obtida através dos históricos de operação, inspeção e manutenção. O perfil de elevação do duto, com espessuras de parede e materiais é fundamental para os estudos; normalmente faz parte da documentação de projeto do duto, mas também podem ser obtidos através de relatórios de passagem de pig instrumentado. A documentação dos últimos testes hidrostáticos realizados também é relevante, pois as pressões dos testes aplicadas em cada ponto do duto em conjunto com os materiais e espessuras de parede e verificações da integridade estrutural definem a PMOA (Pressão Máxima Operacional Admissível) do duto.

2.2. Plano de movimentações de produto

As movimentações de produtos desejadas após a ampliação devem ser definidas estabelecendo basicamente uma origem, um destino, a rota de dutos ou trechos utilizados para a transferência e o volume a ser transferido. Com estes dados levantados é possível definir o planejamento operacional de forma a maximizar o fator de utilização dos dutos.

2.3. Condição operacional do duto

Deve ser definida na fase de projeto se o duto operará com coluna aberta ou fechada. A terminologia coluna fechada significa que se fizermos um corte transversal em qualquer posição ao longo do duto, da sua origem até o seu destino, a sua área transversal estará completamente cheia de líquido (Figura 1). Na operação com coluna aberta, em alguns pontos, geralmente após picos de elevação, o duto apresentará líquido e produto vaporizado simultaneamente. Isso ocorre quando a pressão em um ponto do duto é menor do que a pressão de vapor do produto.

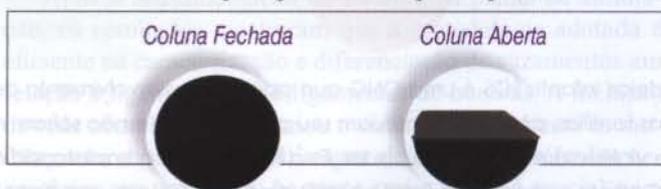


Figura 1 – Seção transversal com coluna fechada e aberta.

Com coluna fechada, os sistemas de detecção de vazamento conseguem resolver o cálculo do balanço de massa com uma grande precisão e identificam eventuais vazamentos com facilidade, o que não ocorre com a operação com coluna aberta onde possíveis vazamentos são mais difíceis de serem observados principalmente na partida e na parada do duto, quando se passa por um regime transiente. Porém, para fechar coluna, os dutos operam com pressões mais altas, aumentando o risco operacional (Silva, 2007).

3. Opções para ampliar a transferência de produto

A ampliação de um duto tem como objetivo aumentar a vazão para o produto atual ou com um novo produto, ou a manutenção da vazão atual porém com um produto de maior densidade/viscosidade. Existem algumas formas de alcançar este objeto, porém é preciso estudar as alternativas para definir qual, ou qual a combinação delas, que possui o melhor custo-benefício e que atenda as condições do projeto.

3.1. Troca das bombas

A primeira opção cogitada para realizar a ampliação é a troca das bombas que são utilizadas no duto. Porém deve ser verificado se as bombas atuais estão trabalhando com válvulas da descarga estranguladas. Esta condição é encontrada no campo quando se deseja operar com vazões menores, por exemplo, devido a restrições no duto.

Instalando novas bombas com maior capacidade e potência, se obtém maiores pressões de envio e por consequência maiores vazões. O dimensionamento mecânico das bombas está atrelado à curva do sistema, à quantidade de transferência de produto necessária, ao custo e aos fornecedores existentes no mercado.

3.2. Troca do duto e teste hidrostático

Com a troca de bombas e conseqüentemente o aumento das pressões pode ser necessário trocar alguns trechos do duto por outros com o mesmo diâmetro e espessura maior, possibilitando a operação com maiores pressões. Uma opção é refazer o teste hidrostático (TH). Isso só é possível quando o duto possui uma pressão de projeto acima da pressão dos testes hidrostáticos já realizados. Neste caso deve ser projetado um novo teste seguindo as normas de projeto do duto (por exemplo ASME B31.4), otimizando os seguimentos de teste e elevando a pressão do teste a 90% do limite de escoamento mínimo especificado do material (SMYS).

3.3. Construção de duto paralelo

A construção de um duto paralelo é uma solução para reduzir a perda de carga em um ou mais trechos do duto, permitindo aumentar a vazão. É recomendável que o duto paralelo seja construído com o mesmo diâmetro do duto ampliado, para que a velocidade do fluido em ambos os ramais seja a mesma, evitando recirculações e refluxo na junção do trecho duplicado. Esta alternativa de ampliação é rara em oleodutos, porém muito comum em gasodutos.

3.4. Construção de estação intermediária

Com esta metodologia, consegue-se aumentar a vazão, pois a elevação da perda de carga devido ao aumento da vazão é compensada pela energia de bombeamento acrescentada pelas novas estações.

Está é uma boa solução, pois o duto pode operar até com pressões menores do que as originais e atinge o objetivo de aumento de vazão, porém o consumo energético é maior do que nas outras alternativas apresentadas. A definição do ponto de instalação da estação intermediária deve ser feita com cautela, uma vez que as faixas e dutos passam por regiões isoladas onde pode não haver energia elétrica disponível com facilidade.

4. Redimensionamento dos sistemas de controle e segurança

Os dutos possuem equipamentos de controle e de segurança que são projetados para certas pressões, vazões e produtos. Com a ampliação, eles podem necessitar de redimensionamento. Tipicamente são utilizadas válvulas de controle (PCV), para controlar a pressão de envio e de recebimento, a vazão e até a potência nas bombas. Com as alterações operacionais, estes parâmetros têm que ser reajustados.

A proteção do duto pode ser realizada por diversos mecanismos, desde intertravamentos, passando por válvulas de fechamento rápido e válvulas de alívio de pressão (PRV). Neste último caso, na eventualidade de algum transiente no duto que eleve a pressão acima do ponto de ajuste, a válvula abre e alivia a pressão escoando o fluido para um tanque. Após o alívio de pressão a válvula volta a fechar. No caso de intertravamentos, como o monitoramento da pressão de descarga das bombas, estas são desligadas automaticamente se a pressão ultrapassar um determinado valor. Novamente, todas estas proteções devem ser reavaliadas em função das novas

Flow-Tek VOCÊ SABIA QUE...
A subsidiária Bray

Alavanca com trava, evita o acionamento acidental

Base ISO, facilita a montagem do atuador

O anel prato mola, auto ajusta o engastamento

Anel em PEEK, evita desgaste da gaxeta

Fire Safe

Porca e parafusos de aço inox

TUDO ISSO É PADRÃO
Flow-Tek

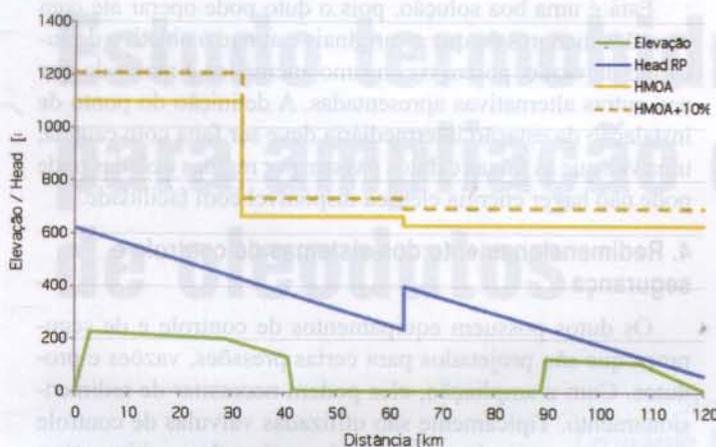


Figura 2 - Gradiante hidráulico atual do duto A.

condições operacionais.

5. Resultados

Para ilustrar alguns cuidados a serem observados nos projetos de ampliação de dutos serão apresentados dois dutos teóricos. No Duto A são apresentadas duas soluções para uma mesma solicitação de ampliação. No Duto B são apresentadas as soluções para três solicitações diferentes de ampliação.

5.1 - Duto A

O Duto A, de 24" de diâmetro e possui a seguinte configuração:

§ Estação de Envio (EE): 1 tanque; 3 bombas auxiliares em paralelo; 4 bombas principais em série (uma reserva); 1 PCV na descarga de cada bomba

§ Estação Intermediária (EI): By-pass da estação; 2 bombas em série (uma reserva); 1 PCV a jusante de cada bomba

§ SDF Estação de Recebimento (ER): 4 PRVs a montante; 1 PCV; 1 tanque

O duto opera com arranjo 2A+3P+1P (2 bombas auxiliares e 3 principais no envio e 1 bomba na estação intermediária). O gradiente hidráulico (head) da situação atual do Duto A, em regime permanente (RP), transportando o produto PA, com densidade de 0,872 e viscosidade de 19,4 cSt à 20°C, é apresentado na Figura 2. Nesta figura é apresentado também o head máximo de operação admissível (HMOA). O duto possui vazão de 1800m³/h operando com coluna fechada O consumo total nas bombas é de 5,6 MW.

Para a ampliação deseja-se transferir produtos com viscosidade até 130% maior do que a do produto atual e com uma vazão 10% maior do que as utilizadas no projeto original do duto. Foram estudadas duas alternativas para atender as novas condições. Na primeira (A1), as bombas atuais da estação de envio são aproveitadas na EI e instalam-se quatro bombas novas e mais potentes na EE. Na segunda (A2), as bombas da EI são trocadas por bombas novas mais potentes e as bombas da EE são mantidas. Ambas as alternativas operam com o arranjo de 2 bombas au-

Alternativas Estudadas		FU/dia operando no HP	FU/dia sem operar no HP	FRE	Potência consumida nas bombas	% km para troca
A1	Bombas da EE na EI e bombas novas na EE	82%	92%	1,03	11,35 MW	45%
A2	Bombas novas na EI e bombas atuais na EE	84%	94%	1,01	12,44 MW	29%

Tabela 1 - Resultados do duto A

xiliares e 4 principais na EE e 3 principais na EI.

Na alternativa A1, em regime permanente, transportando o produto PA1, 130% mais viscoso, obtém-se uma vazão de 1934m³/h operando com coluna fechada. O head de regime permanente (Head RP) e o head máximo (Head MAX), de todos os possíveis cenários de falhas, são apresentados na Figura 3a, onde a HMOA é a PMOA conver-

Figura 3 - Gradientes hidráulicos do duto A.

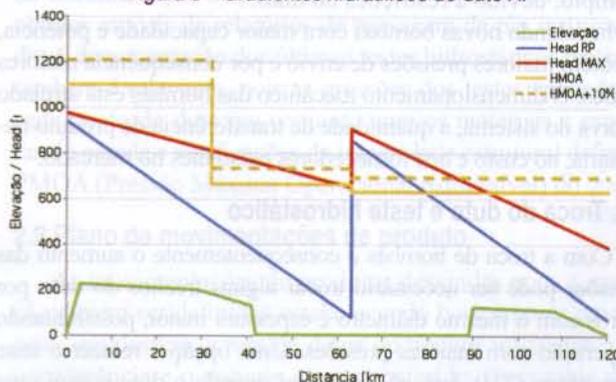


Figura 3a - Gradiante hidráulico da alternativa A1.

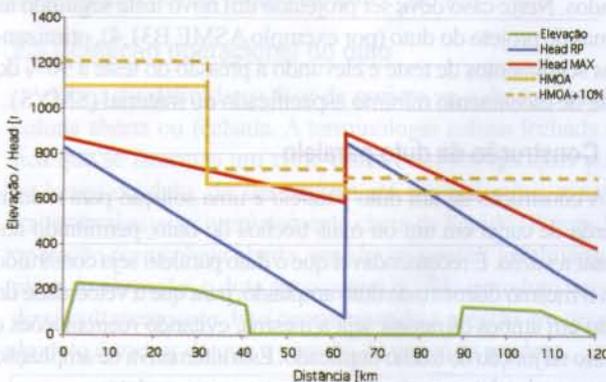


Figura 3b - Gradiante hidráulico da alternativa A2.

tida para metro de coluna de líquido.

Na alternativa A2, em regime permanente, transportando o produto PA1, 130% mais viscoso, obtém-se uma vazão de 1890m³/h operando com a coluna fechada. O Head RP e o Head MAX, de todos os possíveis cenários

de falhas, são apresentados na Figura 3b.

Para as duas alternativas verificou-se que a substituição de trechos de dutos e o redimensionamento do sistema de segurança e alívio foram inevitáveis. Na primeira (A1), verificou-se que 45% do duto deveriam ser trocados e na segunda (A2) 29%, conforme a Tabela 1

Para avaliar as opções de ampliação foi utilizado o Fator de Utilização (FU) com o duto operando ou não no horário de ponta (HP). Neste período de tempo, 17:30 às 20:30h, o custo de energia elétrica é mais alto, o que aumenta o custo operacional do duto. O valor sugerido de projeto para o FU é de no máximo 85%.

Também foi utilizado o Fator de Recuperação de Es-toque (FRE) que contempla o tempo de parada no horário de ponta, o tempo para procedimentos de partida e parada do duto e a disponibilidade para intervenções. É esperado no projeto que o FRE fique entre 1,1 e 1,2.

Analisando os resultados da Tabela 1, o FU sem operar no horário de ponta (HP) ficou acima do esperado, o FRE ficou baixo e os percentuais de troca do duto ficaram altos nas duas alternativas de ampliação. Neste caso, a melhor solução poderia ser a construção de um novo duto na mesma faixa, pois o custo de ampliação somado ao custo de parada do duto atual poderia alcançar o custo de um novo duto.

5.2 – Duto B

O perfil de elevação do Duto B, de 24” de diâmetro, é ascendente e bastante acidentado. Existem no duto duas estações intermediárias para vencer a diferença de altitude entre a origem e o destino. A configuração atual opera com arranjo 1A+3P+3P+4P, da seguinte forma:

- § Estação de Envio (EE): 1 tanque; 2 bombas auxiliares em paralelo; 4 bombas principais também em paralelo; 1 PCV na descarga de cada bomba; 4 PRVs a jusante do lançador de pig
- § Estação Intermediária (EI1): 4 PRVs a montante da estação; 4 bombas em paralelo; 1 PCV a jusante de cada bomba; 4 PRVs a jusante da estação
- § Estação Intermediária (EI2): 4 PRVs a montante da estação; 5 bombas em paralelo; 1 PCV a jusante das bombas; 4 PRVs a jusante da estação
- § Estação de Recebimento (ER): 4 PRVs a montante; 1 PCV; 1 tanque

O Gradiente hidráulico da situação atual do Duto B, em regime permanente (RP), transportando o produto PB, com de densidade 0,891 e viscosidade de 53,5cSt à 20oC, é apresentado na Figura 4a. O duto possui uma vazão de 1300m³/h operando com coluna fechada. O consumo total nas bombas é de 12,14 MW.

No Duto B, a ampliação visa permitir a transferência de novos elencos de petróleos considerando também um aumento da vazão, preferencialmente sem necessitar da troca de trechos de duto. Foram estudadas três alternativas para atender a estes requisitos. Na primeira (B1), tem-se um petróleo cinco vezes mais viscoso que o atual, e uma vazão 10% menor que a atual. Na segunda (B2), utiliza-se o mesmo petróleo do primeiro caso, mas com uma vazão 20% maior. Na terceira (B3), usa-se um petróleo

Figura 4 – Gradientes hidráulicos do duto B

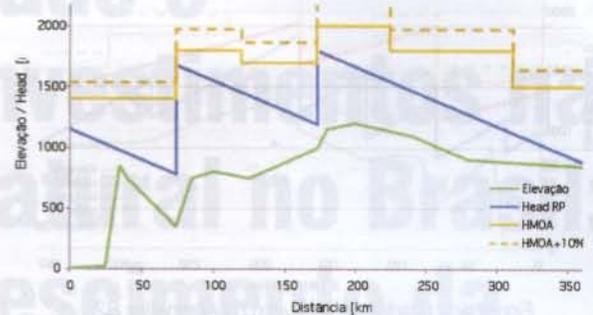


Figura 4a - Gradiente hidráulico atual do Duto B

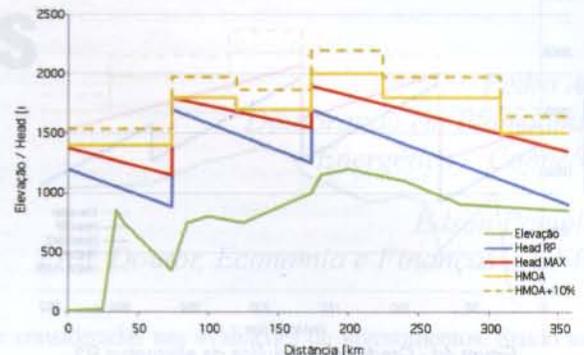


Figura 4b - Gradiente hidráulico da alternativa B1

A Carbinox tem um mundo de soluções para você.

São mais de 2 décadas de tradição em fornecimento de Aço Inoxidável, Ligas Especiais e Super Ligas.

A Carbinox é uma empresa que atua há mais de 20 anos oferecendo soluções em produtos para grande parte das indústrias brasileiras. Conta com uma equipe de vendas altamente qualificada, amplo estoque e transporte ágil e eficiente, através de um moderno sistema de logística. Tudo isso para levar até você a qualidade e a confiança que faz da Carbinox uma referência nacional neste competitivo mercado.



www.carbinox.com.br
Matriz: 11 4795-9000
Filial: 62 3281-6191



Divisão Inoxidáveis
Divisão Elétrica/Hidráulica
Divisão Trading

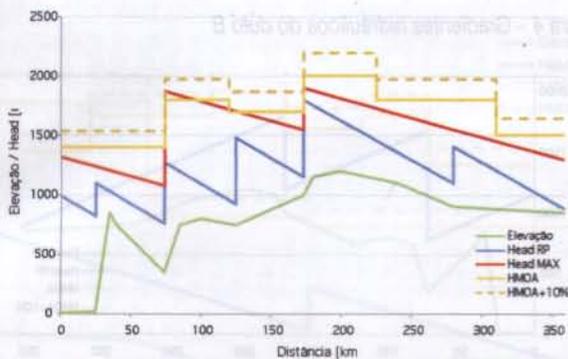


Figura 4c - Gradiante hidráulica da alternativa B2

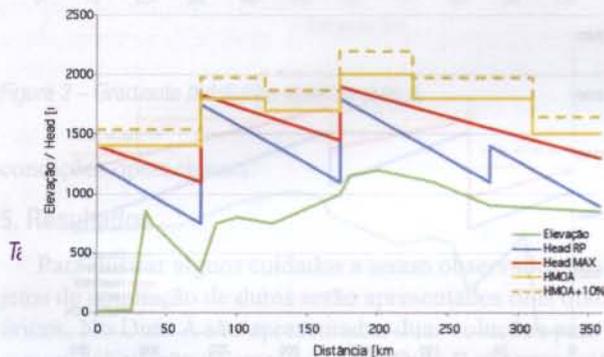


Figura 4d - Gradiante hidráulica da alternativa B3

três vezes mais viscoso que o atual e uma vazão 20% maior.

Na alternativa B1, a vazão requerida é atingida, mas o duto encontra-se no seu limite de capacidade de transferência. Em regime permanente, transportando o produto PB1, com 267,5cSt, obtém uma vazão de 1185m³/h operando com o arranjo 1A+3P+3P+4P, coluna fechada e sem as PCVs das bombas estarem atuando. Foi necessário também alterar os ajustes das PRVs. O Head RP e o Head MAX, de todos os possíveis cenários de falhas são apresentados Figura 4b.

Para atender as premissas da alternativa B2 foi necessário prever a instalação de três novas estações de bombeamento intermediárias, a troca de bombas numa das antigas estações e a alteração dos ajustes das PRVs. Nos transientes de cenários de falhas foi percebida a necessidade de refazer o Teste Hidrostático (TH) de 7% do duto dividido em dois trechos para elevar a PMOA, sendo eles: após a EI1 e após nova estação de bombeamento intermediária localizada entre a EI1 e a EI2. Em regime permanente, transportando o produto PB1, 500% mais viscoso, obtém-se uma vazão de 1500m³/h operando com o arranjo 1A+3P+3P+3P+3P+4P+2P e coluna fechada. O Head RP e o Head MAX, de todos os possíveis cenários de falhas são apresentados na Figura 4c.

Para atender as premissas da alternativa B3 foi necessário prever a instalação de uma nova estação de bombeamento intermediária, a usinagem dos rotores das bombas na estação de envio, a troca das bombas numa das antigas estações e a alteração dos ajustes das válvulas de alívio. Nos transientes de cenários de falhas foi percebida a necessidade de refazer o TH de 2,8% do duto em um trecho após a EI1. Em regime permanente, transportando o produto PB2, 300% mais viscoso, obtém uma vazão de 1500m³/h operando com o arranjo 1A+3P+3P+4P+3P na condi-

ção de coluna fechada. O Head RP e o Head MAX, de todos os possíveis cenários de falhas são apresentados na Figura 4d.

A Tabela 2 resume os resultados obtidos em cada alternativa. Analisando os resultados da Tabela 2, o FU sem operar no horário de ponta (HP) ficou acima do esperado, o FRE está dentro do esperado e os percentuais de troca do duto ficaram baixos nas três alternativas de ampliação.

Alternativas Estudadas	FU/dia operando no HP	FU/dia sem operar no HP	FRE	Potência consumida nas bombas	% km para TH
B1 Bombas atuais com produto 5 vezes mais viscoso (90% da vazão atual)	84%	95%	1,12	14,02 MW	0%
B2 Mais 3 EI com produto 5 vezes mais viscoso (120% da vazão atual)	83%	91%	1,14	25,42 MW	7%
B3 Mais 1 EI com produto 3 vezes mais viscoso (120% da vazão atual)	83%	93%	1,20	15,23 MW	2,8%

7. Conclusões

Quando as projeções de ampliação são feitas, deve-se estar sempre atento a realidade do duto. Nos casos onde é necessária a instalação de estações intermediárias, a localização não deve ser escolhida somente devido às características hidráulicas, mas em locais onde seja possível instalá-las por questões ambientais, de infra-estrutura e de localização de propriedades privadas. Na maioria dos estudos de ampliação deve-se ter como objetivo minimizar a troca de trechos de duto, devido às dificuldades e custos inerentes a uma obra desta natureza, e aproveitar o maior número de bombas atuais. Desta forma, minimiza-se o valor total investido no empreendimento.

Além de bombas e trecho de dutos, outros equipamentos como válvulas de controle, válvulas de alívio e intertravamentos devem ser reavaliados e ajustados as novas condições operacionais.

Conclui-se que cada duto converge para uma solução própria, pois se trata de um estudo com muitas variáveis técnicas, econômicas e ambientais, além de diversas variáveis de caráter estratégico.

8. Referências

SILVA B.G., PIRES L.F.G., e CARNEIRO L.M. - Análise das Variáveis Relacionadas ao Projeto de Operação de Oleodutos com Coluna Cheia, IBP1149_07, Rio Oil & Gas 2007, Rio de Janeiro, 2007.

CARNEIRO L.M., KRAUSE P.B., PIRES L.F.G. e SOUZA A.G., - Estudo Termohidráulico para Ampliação de Capacidade de Oleodutos, Rio Oil and Gas Conference, 2008, IBP 1997-08, Rio de Janeiro, 2008