

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA
DO RIO DE JANEIRO



PEDRO CUNHA ANTERO DE CARVALHO

**A Importância de Simulações em Estudos
Hidráulicos de Dutos e Sugestões Técnicas
Direcionadas à Norma ABNT NBR 15280-1**

Monografia de Pós-Graduação

Monografia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da PUC-Rio como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Dutos.

Orientador: Prof. Luis Fernando Alzuguir Azevedo
Co-orientador: Prof. Luis Fernando Gonçalves Pires

Rio de Janeiro
Julho de 2012



Pedro Cunha Antero de Carvalho

**A Importância de Simulações em Estudos
Hidráulicos de Dutos e Sugestões Técnicas
Direcionadas à Norma ABNT NBR 15280-1**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Dutos da PUC - Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Luis Fernando Alzuguir Azevedo

Orientador

Departamento de Engenharia Mecânica - PUC-Rio

Prof. Luis Fernando Gonçalves Pires

Co-orientador

Centro Tecnológico do Exército - DDQBN

Rio de Janeiro, 06 de Julho de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à Deus pela iluminação, direção e por estar sempre presente em minha vida.

Agradeço ao Professor orientador Luis Fernando A. Azevedo pela orientação e oportunidade e ao Professor Luis Fernando G. Pires, pela co-orientação e pelo apoio técnico, acadêmico e pessoal.

Deixo meus agradecimentos à toda equipe do SIMDUT (Núcleo de Simulação Termohidráulica da PUC-Rio) pela grande amizade, colaboração, motivação e pelos longos debates sobre o tema desta monografia, motivo pelo qual despertou meu interesse no assunto.

A todos os professores que compuseram o quadro de aulas oferecidas e à Comissão examinadora.

À toda equipe do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

E a todos que, de alguma forma, me ajudaram a concluir mais uma etapa em minha vida profissional.

Resumo

Com o crescente aumento do consumo de hidrocarbonetos e as atuais descobertas de grandes poços de petróleo no Brasil, novos oleodutos precisam ser projetados, além de projetos de ampliação de oleodutos já existentes da malha brasileira.

Atualmente, no Brasil, a norma brasileira ABNT NBR 15280-1 é o documento que estabelece as condições e os requisitos mínimos exigidos para projeto de oleodutos terrestres.

A rápida evolução dos computadores se traduz em um grande ganho para a engenharia no que diz respeito à confiabilidade, velocidade de resposta e resultados de operações complicadas e de difícil previsão. Existem no mercado simuladores termo-hidráulicos de oleodutos que calculam e mostram graficamente e ao longo do tempo, transientes hidráulicos resultando em pressões máximas que não poderiam ser previstas com cálculos manuais.

A norma brasileira atual ainda baseia-se em metodologias antigas e não se aproveita da evolução computacional que existe hoje em dia. Ela não menciona, em momento algum, as simulações termo-hidráulicas, que são de grande ajuda para os projetistas, além de dar segurança e economia ao projeto.

Os ganhos das simulações termo-hidráulicas durante o projeto de um oleoduto são muitos e precisam ser incorporados na norma atual, visando assim um projeto mais seguro e mais confiável. Para a inserção das simulações, a norma brasileira atual precisa ser revista, principalmente no que diz respeito a algumas definições e conceitos, que necessitarão ser adicionados e/ou revisados.

Palavras-chave

Projeto de duto; duto terrestre; simulação hidráulica; duto.

Sumário

1	Introdução	8
2	Objetivo	12
3	A norma ABNT NBR 15280-1	13
3.1.	Prefácio	14
3.2.	Escopo	14
3.3.	Referências Normativas	14
3.4.	Termos e Definições	14
3.5.	Condições e Critérios de Projeto	15
3.6.	Dimensionamento à Pressão	16
3.7.	Seleção de Tubos e Componentes	16
3.8.	Construção e Montagem	17
3.9.	Ensaio de Pressão	17
3.10.	Análise de Flexibilidade	18
3.11.	Cálculo das Tensões	18
3.12.	Projeto de Suportes	19
3.13.	Corrosão	20
4	Simulação e Estudo Hidráulico	21
4.1.	Análise Hidráulica do Traçado	22
4.2.	Pressões Máximas Operacionais Normais (PMO)	25
4.3.	Pressões Máximas Operacionais Incidentais (PMOI)	27
4.4.	Pressões Mínimas Estruturais Requeridas (Preq)	30
4.4.1.	Pressão de Projeto	31
4.4.2.	Pressão Máxima de Operação Admissível (PMOA)	33
4.5.	Comparação das Propostas Apresentadas	34
5	Conclusões e Sugestões	38
6	Referências bibliográficas	40

Lista de Figuras

Figura 1 – Previsão da produção total da Petrobras até 2020	8
Figura 2 – Mapa com dutos existentes e futuros do Brasil (TRANSPETRO).	9
Figura 3 – Atuais simuladores de escoamento em dutos	10
Figura 4 – Aumento de pressão típico causado por bloqueio do duto.	11
Figura 5 – Perfil de elevação de um traçado genérico	23
Figura 6 – Gradientes Hidráulicos para um duto de 14”	24
Figura 7 – Gradientes Hidráulicos para um duto de 16”	25
Figura 8 – PMO de um duto genérico, gerado pela composição de pressões operacionais normais	27
Figura 9 – PMOI de um duto genérico, gerado pela composição de pressões operacionais incidentais	30
Figura 10 – Preq de um duto genérico, gerado pela composição da PMO com a PMOI/1,1	31
Figura 11 – Representação esquemática das pressões em dutos (Figura A.1)	32

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Especificação do Fator de Projeto.....	16
Tabela 2 – Requisitos para pressão do ensaio hidrostático de duto.....	18
Tabela 3 - Tabela resumo de resultados.....	37

1 Introdução

As atuais descobertas de grandes poços de petróleo e o aumento da produção de óleo e gás no Brasil precisam vir acompanhadas de um aumento da malha de dutos do país. A necessidade de distribuir toda produção advinda dos grandes poços marítimos para diversas partes Brasil torna-se cada vez mais elevada e complicada, visto que nossa atual malha de dutos encontra-se sobrecarregada e antiga. Ampliações em diversos oleodutos já foram e estão sendo realizadas para tentarmos atender a esta crescente oferta e demanda. Porém, apenas esta medida não solucionará o problema, além de não ser uma decisão possível em vários oleodutos. A Figura 1 ilustra a previsão de aumento da produção total da Petrobras, onde até 2014 a meta de produção de petróleo é de 3,9 milhões de barris de óleo equivalente por dia (boe) e projeção de aproximadamente 5,4 milhões de boe em 2020, segundo as estimativas do plano de negócios 2010 - 2014 da Petrobrás.

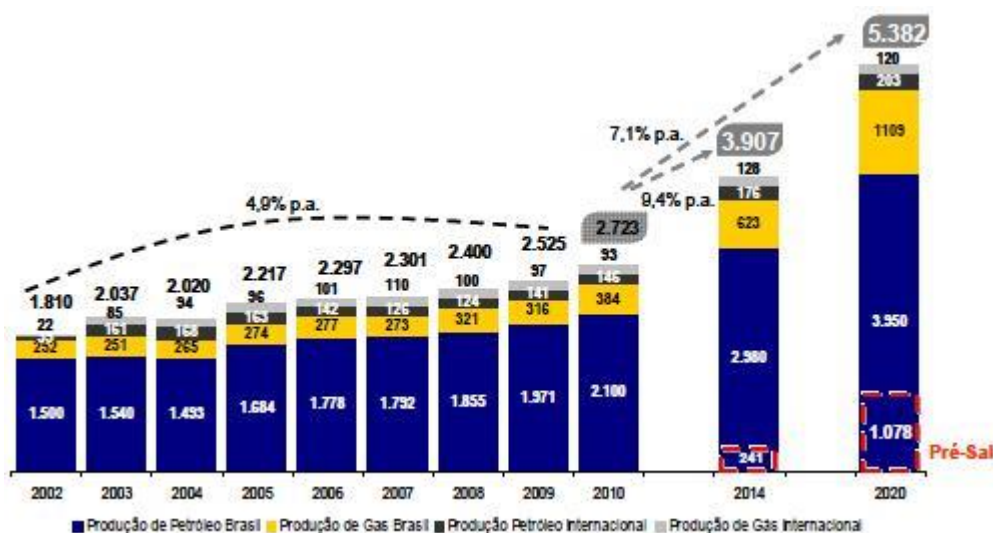


Figura 1 – Previsão da produção total da Petrobras até 2020

A malha dutoviária brasileira é controlada, em sua maioria, pela TRANSPETRO e é concentrada principalmente na região sudeste do Brasil. A

malha possui, atualmente, cerca de 22.000 quilômetros, entre oleodutos e gasodutos, e apresenta ramificações para a costa do nordeste, do sul, e para a região centro-oeste do país. A Figura 2 apresenta o mapa com os dutos existentes e futuros da TRANSPETRO retirado da página da transportadora, na internet.

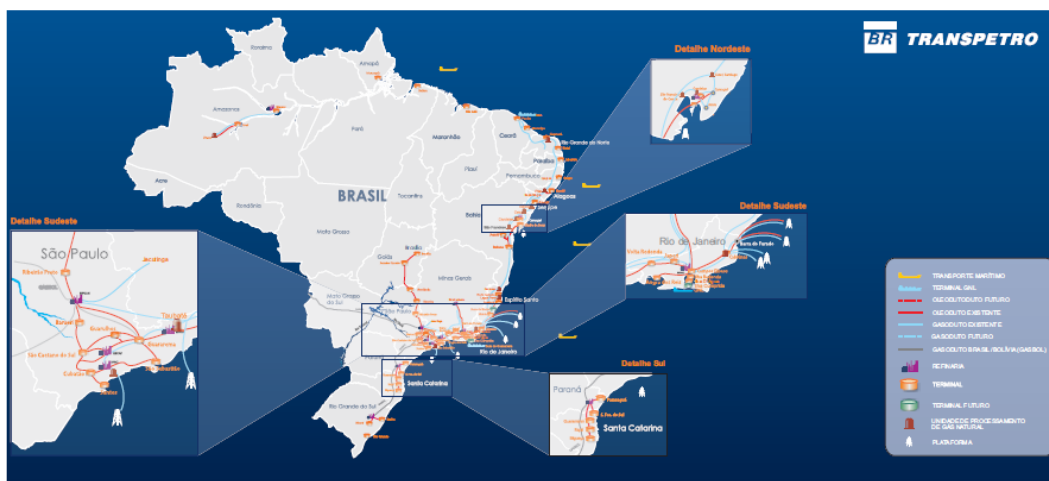


Figura 2 – Mapa com dutos existentes e futuros do Brasil (TRANSPETRO).

Novos projetos que visem o aumento da malha de dutos brasileira precisam ser iniciados e colocados em prática e, para isso, as normas de projeto devem estar adequadas a esse novo cenário.

A rápida evolução da computação trás benefícios enormes para toda área da engenharia. Diversos problemas complexos, com formulações matemáticas complexas, com um grande número de variáveis, que precisam de várias simplificações para serem resolvidos analiticamente, podem ser rapidamente resolvidos com o auxílio dos computadores atuais. Na área de escoamento de fluidos em dutos existem programas consagrados no mundo inteiro, confiáveis e largamente utilizados que resolvem desde escoamentos simples em regime permanente até escoamentos complexos, transientes e multifásicos. A Figura 3 apresenta a logomarca de alguns dos grandes simuladores de escoamento utilizados pela comunidade de dutos. Dentre eles destaca-se o OLGA para simulações multifásicas, enquanto o STONER é amplamente utilizado para simular escoamentos transientes de óleo. O Pipeline studio destaca-se na área

de simulação de permanentes hidráulicos, sendo amplamente utilizado na área de gás.



Figura 3 – Atuais simuladores de escoamento em dutos

O projeto de um oleoduto deve contemplar todas as operações e pressões que eventualmente este possa vir a sofrer, mesmo que estas pressões sejam conseqüências de transientes que raramente aconteçam. Estes transientes são complexos e só podem ser previstos com confiabilidade através de simuladores hidráulicos.

As pressões de trabalho dos oleodutos aumentam com o desenvolvimento de novos aços e, devido a isso, torna-se cada vez mais necessária a análise e simulação dos processos existentes, visando sempre a segurança da operação.

Bloqueios indevidos de válvulas motorizadas, queda de bombas, pressões de partida e parada e pressões máximas de passagem de bateladas são operações possíveis de acontecer e que podem resultar em transientes com altas pressões. Estas altas pressões podem acontecer em qualquer ponto do duto e só podem ser observadas com a ajuda de simuladores.

As altas pressões resultantes de transientes hidráulicos precisam ser levadas em consideração durante o projeto do oleoduto, pois, caso o tubo seja

submetido durante a operação a uma pressão interna acima da pressão permitida, poderá haver o rompimento do duto e um possível vazamento do fluido no meio ambiente. O vazamento de petróleo ou derivados demandaria um grande esforço para a recuperação ambiental da área afetada, representando elevados custos para a empresa de transporte.

Como exemplo de um evento que provoca elevadas pressões num duto, é o caso do fechamento incidental de uma válvula de bloqueio num duto longo. Nesse caso, observa-se um rápido aumento de pressão, dependente do tempo de fechamento e da curva de coeficiente de descarga da válvula, do fluido e da velocidade de propagação do som no meio. A Figura 4 ilustra a variação da pressão em função do tempo a montante da válvula. Nessa situação, uma análise rápida, precisa e confiável só pode ser obtida mediante simulação computacional.

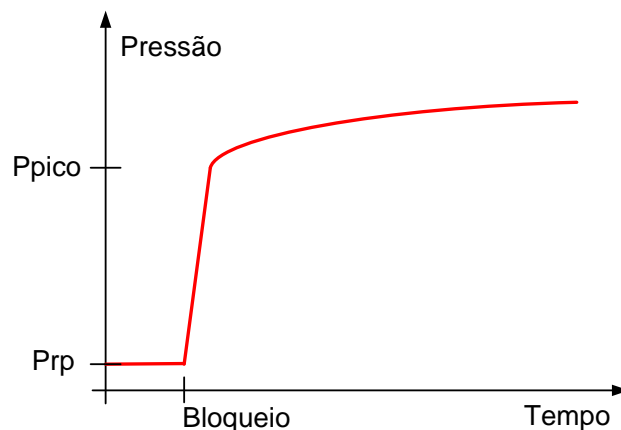


Figura 4 – Aumento de pressão típico causado por bloqueio do duto.

Este trabalho é focado na norma brasileira ABNT NBR 15280-1, visando projetos de novos dutos, ampliação ou verificação da situação operacional de dutos existentes, abordando sugestões de tópicos e conceitos utilizados atualmente dentro da TRANSPETRO e PETROBRAS. Os conceitos e discussões apresentados são amplos, podendo ser utilizados para o projeto de qualquer oleoduto *onshore* contemplado pela norma.

2 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo apresentar a importância das simulações termo-hidráulicas em projetos de dutos novos, ampliações de dutos existentes, previsão de pressões decorridas de operações especiais, além de uma discussão crítica sobre a norma brasileira de projeto de dutos, ABNT NBR 15280-1, primeira edição, de 12 de janeiro de 2009, sugerindo, em alguns tópicos, correção de figuras e apresentação de novos conceitos e tópicos voltados à simulação termo-hidráulica.

Esta monografia tem por intenção principal sugerir uma atualização da norma brasileira, que atualmente encontra-se na primeira edição e não aborda nenhum tópico relacionado a simulações. Pretende-se apresentar o conceito de pressões normais e incidentais, que irão abranger toda gama de pressões máximas, ao longo de todo duto, produzidas por cenários de operações normais e de operações incidentais. Apresenta-se, também, o conceito de pressão estrutural mínima requerida, a fim de ser uma pressão a ser utilizada como base, sendo comparada à pressão de projeto do duto, que é utilizado atualmente.

3 A norma ABNT NBR 15280-1

O transporte dutoviário no Brasil teve início no final da década de 40 com a instalação do oleoduto Candeias-Mataripe e se intensificou a partir da década de 50, com a criação da Petrobras. Nesta época o Brasil ainda não possuía normas específicas para projeto dutos, sendo utilizadas normas estrangeiras.

A partir de 2009 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), juntamente com comissões de estudo formadas por representantes do setor petrolífero elaboraram a norma brasileira que rege a parte de projetos de dutos que movimentem produtos líquidos ou liquefeitos, a norma NBR 15280-1. Esta norma encontra-se na primeira edição e é baseada na norma americana ASTM B31.4:2006. Como mencionado no escopo, esta norma estabelece, dentre outras coisas, as condições e os requisitos mínimos exigidos para projeto de sistemas de dutos terrestres.

Antes de 2009, além da ASTM B31.4, os projetos utilizavam também a norma Petrobras N-1744.

Ao utilizar a norma brasileira para projeto de dutos, deve-se atentar às limitações impostas pelo escopo desta. São contempladas pela norma apenas dutos feitos de aço carbono, que movimentem produtos líquidos ou liquefeitos, inflamáveis ou tóxicos e não contempla dutos que possam operar transportando GLP na fase gasosa ou movimentando gás natural liquefeito (GNL), dutos operando fora da faixa de temperatura de -30 °C a 120 °C, dentre outros.

A norma ABNT NBR 15280 é dividida em duas partes, sendo a primeira englobando a parte de projeto e a segunda englobando a parte de construção e montagem. Este trabalho irá se focar apenas na primeira parte da norma, ou seja, na ABNT NBR 15280-1, que atualmente organiza-se da seguinte forma:

3.1. Prefácio

São expostos dados gerais sobre a NBR 15280-1, sobre a ABNT, os comitês, organismos e comissões responsáveis pelo conteúdo desta norma, assim como os envolvidos na elaboração deste documento.

3.2. Escopo

Estabelece o objetivo da norma, assim como as premissas que ela impõe. Estabelece, também, a abrangência desta parte da NBR 15280 e os sistemas a que ela se aplica. O escopo da norma NBR 15280-1 ainda classifica os produtos transportados dentro de duas categorias de risco: categoria I e categoria II.

A categoria I representa os produtos estáveis na fase líquida quando em condições de temperatura ambiente e pressão atmosférica, como o petróleo, metanol, biocombustíveis, dentre outros, enquanto que a categoria II representa os produtos estáveis na fase gasosa sob as mesmas condições de temperatura e pressão, mas que podem ser transportados como líquidos em determinadas condições especiais. Os produtos que compõe a categoria II apresentam maiores riscos potenciais, como por exemplo o GLP, eteno, LGN, dentre outros.

3.3. Referências Normativas

Relaciona os documentos indispensáveis à aplicação desta norma. Neste item são relacionadas normas brasileiras e estrangeiras sobre revestimentos, curvamento, flanges, soldagem, corrosão, dentre outros assuntos.

3.4. Termos e Definições

Apresenta um anexo (Anexo A) com todas as definições relevantes para os efeitos desta norma. Dentre os 67 termos e definições descritos alguns são especialmente importantes para o projeto de um oleoduto, pois representam valores iniciais, bases de referência para o desenvolvimento do projeto e, por isso, precisam estar definidos com objetividade e sem deixar margens para duplas interpretações.

3.5. Condições e Critérios de Projeto

Apresenta as tolerâncias, cargas e limites de pressão e temperatura a que um duto está sujeito, apresentando as classes de pressão, tensões admissíveis, tolerâncias de projeto e valores mínimos de projeto. Apresenta, também, medidas de proteção que devem ser adotadas em dutos que passem por determinadas áreas de risco. Além disso, este tópico demonstra as equações de tensão admissível aplicáveis no dimensionamento do duto à pressão, equação (3-1), e à flexão, equação (3-2), indicando valores para os fatores utilizados.

$$S_{ADM} = F \times E_j \times SMYS \quad (3-1)$$

$$S_{ADM} = \frac{1}{7} \times SMYS \quad (3-2)$$

Onde,

S_{ADM} = Tensão admissível do material para a solicitação de pressão interna;

E_j = Fator de eficiência da junta;

F = Fator de projeto (Tabela 1);

$SMYS$ = Tensão mínima de escoamento;

O fator de eficiência de junta está ligado ao tipo de soldagem aplicada no processo de fabricação do duto. Para dutos fabricados por soldagem por fusão elétrica (EFW), o fator de projeto é igual a 0,8. Para dutos fabricados por soldagem de topo em fornalha, este fator é igual a 0,6. Para os demais tipos de fabricação (com ou sem costura, soldagem por arco submerso, soldagem por resistência elétrica ou soldagem por indução elétrica) este fator é igual a 1.

O fator de projeto é determinado em função do tipo da instalação, conforme Tabela 1, retirada da norma brasileira NBR 15280-1.

Tabela 1 – Especificação do Fator de Projeto

Tipo de instalação	Fator de projeto	
	Categoria I	Categoria II
Geral	0,72	0,6
Cruzamento rodoviário ou ferroviário com tubo-camisa ^a	0,72	0,6
Cruzamento rodoviário ou ferroviário sem tubo-camisa; interferência paralela em ferrovia, estrada secundária, estrada principal ou rodovia; ponte com tráfego veicular ^a	0,6	
Travessia ^a		
Bases, estações e terminais		
Lançadores e recebedores		
Tubulação de píer ^b		
^a Para cada tipo de travessia e cruzamento, o fator 0,6 deve ser utilizado no mínimo dentro dos limites definidos nas Figuras do Anexo G. ^b Para duto em píer, o fator 0,6 deve ser estendido no mínimo até 100 m de afastamento do mar, rio ou lago.		

3.6. Dimensionamento à Pressão

É descrito detalhadamente o processo de determinação da espessura nominal de parede a ser adotada, as espessuras mínimas de parede recomendadas e as sobre-espessuras. A principal equação deste tópico é descrita em (3-3).

$$e_C = \frac{P \times D}{2 \times S_{ADM}} \quad (3-3)$$

Onde,

e_C = Espessura calculada de parede para tubo reto;

P = Pressão de projeto;

D = Diâmetro externo nominal do tubo;

3.7. Seleção de Tubos e Componentes

Aborda os requisitos técnicos para seleção de tubos e componentes de aço-carbono utilizados no duto. Descreve, também, os procedimentos para

projeto de curvas a frio, curvas em gomos, curvas forjadas, curvas por indução, válvulas, flanges, juntas, parafusos, etc.

3.8. Construção e Montagem

Esta seção complementa a norma ABNT NBR 15280-2. São descritos pontos de projeto de dutos que passem por cruzamentos e travessias, instalação de válvulas intermediárias de bloqueio, cobertura da vala e afastamento mínimo entre o duto e as demais instalações subterrâneas e estabilização do duto por meio de lastro.

3.9. Ensaio de Pressão

Descreve a metodologia que deve ser utilizada para a realização do ensaio hidrostático do duto. Descreve procedimentos para determinação das pressões mínimas e máximas do ensaio e relata como definir a PMOA do duto. As principais informações estão detalhadas na Tabela 2 retirada da norma brasileira NBR 15280-1.

Tabela 2 – Requisitos para pressão do ensaio hidrostático de duto

Categoria do fluido	Ensaio hidrostático				PMOA o menor valor entre:
	Ensaio de resistência		Ensaio de estanqueidade		
	Minima Nota 2	Máxima	Minima Nota 2	Máxima	
I	1,25 x PMO	A pressão que produzir uma tensão circunferencial equivalente a 100 % do "SMYS" no ponto mais baixo do trecho de ensaio (Nota 1)	1,1 x PMO	A pressão que produzir uma tensão circunferencial equivalente a 90 % do "SMYS" no ponto mais baixo do trecho de ensaio	Pressão mínima atingida no ensaio de resistência mecânica dividida por 1,25 e Pressão de projeto
II	1,5 x PMO	A pressão que produzir uma tensão circunferencial equivalente a 100 % do "SMYS" no ponto mais baixo do trecho de ensaio (Nota 1)	1,1 x PMO	A pressão que produzir uma tensão circunferencial equivalente a 90 % do "SMYS" no ponto mais baixo do trecho de ensaio	Pressão mínima atingida no ensaio de resistência mecânica dividida por 1,5 e Pressão de projeto

NOTA 1 Na execução do ensaio deve ser respeitado o limite correspondente a 0,2 % de desvio (ou 2ΔV para um ΔP) no gráfico P x V, conforme ABNT NBR 15280-2.

NOTA 2 A pressão mínima de ensaio hidrostático para dutos projetados com sobreespesura de corrosão deve ser multiplicada pelo fator "β", de tal maneira que a tensão circunferencial resultante seja equivalente àquela que seria produzida em um duto sem sobreespesura de corrosão. O fator multiplicador "β" deve ser igual a: $\beta = (e_{nom} + A) / e_{nom}$.

3.10. Análise de Flexibilidade

Estabelece critérios aplicáveis às tubulações para avaliação da sua capacidade de absorver deformações geradas pela variação da temperatura, ou pela imposição de deslocamentos.

Este tópico determina também as forças e momentos atuantes nos suportes da tubulação e nos flanges.

3.11. Cálculo das Tensões

Baseado na teoria da tensão de cisalhamento máxima, este tópico estabelece as fórmulas e premissas para o cálculo das tensões provocadas pela pressão interna, tensão de expansão térmica, tensão longitudinal de flexão de peso próprio e de cargas ocasionais, tensão equivalente de cargas externas, de pressão e de variação de temperatura, em cruzamentos, tensões de carregamentos não-ordinários, tensões residuais e tensões localizadas.

As fórmulas descritas nesta norma para o cálculo das tensões circunferencial (S_C) e longitudinal (S_{LP}) provocadas pela pressão interna são, respectivamente, as equações (3-4), (3-5 e (3-6. As equações (3-5 e (3-6 representam as tensões longitudinais para dutos axialmente não restringidos e axialmente restringidos, respectivamente.

$$S_C = \frac{P \times D}{2(e_{nom} - A)} \quad (3-4)$$

$$S_{LP} = P \times \left(\frac{d^2}{D^2 - d^2} \right) \quad (3-5)$$

$$S_{LP} = 0,3 \times S_C \quad (3-6)$$

Onde,

P = Pressão (genérica);

D = Diâmetro externo nominal do tubo;

e_{nom} = Espessura nominal de parede do tubo;

A = Fator para acréscimo de espessura;

d = Diâmetro interno do duto;

3.12. Projeto de Suportes

Estabelece critérios para o projeto, tipo e localização de suportes. Descreve características obrigatórias dos materiais, assim como temperaturas

para o cálculo de esforços, suportes de ancoragem e estabilidade para dutos enterrados.

3.13. Corrosão

Descreve parâmetros para a seleção e aplicação de revestimentos externos anticorrosivos em dutos e do sistema de proteção catódica. Este item cita, também, o controle da corrosão interna e a seleção de inibidores de corrosão.

4 Simulação e Estudo Hidráulico

A análise hidráulica de um duto é composta, principalmente, da análise da distribuição das pressões ao longo do trecho estudado. Estas pressões podem ser divididas em dois grupos principais durante o estudo hidráulico da operação do duto: o grupo de pressões normais e o grupo de pressões incidentais.

O grupo de pressões normais corresponde à gama de pressões resultantes de operações normais e usuais do duto, onde a composição de suas máximas chama-se Pressão Máxima de Operação (PMO) e está definida na norma NBR 15280-1, Anexo A.

O grupo de pressões incidentais, por sua vez, corresponde à gama de pressões resultantes de operações que não são normais ao duto, ou seja, são pressões obtidas por transientes provocados por fatores externos inesperados, como a queda de energia de um terminal ou por erro humano, como o fechamento indevido de uma válvula de bloqueio. A composição das máximas pressões incidentais é chamada de Pressão Máxima de Operação Incidental (PMOI). Este nome já está em uso constante dentro da maior transportadora do Brasil, inclusive sendo citado nos manuais de operação de diversos oleodutos. Deve-se ressaltar que a norma NBR 15280-1 não define o conceito de PMOI.

Tanto as pressões de operações normais quanto as pressões de operações incidentais são compostas por transientes complexos e de difícil previsão, sendo necessária a utilização de softwares específicos para este fim.

Ao longo de um duto existem mecanismos e sistemas, principalmente nos pontos de envio e recebimento, que têm a função de controlar ou aliviar as grandes ondas de pressão, mitigando os grandes transientes provocados por algum possível cenário incidental. Estes mecanismos podem ser mecânicos, como válvulas de controle (PCV), válvulas de fechamento rápido (SDV) ou válvulas de alívio (PSV), ou eletro-eletrônicos, como intertravamentos locais ou remotos. Visando a adequação da operação de um duto aos limites suportados por este e por todo o sistema onde se encontra, ou visando o projeto de um duto para que este trabalhe com as pressões que lhe proporcionem a maior eficiência

operacional, o estudo hidráulico do duto precisa levar em consideração estes sistemas mencionados e, para isto, a utilização de programas que modelem esses equipamentos, como o Stoner Pipeline Simulator SPS® da GL Noble Dent, ou o Pipeline Studio® da EnergySolutions Inc, é indispensável.

A análise de pressões de um estudo hidráulico é concluído com a composição das máximas pressões suportadas pelo duto. Esta composição contempla cada cenário estudado, levando em conta não apenas as pressões provocadas por regimes permanentes ou transientes normais mas também pressões provocadas por transientes incidentais, os quais na grande maioria das vezes são os mais críticos. Da composição de todas as pressões mencionadas origina-se a chamada Pressão Mínima Estrutural Requerida (Preq), cujo conceito também está sendo amplamente utilizado dentro da maior transportadora do Brasil e sendo a base para a determinação da pressão de testes hidrostáticos. O conceito de Preq não é definido na primeira edição da norma NBR 15280-1.

4.1. Análise Hidráulica do Traçado

A Análise hidráulica de um traçado é um estudo simples, que requer um gradiente hidráulico da situação analisada. São feitos diversos gradientes para o determinado perfil de elevação, variando o número de estações intermediárias, o diâmetro e a espessura do oleoduto. Apesar destes gradientes não serem muito complicados, um software especializado acelera consideravelmente o trabalho, dando velocidade, confiabilidade e flexibilidade ao estudo.

Alguns tópicos devem ser observados nesta análise, são eles:

- A variação das pressões máximas da situação de regime permanente em função do número de estações de rebombeio aparece claramente nos gradientes hidráulicos e é um bom indicador para estimar, em um primeiro momento, as possíveis pressões máximas que o duto terá que suportar durante sua operação. Se existe algum limite de pressão para o duto em questão, algumas opções de números de estações de recalque podem ser eliminadas. Nesta primeira análise o fator custo não está sendo levado em consideração, porém precisa-se ter em mente que o aumento do número de estações de recalque aumenta sensivelmente o custo de capital e de operação;

- A variação das pressões máximas em função do diâmetro do duto também pode ser facilmente observado pelo gradiente hidráulico, dando uma noção do diâmetro ótimo necessário para a movimentação prevista deste duto;
- A quantidade de aço utilizada em cada traçado em função do diâmetro, espessuras e estações de recalque é outro fator a ser analisado para a escolha da melhor faixa;
- A potência total consumida em todas as estações de bombeamento também deve ser analisada, sendo esta obtida em função dos diâmetros e número de estações de recalque utilizado.

Para ilustrar os tópicos acima, foi criado um traçado de terreno genérico e para transportar uma determinada vazão de um produto, são analisadas diversas opções possíveis de estações de recalque, diâmetros e espessuras. A Figura 5 ilustra este traçado.

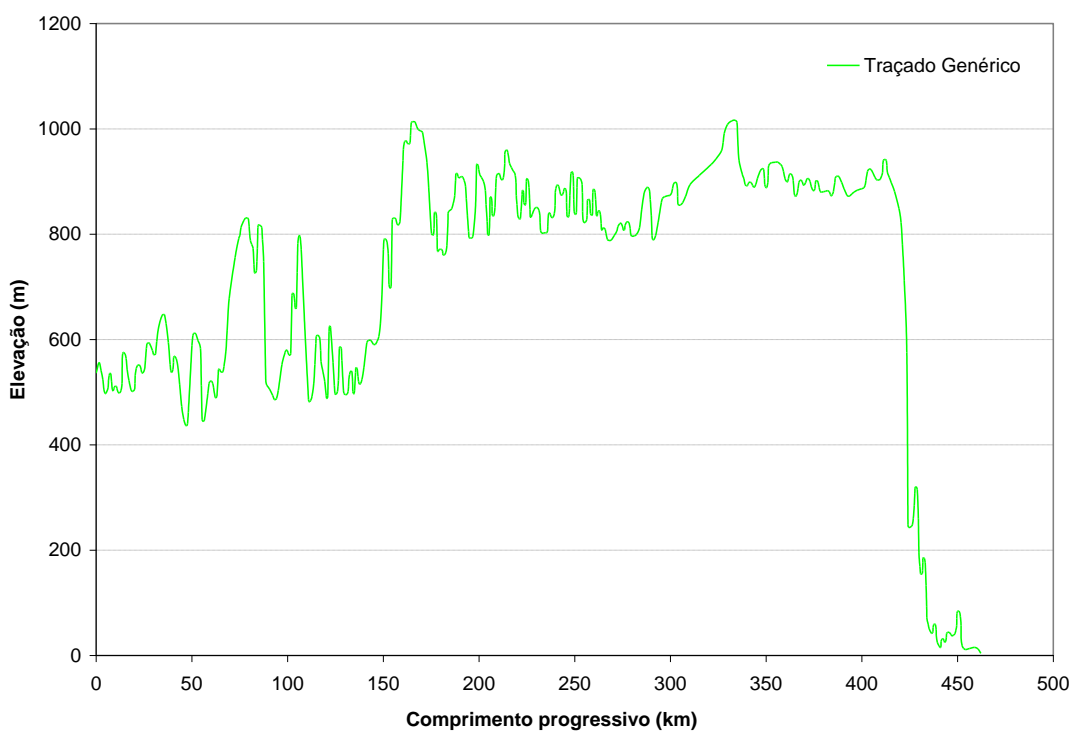


Figura 5 – Perfil de elevação de um traçado genérico

Em cima do traçado criado foram calculados gradientes hidráulicos para um duto de 14 polegadas, sendo a movimentação realizada com uma, duas ou três estações de bombeio. A Figura 6 ilustra estes gradientes hidráulicos.

Todas as pressões foram mantidas acima da pressão de vapor do produto genérico transportado, caracterizando uma operação com coluna fechada, uma vez que esta é a operação mais segura para detecção de vazamentos.

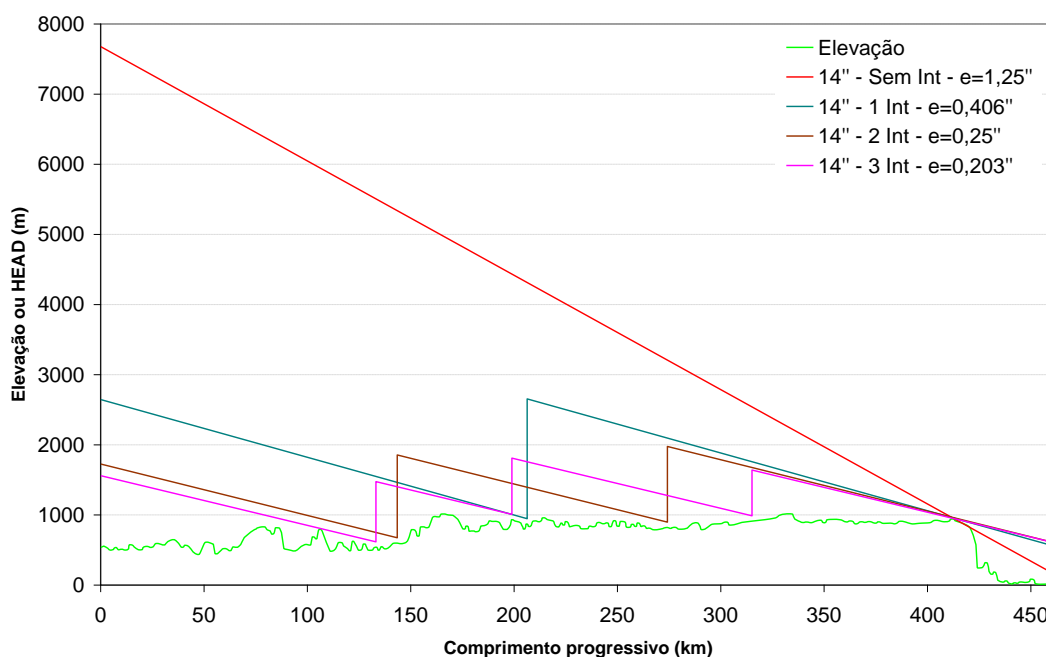


Figura 6 – Gradientes Hidráulicos para um duto de 14''

Com os gradientes hidráulicos sobrepostos o projetista pode ter uma visão geral da variação das pressões ao longo do duto em função do número de estações de bombeamento. Consegue-se ver, por exemplo, a substancial queda da pressão de envio quando a opção sem estação intermediária de bombeamento é substituída pela opção de uma ou mais estações. Consegue-se ver, também, a queda de espessura da parede do duto, resultando em uma grande economia de aço.

A Figura 7 ilustra os gradientes hidráulicos obtidos para o mesmo perfil, porém com um duto de 16 polegadas.

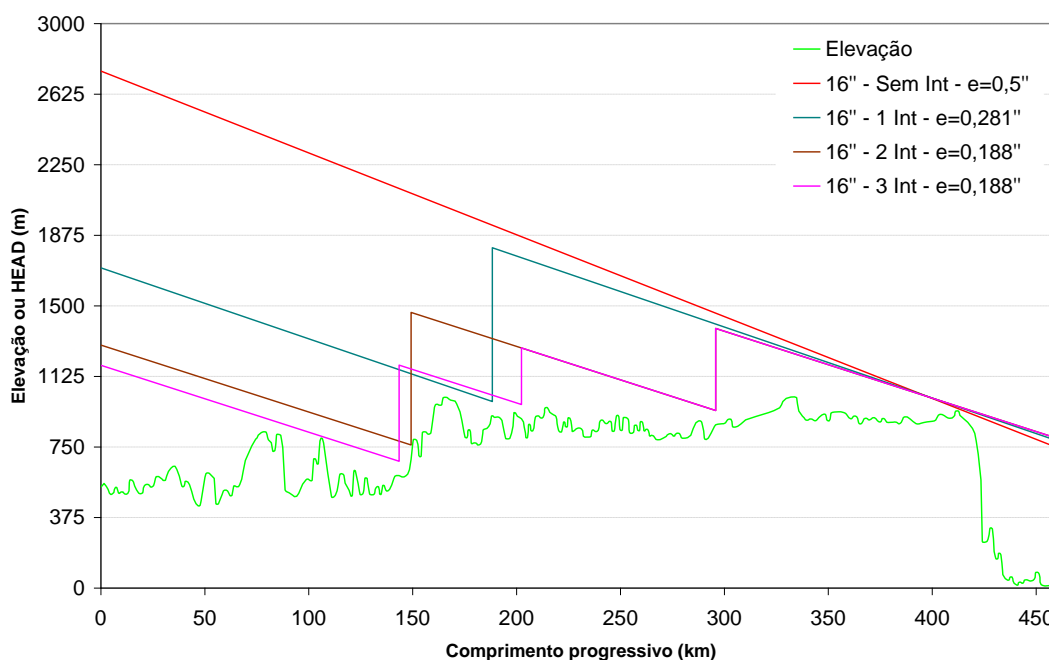


Figura 7 – Gradientes Hidráulicos para um duto de 16”

Com os gradientes hidráulicos mostrados, o projetista já ficaria atento às opções sem estações intermediárias de bombeamento, uma vez que estas resultariam em altas pressões de envio. As opções com uma estação intermediária de bombeamento mostram que o duto de 14 polegadas talvez não seja ideal, já que o duto de 16 polegadas resulta em pressões consideravelmente menores.

4.2. Pressões Máximas Operacionais Normais (PMO)

Durante a operação normal de um duto, este está sujeito a uma gama de pressões que podem ser constantes no tempo, quando ele encontra-se em regime permanente, e que são de previsão relativamente fácil. O duto muitas vezes mantém estas pressões durante vários dias e elas sempre se encontram dentro do limite do duto, definido por sua PMOA. Como as pressões variam com as características de cada produto transportado, um poliduto pode apresentar diversos regimes permanentes diferentes.

Além de regimes permanentes, alguns transientes também fazem parte da operação normal de um duto. Segundo a norma NBR 15280-1, as operações de partida e parada e as pressões estáticas também compõem a PMO e,

consequentemente, fazem parte dos transientes normais de operação. A mudança de valor de ajuste das válvulas de controle do duto, a mudança de alinhamentos e a passagem de bateladas, também são exemplos de transientes normais de operação, apesar da norma NBR 15280-1 não explicitá-los.

Define-se na norma NBR 15280-1, Anexo A, item A.43, a pressão máxima de operação (PMO) como:

“Máxima pressão na qual cada ponto de um duto é submetido em condições normais de operação, em regime de escoamento permanente ou na condição estática (ver Figura A.1).”¹

Observa-se que a norma NBR 15280-1 explicita, no item 4.2, que pressões transientes podem ultrapassar a PMOA do duto em até 10%, porém a PMO deve se manter sempre abaixo da PMOA. Esta afirmação gera uma contradição, uma vez que a PMO não é composta apenas de pressões em regime permanentes, mas também pressões resultantes de operações em regime transiente, como passagens de bateladas, partidas e paradas de bombas, mudanças de alinhamentos, dentre outras e que, apesar de serem transientes, não devem ultrapassarem a PMOA em 10%. A norma NBR 15280-1 tenta eliminar esta contradição ao comentar em uma nota, no item 4.2.1, que “as pressões desenvolvidas durante as operações normais, de partida ou parada do duto, devem ser tratadas como pressões de regime permanente”, e no item 4.2.2 ao explicar que os transientes que podem ultrapassar 10% da PMOA só podem fazê-lo em caráter eventual e fora das condições normais de operação. Ainda assim a norma NBR 15280-1 continua sem chegar a uma conclusão, uma vez que ela não define quais são as condições normais de operação, além de conceitualmente estar equivocada ao sugerir tratar os transientes de partida e parada do duto como pressões de regime permanente. Por este motivo a diferenciação entre transientes normais e transientes incidentais é de grande importância.

Realizando a composição de todas as pressões de regime permanente que o duto suporta com as pressões de transientes normais à operação, obtém-se a Pressão Máxima de Operação do duto (PMO) que, por sua vez, tem necessariamente que se manter abaixo da Pressão Máxima Operacional Admissível (PMOA).

¹ A Figura A.1 mencionada na Norma NBR 15280-1 está ilustrada neste texto na Figura 11.

A Figura 8 ilustra a distribuição de pressões que caracteriza a PMO de um duto genérico (e uma possível curva de PMOA para esse duto). Estas pressões são o resultado de uma composição de pressões de regime permanente (inclusive pressões hidrostáticas quando o duto se encontra parado) com pressões de operações normais mas transientes, como partida e parada do duto, pressões geradas por mudanças de alinhamentos, por passagem de bateladas, e pressões geradas por mudança de ajuste de PCVs, caracterizando assim a gama de pressões máximas suportada pelo duto durante a operação normal deste.

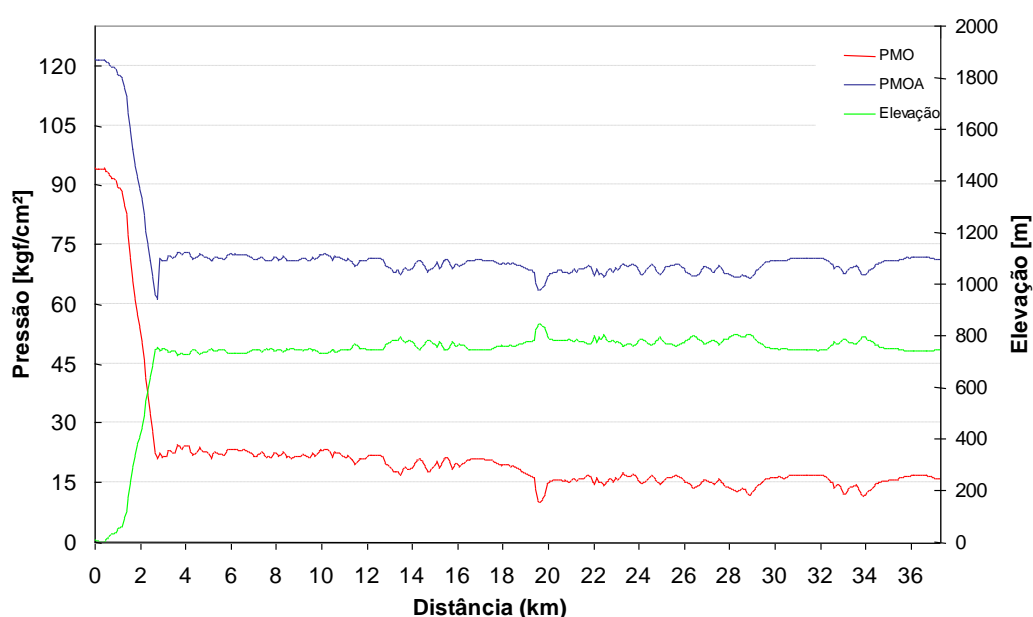


Figura 8 – PMO de um duto genérico, gerado pela composição de pressões operacionais normais

4.3. Pressões Máximas Operacionais Incidentais (PMOI)

Ao longo das operações normais de um duto, diversos imprevistos externos ou internos podem acontecer. A queda de energia provocada por uma falha da distribuidora ou um fechamento de válvula indevido provocado acidentalmente são exemplo de operações que podem ocorrer e que não fazem parte da operação normal do duto, sendo, então, caracterizadas como operações incidentais.

As operações incidentais precisam ser levadas em consideração durante a análise hidráulica de um duto pois são elas que, na grande maioria das vezes, vão gerar as maiores pressões e, para uma operação segura, o duto precisa suportar estas pressões.

A previsão de transientes gerados por operações incidentais é difícil e complexa, envolvendo equações complicadas, não sendo possíveis de serem resolvidas sem a ajuda de um programa específico para este fim.

A norma NBR 15280-1 em nenhum momento cita as pressões geradas por operações incidentais, sendo assim, ela não define diretrizes para a obtenção destas pressões nem explica como utilizá-las durante um projeto ou estudo de um duto. O principal motivo para a omissão destas operações pode estar relacionado à complexidade das equações que prevêem estas pressões e pelo fato da norma NBR 15280-1 não abordar o tema de simulação computacional.

Para a previsão confiável de pressões máximas geradas pelas operações incidentais, todo o duto precisa ser detalhadamente modelado, assim como todos os equipamentos que interagem diretamente com a operação, como PCVs, PSVs, sistemas de bombeamento, válvulas de bloqueio, isolamento térmico, etc.

O objetivo da análise de operações incidentais é obter a gama de pressões máximas resultantes destes cenários anormais à operação e, para isso, alguns incidentes podem ser considerados mais críticos, ou seja, geram as maiores pressões no duto.

Os cenários de fechamento indevido de válvulas de bloqueio na chegada do duto em qualquer terminal/refinaria que ele passe é um incidente que pode vir a acontecer e, conseqüentemente, gerar pressões transientes. Como estas válvulas de bloqueio normalmente são válvulas motorizadas, este cenário pode acontecer caso seja comandado, remotamente e equivocadamente seu fechamento.

O fechamento de válvulas de bloqueio manuais intermediárias do duto pode ser descartado, uma vez que, para ocorrer o fechamento destas, alguém precisa ir diretamente ao campo, muitas vezes com o volante da válvula em mãos, ultrapassar as cercas de proteção e girar um grande número de vezes até que ocorra o bloqueio do duto, sendo assim um cenário muito raro de acontecer de forma acidental. Porém esse quadro pode se inverter quando é realizada a

motorização de válvulas de bloqueio intermediárias. Nesses casos, o evento de fechamento indevido tornasse factível e muitas vezes mais severo que o fechamento indevido no recebimento do duto.

Alguns pontos relacionados à operação das PCVs e dos intertravamentos precisam ser estudados durante a simulação dos cenários incidentais citados. Os intertravamentos necessitam de energia externa para operarem e, por isso, podem ser considerados passíveis de falha. Por este motivo, e pelo fato de que o objetivo da PMOI é obter as maiores pressões possíveis, os intertravamentos podem não ser considerados durante os cenários incidentais e por isso não atuam na proteção do duto. Caso seja feito um estudo direcionado a este tema e, conseqüentemente, o intertravamento seja considerado seguro, a interferência deste sistema diminuirá as pressões máximas de operações incidentais do duto.

A operação de válvulas de controle (PCVs) ao longo do duto é outro assunto que precisa ser estudado durante a simulação dos cenários incidentais. Existem parques de bombeamento que possuem PCVs controlando potência, rotação, pressão de sucção e pressão de descarga das bombas de forma a garantir os limites operacionais. Este controle normalmente diminui as pressões máximas provocadas, por exemplo, por um cenário incidental de bloqueio de válvula motorizada. Porém, esses elemento não deve ser considerado como um dispositivo de segurança do duto. Logo, para a obtenção da PMOI, estas PCVs podem ser consideradas falhando e indo para sua posição de falha (normalmente “falha-permanece”) ou abrindo completamente, eliminando a atuação delas nas bombas, e possivelmente ampliando o perfil de pressões máximas resultante. Existem, também, PCVs nas chegadas de terminais/refinarias que precisam passar por estudos detalhados para concluir qual a atuação mais crítica em determinado cenário incidental.

Outro cenário incidental que um duto precisa suportar é a queda do sistema de bombas envolvido na operação. Esta queda ocorre caso aconteça uma queda de energia no terminal/refinaria onde as bombas estão instaladas. Esse evento torna-se mais relevante quando existe uma grande elevação e, conseqüentemente, uma grande coluna de líquido após a descarga das bombas. Com a parada das bombas, a coluna de líquido tende a retornar, muitas vezes provocando um golpe de aríete quando a válvula de retenção é automaticamente fechada.

A Figura 9 ilustra a PMOI confrontada com a PMOA e a PMOA+10% de um duto genérico. Observa-se que apenas a estas pressões a norma NBR 15280-1 permite ultrapassar a PMOA em até 10%.

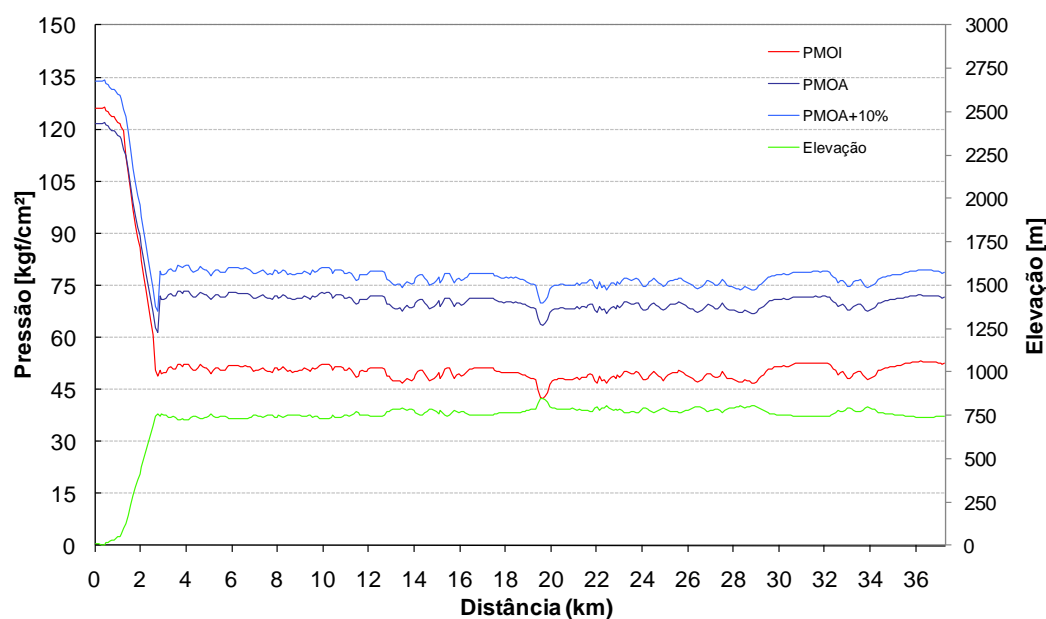


Figura 9 – PMOI de um duto genérico, gerado pela composição de pressões operacionais incidentais

4.4. Pressões Mínimas Estruturais Requeridas (Preq)

As pressões máximas de operação de um duto foram subdivididas, a fim de organizar o estudo em dois tipos distintos, definidos como Pressão Máxima de Operação Normal (PMO) e Pressão Máxima de Operação Incidental (PMOI). Deve-se observar que nada impede que em determinadas posição do duto, a PMO possa ser maior que a PMOI. Assim, as pressões máximas que o duto poderá precisar suportar durante sua operação deve ser a composição destas duas pressões máximas distintas.

O conceito que engloba esta composição é o de Pressão Mínima Estrutural Requerida (Preq) e pode representar a curva de referência para a determinação de espessuras ao longo do duto, na fase de projeto, ou pode servir, também, como base para a determinação do teste hidrostático.

O conceito de Preq, apesar de ser composto pela PMOI, não é passível de ultrapassagem da PMOA, por isso a composição das duas pressões máximas

operacionais não pode ser direta. A obtenção da P_{req} se dá pelo maior valor, em cada ponto do duto, entre a $PMOI$ dividida por 1,1 e a PMO .

A Figura 10 ilustra a P_{req} de um duto genérico. Observa-se que todas as pressões mínimas requeridas devem se manter abaixo da $PMOA$ do duto.

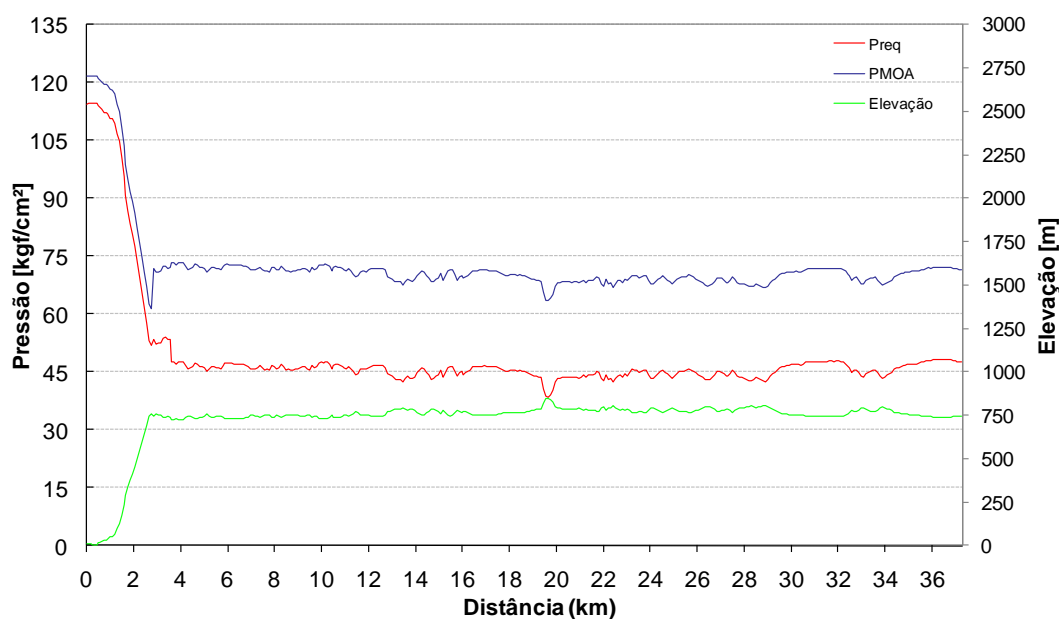


Figura 10 – P_{req} de um duto genérico, gerado pela composição da PMO com a $PMOI/1,1$

4.4.1. Pressão de Projeto

Define-se na norma NBR 15280-1, Anexo A, item A.41, a pressão de projeto como:

“Pressão adotada para dimensionamento mecânico do tubo e demais componentes de tubulação (ver Figura A.1).”

A Figura 11 ilustra a Figura A.1 da norma NBR 15280-1.

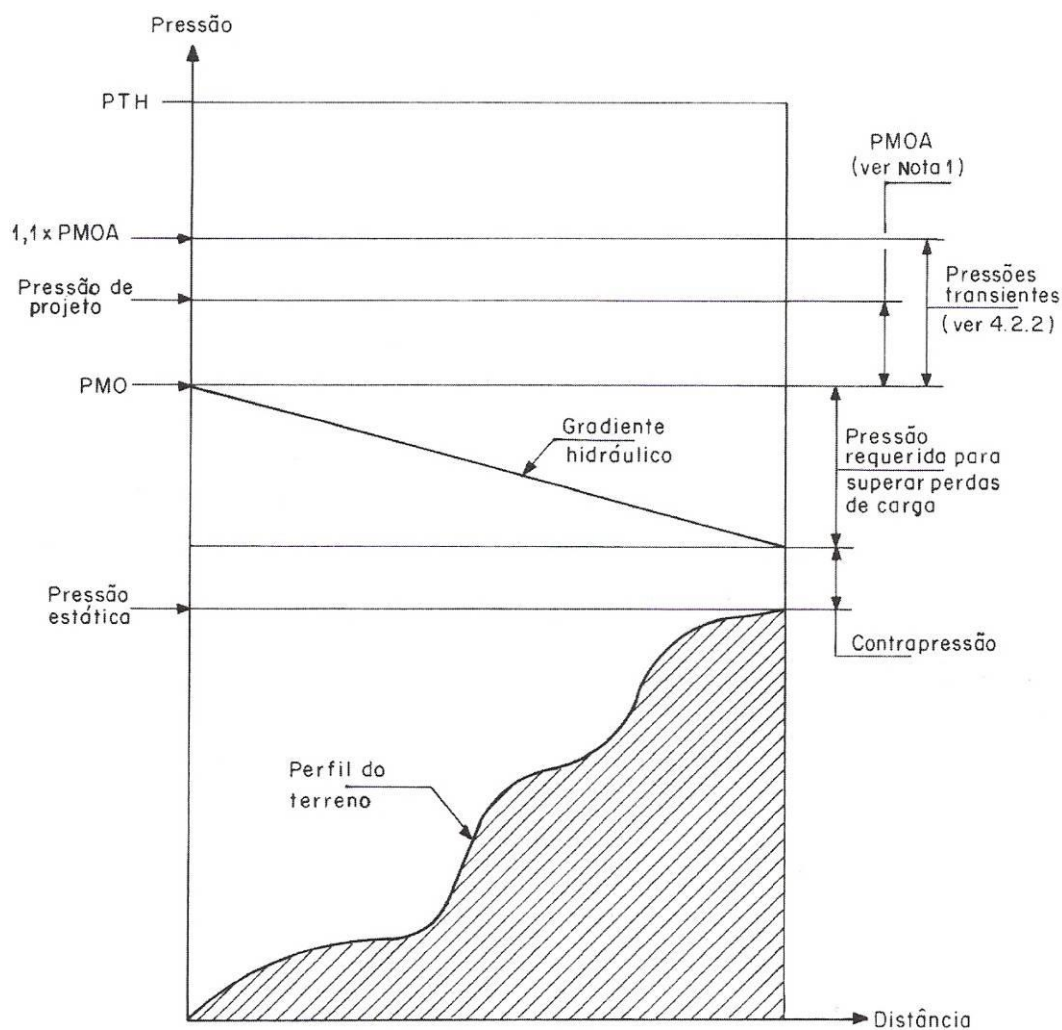


Figura 11 – Representação esquemática das pressões em dutos (Figura A.1)

Ao analisar a Figura 11 pode-se ver que ela apresenta informações equivocadas, que não correspondem à realidade e precisam ser corrigidas. De acordo com o perfil do terreno, temos um aumento da cota à medida que há o deslocamento para a direita, conseqüentemente deveríamos obter uma variação de pressão, correspondente ao perfil, ao invés de linhas retas, como ilustrado na figura. Caso a figura estivesse representando o *Head* máximo de operação, juntamente com a HMOA, as linhas desenhadas estariam qualitativamente corretas.

Analisando criticamente a definição dada pela norma NBR 15280-1 para a pressão de projeto e a figura A.1 não é possível chegar a uma conclusão sobre qual seria esta pressão e como chegar ao valor desta. A Figura 11 mostra que a pressão de projeto é, aparentemente, qualquer pressão possível que esteja

entre a PMO e a PMOA+10%, não sendo definido um método de cálculo para esta pressão.

A pressão de projeto é utilizada pela norma NBR 15280-1 para calcular a espessura de parede do duto a ser projetado, cuja fórmula está descrita nesta monografia na equação (3-3). A espessura de parede de um duto precisa ser tal que suporte todas as pressões, normais e incidentais, geradas durante a operação. Para isto um bom valor seria, para cada ponto do duto, o maior valor entre a máxima pressão de operação normal e a máxima pressão de operação incidental dividida por 1,1, ou seja, a Pressão Mínima Estrutural Requerida (Preq).

4.4.2. Pressão Máxima de Operação Admissível (PMOA)

A norma NBR 15280-1 também utiliza a pressão de projeto para o cálculo da pressão máxima operacional admissível (PMOA). No item 8.3.1 da norma NBR 15280-1 é descrito que “O ensaio hidrostático habilita cada ponto do duto para operar a uma pressão interna igual ou inferior à pressão de ensaio dividida pelo fator de ensaio, limitada à pressão de projeto. Este valor deve ser estabelecido como a PMOA original do duto e deve estar compreendida entre a PMO e a pressão de projeto”. O item 8.3.3 e a tabela 6 da norma (nesta monografia apresentada como Tabela 2) complementam a utilização da pressão de projeto no cálculo da PMOA.

Como informação complementar, o item 8.3.4 informa que “A PMOA das tubulações dos coletores de LGN, das tubulações em bases, estações e terminais, dos lançadores e recebedores de pig, deve ser igual ao menor valor entre:

- a) Pressão mínima atingida no ensaio de resistência mecânica dividida por 1,5;
- b) Pressão de projeto.”

Como explicado no item 4.4 desta monografia, a Pressão Mínima Estrutural Requerida (Preq) atende às requisições da pressão de projeto definida pela norma NBR 15280-1, apresentando todas as características necessárias para ser a pressão adotada para dimensionamento mecânico do tubo e demais componentes de tubulação. Além disso, a Preq baseia-se nas pressões reais que o duto irá suportar, tanto em operações normais quanto em operações incidentais e é baseada em cálculos, podendo ser reproduzida por outros projetistas no futuro.

Visto isso sugere-se uma equivalência de conceitos entre Pressão de Projeto, definido na norma NBR 15280-1 e Pressão Mínima Estrutural Requerida (Preq).

Outra inconsistência vista na tabela 6 da norma NBR 15280-1 refere-se à questão da pressão mínima necessária para o teste de resistência do duto. É colocado que a pressão mínima deve ser 1,25 vezes o valor da PMO. Esta prática não está errada, porém, ao aplica-la, podemos encontrar uma PMOA igual à PMO do duto. Isto, apesar de ser permitido na norma, não deixaria margem alguma para a operação, além de ser necessário ter certeza de que a PMOI nunca será maior do que 10% da PMO.

4.5. Comparação das Propostas Apresentadas

Para ratificarmos a proposta apresentada nesta monografia, é demonstrada uma comparação numérica entre as metodologias apresentadas na norma NBR 15280-1 e nesta monografia.

A primeira metodologia a ser apresentada é a proposta pela norma NBR 15280-1, chamada de Método 1 para efeitos de comparação. Segundo a norma mencionada, precisamos definir uma pressão de projeto para servir como referência para o oleoduto a ser estudado. A norma não define uma maneira específica para encontrar esta pressão, portanto esta será definida constante igual ao maior valor da PMO do duto. Uma vez que a norma não define PMOI, consequentemente este conceito não poderá ser utilizado. Para o perfil e PMO apresentados na Figura 8, a pressão de projeto será constante e igual a 95 kgf/cm².

Com a PMO do duto calculada e a pressão de projeto definida, pode-se encontrar a PMOA do duto, segundo a norma NBR 15280-1. A tabela 6 da norma (nesta monografia apresentada como Tabela 2) informa que a pressão mínima para o ensaio de resistência, caso o fluido esteja na categoria I, é de 1,25 vezes a PMO.

Supondo que será utilizada a pressão mínima durante o teste hidrostático, pode-se obter a PMOA do duto que, de acordo com a norma NBR 15280-1, será “o menor valor entre a pressão mínima atingida no ensaio de resistência mecânica dividida por 1,25 e Pressão de projeto”. No caso do exemplo em questão, temos que a pressão mínima atingida no ensaio de resistência mecânica dividida por 1,25 é igual à PMO. Ao mesmo tempo, temos a pressão de projeto igual ao máximo valor da PMO ao longo do duto. Consequentemente obtemos que o menor valor descrito na norma NBR 15280-1 é a própria PMO, ou seja, conclui-se que a PMOA do duto será igual à PMO do mesmo.

Caso a norma NBR 15280-1 fosse seguida rigorosamente como demonstrado acima, seria obtida uma PMOA que, segundo a própria norma NBR 15280-1, impossibilitaria a operação deste duto. O duto não estaria seguro, pois caso houvesse algum transiente incidental de fechamento de válvula de bloqueio no recebimento por exemplo, este geraria pressões incidentais como demonstradas na Figura 9, atingindo uma pressão incidental máxima de 125 kgf/cm², consequentemente ultrapassando a PMOA em mais de 30%, o que não é permitido pela norma NBR 15280-1.

Uma metodologia desenvolvida a partir da extinta norma N1744, a qual é baseada na norma americana ASME B31.4 e, para efeitos de comparação é chamada nesta monografia de Método 2, é utilizada para projetos de dutos da PETROBRAS, e define a pressão de projeto a partir da pressão máxima operacional incidental (PMOI) do duto, como definida nesta monografia. Essa metodologia ainda permite a utilização de mais de uma pressão de projeto, caso seja necessário.

Utilizando essa metodologia, calcula-se a PMOI do duto, como ilustrada na Figura 9 e, a partir dela definem-se a pressão de projeto. A definição é baseada na experiência do projetista, mas normalmente é considerada como igual ou superior a PMOI. No exemplo em questão, será utilizada a pressão de projeto de 125 kgf/cm².

O cálculo da pressão mínima do teste de resistência do duto é apresentado na tabela 6 da norma NBR 15280-1, porém a metodologia baseada na N1744 utiliza um cálculo modificado, substituindo o valor de 1,25 vezes a PMO para 1,25 vezes a Pressão de Projeto utilizada. Caso o teste de resistência do duto seja feito com o valor de pressão mínimo, será obtida uma PMOA igual à pressão de projeto do duto.

Essa metodologia permite que o duto possa operar normalmente, além de garantir que as pressões máximas incidentais do duto não ultrapassem a PMOA. Apesar dessa metodologia ser correta, ela superdimensiona o duto, uma vez que a PMOI pode ultrapassar em até 10% a PMOA.

A metodologia sugerida nesta monografia, e chamada de Método 3, se assemelha à baseada na N1744, porém utiliza-se da Preq, a qual se insere no lugar da pressão de projeto. A Preq traz o benefício de ser uma pressão calculada, e não estimada por cada projetista, além de ser composta pela PMOI dividida por 1,1, o que permite com que as pressões máximas operacionais incidentais ultrapassem em até 10% a PMOA, ao mesmo tempo garantindo que as pressões máximas operacionais (PMO) se mantenham abaixo da PMOA.

Utilizando a metodologia sugerida nesta monografia, encontra-se, quando utilizando a pressão mínima do teste de resistência, um valor de fato mínimo para a PMOA, uma vez que este valor permite que o ponto que apresente a maior pressão operacional incidental seja exatamente 10% acima da PMOA enquanto que a curva de máxima pressão operacional normal encontra-se abaixo da PMOA do duto.

A Tabela 3 apresentada abaixo sintetiza os resultados apresentados pelos diferentes métodos descritos.

Tabela 3 - Tabela resumo de resultados

Método	PMO [kgf/cm²]	PMOI máxima [kgf/cm²]	Preq máxima [kgf/cm²]	Pressão de Projeto [kgf/cm²]	PMOA máxima [kgf/cm²]
1	Ver Figura 8	125	--	95	Idêntica à PMO
2	Ver Figura 8	125	--	125	125
3	Ver Figura 8	125	113,7	--	113,7

5 Conclusões e Sugestões

A rápida evolução dos computadores e desenvolvimento de algoritmos poderosos trazem incontáveis benefícios para a tecnologia e precisam ser utilizados e normatizados. A norma NBR 15280-1 é a melhor maneira de adicionar estes avanços quando aplicada ao projeto de novos dutos, ampliação e estudos de operações normais e especiais. Porém, atualmente a norma NBR 15280-1 não menciona simulações termo-hidráulicas computacionais em seu conteúdo.

Simulações computacionais são de grande ajuda aos estudos hidráulicos de dutos, porém precisam ser cuidadosamente normatizadas pois, assim como qualquer software, elas podem produzir respostas equivocadas. A modelagem do duto, assim como de todas as estações e/ou terminais envolvidas ao longo da malha a ser estudada, precisa ser feita cuidadosamente, atentando a todos os detalhes que influenciam na operação do duto.

Além da modelagem física, a modelagem da operação também precisa ser precisa e detalhada a fim de reproduzir computacionalmente a operação real do duto. Para dutos existentes, validações a partir de dados operacionais reais são essenciais para a confiabilidade do modelo, garantindo a concordância dos resultados gerados pelas simulações com os resultados obtidos nas situações reais.

Operações incidentais, por serem sensíveis a diversos equipamentos e sistemas de controle e segurança, precisam ser bem direcionadas e normatizadas. Estas operações, na maioria das vezes, são as que irão gerar as maiores pressões e, conseqüentemente, irão ter grande importância nas conclusões dos estudos hidráulicos.

A revisão da norma NBR 15280-1, que encontra-se atualmente na primeira edição, é indispensável para a correção de erros conceitualmente graves, como os da Figura A.1 da norma, citado nesta monografia como Figura 11 e explicado no item 4.4.1. A introdução de novos conceitos à norma brasileira NBR 15280-1, relacionados à simulação termo-hidráulica, também são indispensáveis para dar

confiabilidade, economia, velocidade e precisão a qualquer estudo hidráulico de dutos.

Sugere-se revisar, na norma NBR 15280-1, os conceitos de Pressão Máxima Operacional (PMO), Pressão de Projeto e Pressão Máxima Operacional Admissível (PMOA), como detalhados nesta monografia nos itens 4.2 e 4.4.1.

Sugere-se, também, adicionar à norma os conceitos de Pressão Máxima Operacional Incidental (PMOI) e Pressão Mínima Estrutural Requerida (Preq), como detalhados nesta monografia nos itens 4.3 e 4.4.

Sugere-se implementar na norma NBR 15280-1 a metodologia apresentada por esta monografia, no item 4.5.

Referências bibliográficas

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Dutos Terrestres Parte1: Projeto**. Primeira Edição, 2009.
- [2] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids**. 2006 Edition
- [3] STONER PIPELINE SIMULATOR. **Stoner Pipeline Simulator (SPS) 9.6**.
- [4] Carneiro, L.M.; Krause, P.B.; Pires, L.F.G. **Criteria and Procedures to Obtain the Maximum Operacional Pressure Profile in Pipelines**. IBP1215_09 in Rio Pipeline 2009 Conference & Exposition.
- [5] ASME B31.4 - Pipeline Transportation Systems for Liquid Hydrocarbons and Other Liquids
- [6] PETROBRAS N-1744 - Projeto de Oleodutos e Gasodutos Terrestres
- [7] ABNT NBR 15280-1 - Dutos Terrestres Parte 1: Projeto