

IBP1236_07

PROCEDIMENTO PARA SIMULAÇÃO TERMOHIDRÁULICA DO
PLANO DIRETOR DE DUTOS DE SÃO PAULO
Luis F. G. Pires, Cláudio V. Barreto², José Plasencia C.³, Breno Silva⁴

Copyright 2007, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação na *Rio Pipeline Conference & Exposition 2007*, realizada no período de 2 a 4 de outubro de 2007, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais da *Rio Pipeline Conference & Exposition 2007*.

Resumo

Grande parte da malha de dutos de São Paulo está situada em faixas na região metropolitana da capital. O Plano Diretor de Dutos de São Paulo prevê modificações da malha que incluem a desativação de dutos, a instalação de novos dutos e relocação de outros em faixas existentes ou novas de forma a elevar os padrões de operacionalidade, manutenção e segurança, afastando os mesmos de regiões densamente povoadas. Como as modificações físicas também implicam em alterações na logística de movimentação dos produtos, a viabilidade destas mudanças deve ser confirmada via simulação computacional do sistema como um todo. A malha de dutos de São Paulo é a mais complexa do Brasil, envolvendo movimentação de produtos claros (com diesel e gasolina), escuros (óleo combustível), petróleo e gás natural. Assim, foi necessário estabelecer uma metodologia padronizada que permitisse que as simulações pudessem ser realizadas no curto prazo estipulado. No presente trabalho é feita uma breve descrição de cada duto/sistema e são apresentados os dados básicos necessários para realizar a simulação. A seguir são discutidas as premissas adotadas e os cenários de operação em estado permanente e transiente. Com estas informações para cada duto/sistema são desenvolvidos modelos computacionais para serem utilizados em dois programas de simulação comerciais de uso na indústria. Os resultados das simulações procuram indicar se as operações previstas podem ser atendidas e se o duto pode operar de forma segura nos diferentes cenários de falha. Informações complementares, como gradiente hidráulico, gráficos de máxima e mínima pressões e vazões também são fornecidos. Por fim, sempre que uma condição prevista não é atendida, são apresentadas alternativas de mudanças de projeto para o atendimento do requerido pela logística.

Abstract

A significant part of the São Paulo's pipeline network is located in the metropolitan region of the capital. The Pipeline Director Plan of São Paulo considers network modifications that include the shutdown of existent pipelines, the installation of new pipes and the relocation of others in new or existent routes in order to improve the standards of operation, maintenance and safety. Because the physical modifications also involve alterations of the logistic of products, the viability of these changes must be confirmed by computational simulation. The São Paulo pipeline network is the most complex of Brazil, involving the transport of fuel oil derivatives and natural gas. Thereby, it was necessary to set a standard methodology that allows that the thermohydraulic simulation can be done in the short period of time available. In the present paper is made a general description of each pipeline/system and is also presented the basic information necessary to perform the simulation. Here are discussed the premises adopted and the operation sceneries for both the steady and unsteady states. Based on this information, for each pipeline/system are developed computational models to be used in two commercial pipeline simulation programs, commonly used by the industry. The simulation results attempt to show if the logistic programmed can be completed and if the pipeline system operates safety in all the sceneries. Additional information, as the hydraulic head gradient, charts of maximum and minimum pressures and volumetric flow are also given. When operational problems are detected due to limitations of the system, different alternative solutions are given in order to assure the programmed logistic.

¹ Doutor, Engenheiro Mecânico – SIMDUT / PUC-Rio.

² Engenheiro Mecânico – SIMDUT / PUC-Rio.

³ Mestre, Engenheiro Mecânico – SIMDUT / PUC-Rio.

⁴ Engenheiro Mecânico – EDUT / Petrobras.

1. Introdução

Durante anos a PETROBRAS expandiu sua malha de dutos para atender à crescente demanda por derivados de petróleo na grande São Paulo. Com o passar do tempo, a cidade cresceu e alcançou as faixas implantadas pela empresa na periferia. Atualmente, grande parte da malha de dutos de São Paulo está situada em faixas na região metropolitana da capital. A PETROBRAS estabeleceu como objetivo elevar o padrão de convivência entre faixas e comunidades vizinhas, diminuindo os riscos potenciais inerentes ao transporte de gás natural, petróleo e seus derivados em regiões densamente povoadas ou com alto potencial de crescimento. Para adequar o sistema a este novo padrão, estão previstas modificações da malha que incluem a desativação de trechos de dutos, a instalação de novos dutos e a modificação de condições operacionais de outros. Este projeto constitui o Plano Diretor de Dutos de São Paulo (PDD-SP).



Figura 1. Macrolocalização das modificações a serem feitas nas faixas de dutos de São Paulo

A Figura 1 apresenta as faixas que serão mantidas, as que não serão mais utilizadas para dutos de transporte, as que serão abertas e aquelas de deverão ter ramais para as companhias de distribuição. Grande parte das operações do Terminal de São Caetano do Sul serão descontinuadas. Será construído um novo terminal, ao lado da Refinaria de Capuava (RECAP), denominado de Terminal de Mauá. O Terminal de Guararema também deverá sofrer uma ampliação para atender as suas novas funções.

Com todas estas modificações físicas, é inevitável ocorrerem também mudanças na logística de fornecimento de produtos em São Paulo. Desta forma, foi necessário o estudo de viabilidade destas novas operações, mediante simulação computacional. A seguir, são apresentados os procedimentos empregados para este fim, mostrando alguns dos resultados e conclusões baseados nos cenários previstos para o futuro de fornecimento.

2. Sistemas Envolvidos

2.1. Petróleo

O sistema atual de petróleo que sofre maior pressão da mancha urbana é o que garante fornecimento para a Refinaria de Capuava (RECAP). Atualmente, este sistema é formado por uma linha de petróleo DN 12" para o

escoamento entre a baixada santista e a capital. O Plano Diretor de Dutos de São Paulo prevê a desativação da parte deste duto situada na mancha urbana, como mostra a Figura 1. Para garantir o fornecimento de petróleo para a refinaria, será construído novo trecho deste oleoduto utilizando a nova faixa de dutos que contornará a mancha urbana, até a região de Suzano. O sistema, depois da implantação do projeto, será composto pelo duto de escoamento entre a baixada santista e a capital por uma linha DN 12" e uma estação de bombeamento no alto da serra.

2.2. Escuros

O PDD-SP prevê a desativação dos dutos instalados na mancha urbana na faixa que interliga o terminal de Guarulhos à capital. Para substituir o uso destes dutos, será construído um novo duto entre Paulínea (região de Campinas) e Guararema, além de outro interligando Suzano ao novo terminal em Mauá, utilizando-se as faixas existentes, trechos de novas faixas e alargamento de faixas existentes para corredores. Estas modificações permitirão que óleo combustível seja transportado das refinarias do interior de São Paulo (REVAP e REPLAN) até a baixada santista, sem utilizar nenhum duto situado na mancha urbana da região metropolitana.

2.3. Claros

O sistema mais complexo a ser modificado é o de produtos claros, onde existem dutos fazendo o transporte entre refinarias e terminais, grande parte na região metropolitana. Com a implantação do PDD-SP, os dutos de transporte e transferência que passam nestes trechos terão suas funções atendidas por novos trechos de dutos a serem construídos em faixa que contornará a mancha urbana e que agora terminam no novo terminal a ser instalado em Mauá. Será construída uma nova estação de bombeamento em São Bernardo do Campo, e um novo duto de claros entre o Terminal de Mauá e Guararema. O terminal de Guarulhos, que fornece combustível de aviação ao aeroporto internacional, passa a receber claros de Guararema, e não mais é interligado aos terminais da capital (Barueri e São Caetano do Sul).

Com a configuração nova, os derivados claros das refinarias do interior passam a ser transportados para Guararema e daí para Guarulhos e Mauá, próximos ao centro consumidor. A refinaria da baixada passa a enviar seus produtos para Mauá e Guararema.

O efeito destas modificações é a mudança da filosofia de operação dos terminais de São Paulo, que atualmente estão interligados uns aos outros. Com a nova configuração, teremos um encaminhamento em série de dutos, com os terminais da capital sendo agora estações intermediárias, com funções de atendimento de mercado e de logística de transporte.

2.3. Gás Natural

O Plano Diretor de Dutos de São Paulo prevê a desativação de parte da faixa que interliga a capital à baixada santista, assim como ocorrerá com o sistema de petróleo e de claros. Para garantir o fornecimento de gás à baixa santista, será utilizado a mesma nova faixa que contorna a mancha urbana, interligando os dutos existentes. Atualmente, estes dutos são interligados com uma estação de compressão na RECAP, o que deixará de ocorrer no futuro. Em compensação, deverá ser instalada uma nova estação de compressão em Guararema e um novo duto entre esta estação e Mauá, resultando em maior capacidade de transporte.

O novo sistema irá garantir o fornecimento de gás para os pontos de entrega da capital. O ponto de entrega de São Bernardo do Campo será atendido por um trecho existente. Para a RPBC, a garantia de fornecimento será feita pelo gasoduto existente trabalhando em "loop" com uma linha que seria descontinuada pela nova logística de óleo. Esta linha será adaptada para tal fim.

3. Procedimento

3.1. Dados Iniciais

Para a realização das simulações termohidráulicas, diversas etapas devem ser seguidas e hipóteses devem ser formuladas. Inicialmente deve ser feito um levantamento de dados sobre o duto envolvido. O Programa de Documentação Mínima de Dutos, realizado pela TRANSPETRO, se constituiu na principal fonte de informação, complementada por visitas às instalações e a arquivos técnicos. Basicamente as seguintes informações são necessárias:

- Curvas das bombas e dados dos motores
- Arranjos de bombeamento
- Válvulas de controle e de alívio
- Perfil altimétrico do duto, diâmetros e espessuras de parede
- Perfil de Pressão Máxima Operacional Admissível
- Limites operacionais

O elenco de produtos foi definido pelo PDD-SP e as principais características como densidade, viscosidade e

pressão de vapor são informação indispensável para as simulações. A programação dos volumes movimentados para os anos de 2009 a 2015 foram definidos no PDD-SP através da área de logística da PETROBRAS. Estas movimentações definem uma vazão média que cada duto deve operar, além de alinhamentos necessários para o cumprimento dos requisitos logísticos, que devem ser confirmadas através das simulações.

3.2. Premissas

O próximo passo para o desenvolvimento dos modelos é a formulação de premissas, baseadas na configuração operacional de cada duto. Assim, para os derivados escuros os estudos termo-hidráulicos são desenvolvidos considerando o escoamento a temperatura variável (temperatura de bombeamento de 85°C). Já para os produtos claros e petróleo, os modelos são isotérmicos (a 20 °C). Outras premissas para o caso de líquidos são:

- Operação com coluna fechada.
- 6 kgf/cm² acima da pressão de vapor do produto transportado na sucção de qualquer bomba principal do sistema operando como bombeamento intermediário.
- 2 kgf/cm² acima da pressão de vapor do produto transportado para todos os pontos ao longo do duto.
- 90% da pressão máxima operacional admissível na entrada de qualquer duto imediatamente a jusante das estações de bombeamento.
- 95% da pressão máxima operacional admissível para todos os pontos ao longo do duto.
- Rugosidade do duto de 0,0018”.
- A pressão máxima de operação admissível (PMOA) considerada na simulação corresponde á condição de teste hidrostático para os dutos existentes e de “tubo novo” para os novos trechos.

Para as simulações das malhas de gás natural as premissas consideradas são:

- Máxima pressão operacional (PMO) de cada trecho.
- Equação de estado.
- O escoamento é não-isotérmico.
- A rugosidade do duto varia entre 9 a 60 µm.
- Condições de contorno (Vazão e pressão).

3.3. Programas Utilizados

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dois softwares comerciais. Assim, os modelos de dutos que operam com líquido foram simulados com o programa Stoner Pipeline Simulator da Advantica e os gasodutos forma simulados com o programa Pipeline Studio da Energy Solutions.

3.4. Procedimento de Cálculo

A vazão média para um duto que opera com um único produto é obtida diretamente das condições simuladas do estado estacionário. Para dutos que operam com diversos produtos, a vazão média é obtida através do cálculo do volume total transportado em quatro ciclos de bateladas completas, dividido pelo tempo total gasto. Esta vazão média é utilizada para avaliar o fator de recuperação de estoques

De modo geral, os oleodutos foram dimensionados para uma capacidade de escoamento nominal equivalente a capacidade de escoamento mínima requerida pela logística, acrescida de uma folga de capacidade para recuperação de estoques. O fator de recuperação de estoques é definido como a relação entre a capacidade de escoamento nominal e capacidade de escoamento mínima requerida.

A capacidade de escoamento mínima requerida resulta da relação entre o volume total a movimentar e o tempo operacional disponível. Este tempo operacional disponível resulta da definição do modo operacional e da disponibilidade, em percentual, (resultante das flexibilidades, duplicidades, etc.) prevista para o sistema.

O modo operacional definido inclui o regime de horas em que o duto pode operar, sendo deduzidas as horas desperdiçadas em atividades tais como operações de deslocamento de inventário que antecedem a efetivação de uma reversão de fluxo. Para efeito de projeto, foi considerado que a duração do horário de ponta (com custos maiores de fornecimento de energia) corresponde a 18 horas por semana (média anual), já computados o tempo para o desenvolvimento dos procedimentos de parada e partida do oleoduto. Adicionalmente, é considerada uma disponibilidade de projeto de 95%, o que resulta em um tempo calculado da seguinte forma:

$$t = \left(24 - \frac{\text{horas paradas no horario de ponta}}{7} \right) * (\text{disponibilidade do projeto}) \quad [\text{h/dia}]$$

Com as premissas expostas, a metodologia utilizada para o cálculo do fator de recuperação de estoques para cada ano é a seguinte:

- Baseado no fluxo de movimentações previstas calcula-se a capacidade mínima requerida como a relação dos volumes a movimentar entre o tempo operacional disponível.
- É calculada a porcentagem de volume de cada produto em função do volume total a movimentar.
- O volume por ciclo a movimentar de cada produto é obtido como o produto da porcentagem obtido pelo volume hidráulico do duto.
- Com estes dados dos volumes, é montada a primeira batelada de preenchimento inicial do duto.
- É definida a pressão de controle no recebimento tentando maximizar a vazão.
- Define-se um cenário transiente para um novo ciclo de bateladas com os mesmos volumes utilizados para o preenchimento inicial do duto.
- É Registrado o volume acumulado em um determinado período.
- Calcula-se a capacidade de escoamento nominal pela relação entre o volume acumulado dividido pelo período considerado.
- Finalmente o fator de recuperação de estoques é calculado pela relação entre a capacidade de escoamento nominal e a capacidade mínima requerida, considerando apenas o tempo operacional útil.
- É repetido o mesmo procedimento para os outros anos.

O resultado final deste procedimento de cálculo é o fator de recuperação de estoques, que neste projeto ficou entre 1,1 e 1,2 para cada sistema.

Para avaliação da segurança operacional do duto, são simulados transientes de fechamento indevido de válvulas motorizadas no recebimento ou em estações intermediárias, além do desligamento das bombas. Para os dutos existentes, são considerados os sistemas de alívio/proteção existentes. Para novas estações intermediárias ou de recebimentos foi simulado o sistema de proteção de válvula de segurança provocando o desligamento das bombas. Com o perfil de pressões máximas de cada transiente é construído um perfil de pressões máxima das máximas e este perfil é confrontado com o perfil de PMOA (Pressão Máxima Operacional Admissível). Caso o perfil de PMOA mais 10% seja ultrapassado, são sugeridas mudanças no sistema de proteção.

Para a malha de Gás são realizadas simulações nos regimes permanente e transiente. No regime permanente são simulados diferentes cenários baseados nas pressões máximas e mínimas no recebimento e nas vazões médias previstas para cada ponto de entrega. O regime transiente é estabelecido a partir das vazões médias previstas em função de distribuições semanais típicas para cada ponto de entrega. Assim, é verificado se a configuração do duto é eficiente para atender as pressões operacionais ao longo do trecho, sendo também verificada a necessidade de mudanças ou implementações na malha tais como a instalação de estações reguladoras de pressão, estações de compressão intermediárias, etc., de forma a garantir que a máxima pressão operacional do duto não seja ultrapassada.

4. Resultados

A simulação de transporte de produtos líquidos previsto pelo PDD-SP compreende um total de mais de sessenta alinhamentos possíveis, somando um total de aproximadamente 3 mil quilômetros de duto. Esta grande quantidade de simulações é ainda incrementada pela grande variedade de produtos envolvidos em cada sistema e as diferentes combinações operacionais geradas a partir de cerca de 130 curvas características das diferentes unidades de bombeamento previstas pelo PDD-SP. Assim, no presente trabalho foi escolhido um dos diversos cenários simulados para ser mostrado.

Uma das operações prevista no PDD-SP contempla a condição normal de envio de óleo combustível 1 desde o terminal de Guararema até o terminal de Santos. Esta operação conta com as estações intermediárias de Mauá, Canal Summit (EBCS) e Terminal de Cubatão, envolvendo os dutos OSVAT 24" (Guararema-Suzano-Mauá), o duto OSSP T 18" (Mauá-EBCS-Cubatão) e o duto OSSP A8 18" (Cubatão-Santos), sendo que o trecho entre Suzano e EBCS e de duto novo.

O bombeamento desde Guararema é realizado com 02 bombas principais e com a estação de recalque de Mauá em que também operam 02 bombas principais. O óleo combustível 1, como todos os produtos da família de escuros, deve ser aquecido até a temperatura de 80°C nos terminais de Cubatão e Mauá; sendo que para viabilizar seu transporte de maneira eficiente, sua temperatura deve ser mantida acima de aproximadamente 55°C. O transporte deste produto é considerado crítico devido a sua elevada viscosidade e densidade. Por este motivo, são injetadas adicionalmente quantidades de diluentes nos terminais de Mauá e Cubatão. Na Figura 2 é mostrado o perfil altimétrico, o head e a vazão desta operação em regime permanente. A Figura 3 apresenta a pressão de operação comparada com a PMOA do duto também em regime permanente, enquanto a Figura 4 mostra as variações da temperatura do fluido ao longo do percurso. Como pode ser observado na Figura 2, nesta operação a pressão no recebimento de Cubatão foi ajustada com a finalidade de manter a coluna fechada e maximizar a vazão.

O estudo desta operação é complementado com a simulação dos cenários transientes devido ao fechamento

indevido de válvulas em estações intermediárias e no recebimento de Santos. Este conjunto de simulações visa garantir a segurança da operação na ocorrência de manobras indevidas por erros operacionais. A Figura 5 apresenta o envelope de máximas pressões resultantes destas simulações comparadas com a máxima pressão operacional admissível do duto (PMOA). O envelope de máximas pressões é obtido através da comparação dos valores de máximas pressões para todos os transientes num determinado ponto. O envelope de máximas pressões neste cenário é apresentado para duas condições, com e sem a utilização de um sistema de alívio novo em Guararema. Como apresentado na Figura 5, neste alinhamento é verificado que mesmo sem o alívio o duto opera com segurança. No entanto é ainda necessário o estudo da operação no sentido inverso.

Como mencionado anteriormente, o estudo de um sistema implica a simulação de todas as opções operacionais e alinhamentos possíveis. Assim, é necessário avaliar a operação inversa de movimentação de produtos escuros, considerada pelo PDD-SP como uma operação eventual. Esta simulação contempla a movimentação de gasóleo desde o terminal de Cubatão até o terminal de Guararema. O bombeamento desde Cubatão é realizado com 01 bomba auxiliar e 04 bombas principais alternativas em Cubatão, contando com a estação de recalque de EBCS com 02 bombas principais operando. O gasóleo, que forma parte dos produtos escuros, também é aquecido até a temperatura de 80°C nos terminais de Cubatão e Mauá. Com estas considerações são apresentados os resultados obtidos para esta operação. A Figura 6 mostra o perfil altimétrico do duto, o head e a vazão desta operação em regime permanente. A Figura 7 apresenta a pressão de operação também em regime permanente, enquanto a Figura 8 mostra as variações da temperatura do fluido ao longo do duto.

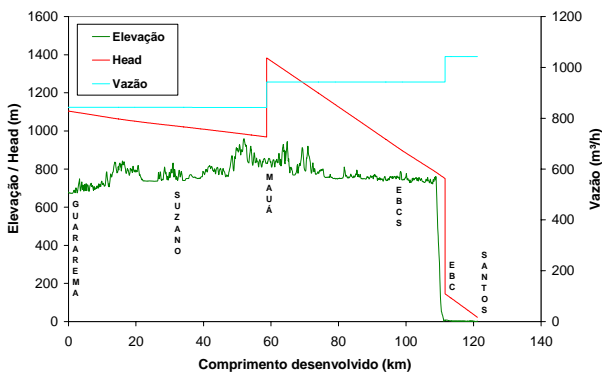


Figura 2. Perfil de elevação, head e vazão operando com óleo combustível 1 (Guararema-Santos)

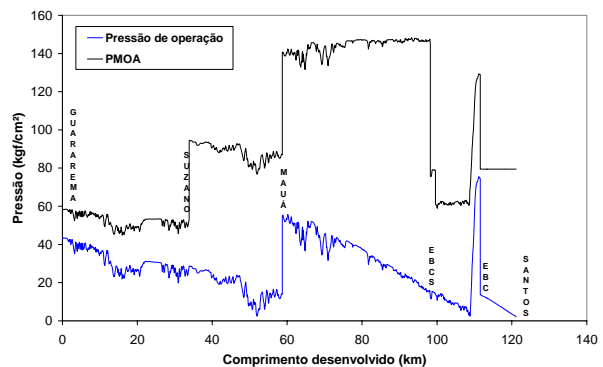


Figura 3. Perfil da pressão de operação e PMOA operando com óleo combustível 1 (Guararema-Santos)

Uma vez mais, este estudo é complementado com a simulação dos cenários transientes devido ao fechamento indevido de válvulas. A Figura 9 apresenta o envelope de máximas pressões resultantes desta operação comparadas com a PMOA do duto. Como apresentado na Figura 9, neste alinhamento é verificada a necessidade de um sistema de alívio novo em Guararema par proteger o trecho de duto existente entre Suzano e Guararema. Informação adicional de máximas vazões e pressões nos sistemas de alívio são também fornecidas (Tabela 1).

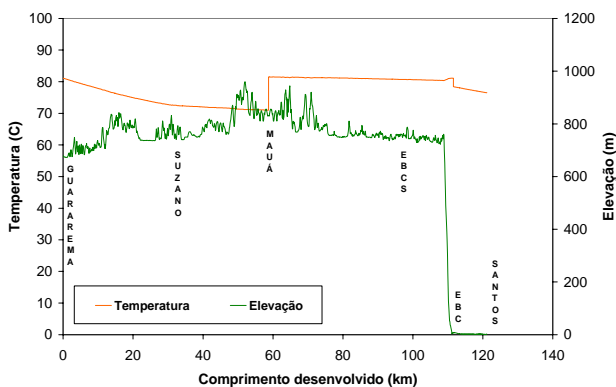


Figura 4. Perfil de elevação e temperatura operando com óleo combustível 1 (Guararema-Santos)

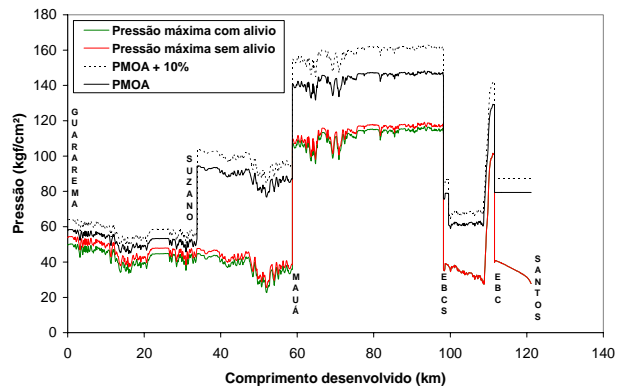


Figura 5. Envelope de máximas pressões devido ao fechamento indevido de válvulas com e sem utilização de um alívio novo em Guararema (Guararema-Santos)

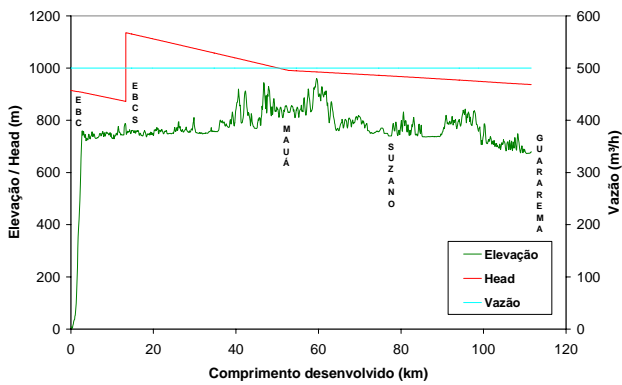


Figura 6. Perfil de elevação, head e vazão operando com gásóleo (Cubatão- Guararema)

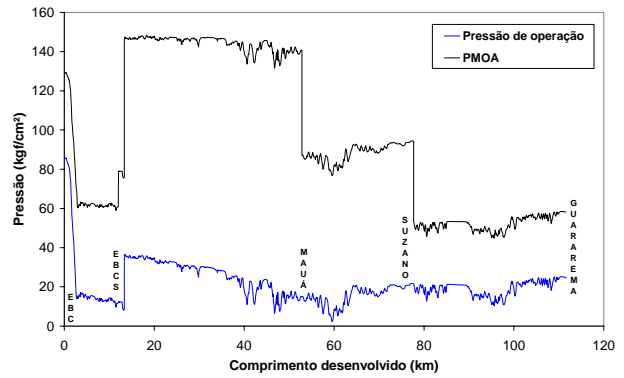


Figura 7. Perfil da pressão de operação e PMOA operando com gásóleo (Cubatão- Guararema)

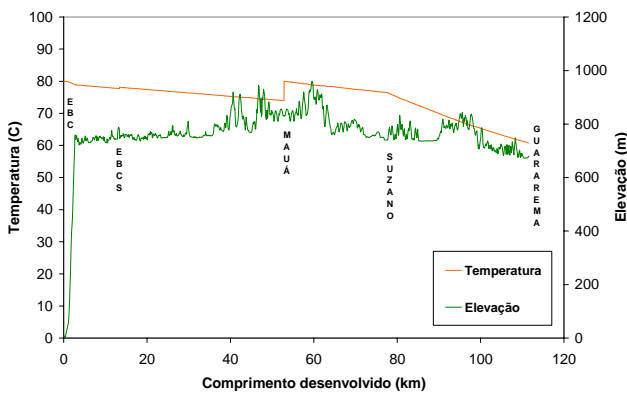


Figura 8. Perfil de elevação e temperatura operando com gásóleo (Cubatão- Guararema)

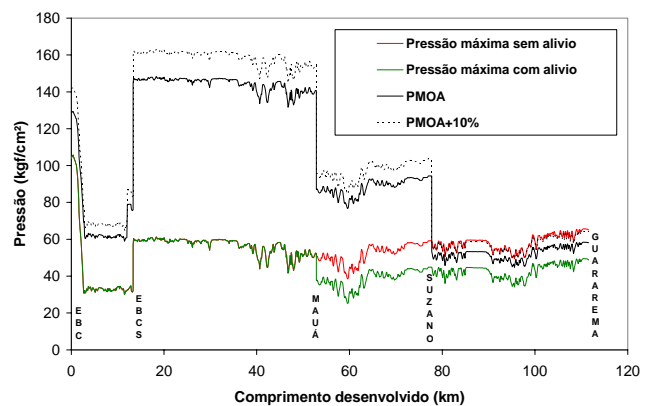


Figura 9. Envelope de máximas pressões devido ao fechamento indevido de válvulas com e sem utilização de um alívio novo em Guararema (Cubatão- Guararema)

Tabela 1. Máximas vazões nos sistemas de alívio

Estação	Guararema		Cubatão	
	Duto	Válvula de alívio	Duto	Válvula de alívio
Duto	OSVAT 24"	PSV NOVA A/B/C	OSSP T 18"	OSSP T 18"
Válvula de alívio	OSVAT 24"	PSV NOVA A/B/C	OSSP T 18"	PSV 302207 B/C
Vazão maxima de alívio	378,3 m³/h	378,3 m³/h	201,3 m³/h	486,2 m³/h
Pressão maxima do transiente	48,9 kgf/cm²	48,9 kgf/cm²	103,8 kgf/cm²	103,8 kgf/cm²

A seguir são apresentados alguns dos resultados obtidos para o estudo da malha de Gás de São Paulo. As simulações em regime permanente foram realizadas verificando a pressão limite admissível de cada trecho de duto, impedindo que a pressão operacional exceda este valor. A Figura 10 mostra um esquemático de uma parte da malha de Gás de São Paulo com as modificações implementadas. Entre as modificações a serem realizadas estão a instalação de uma estação de compressão em Guararema, conexões em paralelo entre os trechos Guararema – ECGM e São Bernardo – Cubatão, substituição do trecho ECGM – EBCS e uma estação reguladora de pressão em EBCS. O recebimento de Gás na malha em questão é realizado em Guararema via GASPAL e GASBOL.

Na Figura 11 são apresentados os perfis semanais de vazão dos pontos de entrega onde ocorrem as variações mais significativas ao longo do dia. A Figura 12 apresenta os resultados em regime permanente das pressões ao longo do duto entre Guararema e a RPBC, pelo trecho novo entre Guararema e a ECGM (GASPAL II). Como se pode observar, os limites operacionais bem como as pressões de projeto são ultrapassados no trecho à jusante da EBCS quando não há controle de pressão neste ponto. Isso prova que para operação deste sistema é necessária a instalação de uma estação reguladora de pressão na EBCS. Em seguida foi determinada a pressão mínima de descarga em Guararema que atenda às pressões mínimas de entrega em todos os pontos para os valores médios de vazão programados. Note que como são utilizadas vazões médias, os valores de pressão obtidos na análise em regime permanente não podem ser considerados como máximos e mínimos absolutos.

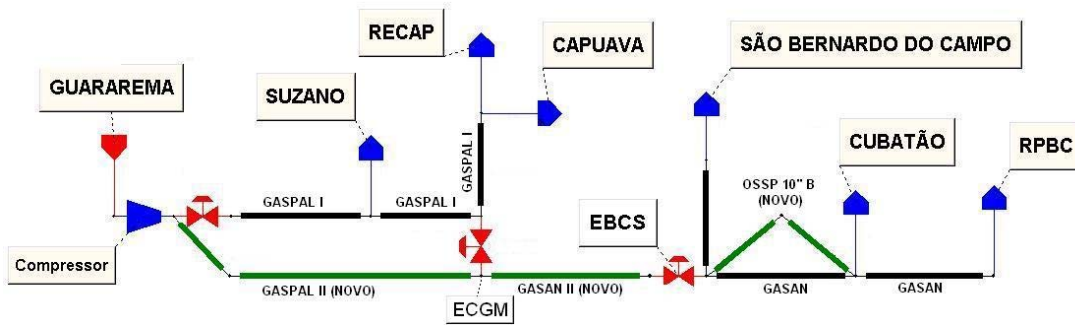


Figura 10. Trecho da malha de Gás modificada

A simulação do transiente de vazões tem por principais objetivos verificar se as pressões máximas não são ultrapassadas, verificar o atendimento aos consumidores na vazão necessária com pressões aceitáveis obedecendo sempre às pressões mínimas e determinar qual a mínima pressão de descarga do compressor de Guararema que garanta a pressão mínima de entrega na RPBC durante todo o ciclo. A verificação das pressões máximas é feita pela observação do perfil de pressão ao longo do tempo, considerando pressão máxima de descarga em Guararema. As pressões máximas e mínimas operacionais nos pontos de entrega também estão apresentadas na Figura 12.

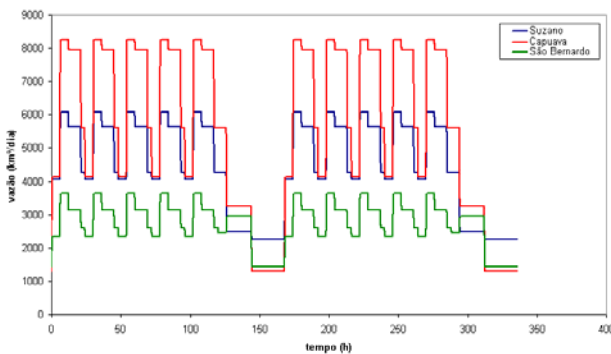


Figura 11. Perfil Semanal de Vazões nos Pontos de Entrega

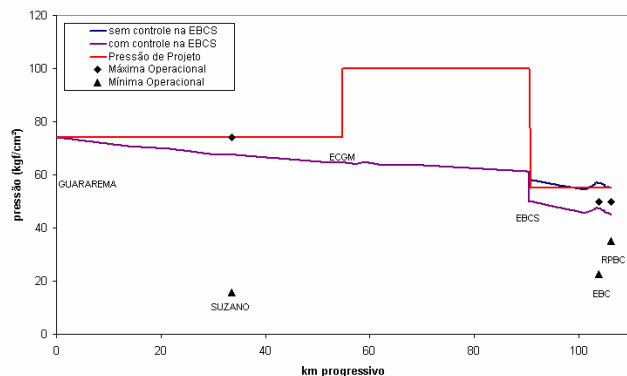


Figura 12. Pressão na linha principal para a condição de pressão máxima de descarga em Guararema

5. Conclusão

Para a realização do grande número de simulações termohidráulicas dos dutos relacionados no Plano Diretor de São Paulo, foi desenvolvido um procedimento padrão envolvendo a coleta de dados de dutos e equipamentos, a definição dos alinhamentos necessários, a caracterização dos produtos transportados, a determinação das vazões médias e dos perfis de pressão, além dos envelopes de máximas pressões obtidos nos cenários de falha postulados. Para cada duto ou sistema foi gerado um documento com uma formatação padrão de sorte a favorecer a análise de todos os resultados.

6. Agradecimentos

Os autores desejam agradecer a PETROBRAS, Petróleo Brasileiro S.A. e a TRANSPETRO Petrobrás Transportes S.A. pela colaboração técnica indispensável para a execução deste trabalho.