# E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

# NORMA BRASILEIRA

# ABNT NBR 15280-1

Segunda edição 27.08.2009

Válida a partir de 27.09.2009

# **Dutos terrestres Parte 1: Projeto**





ISBN 978-85-07-01729-5





Número de referência ABNT NBR 15280-1:2009 75 páginas

© ABNT 2009



# © ABNT 2009

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito da ABNT.

# ABNT

Av.Treze de Maio, 13 - 28° andar 20031-901 - Rio de Janeiro - RJ Tel.: + 55 21 3974-2300 Fax: + 55 21 3974-2346 abnt@abnt.org.br www.abnt.org.br

ii

Página

#### Prefácio .....vi Escopo......1 2 Referências normativas......3 3 Termos e definições .......4 Condições e critérios de projeto......4 4.1 Geral. 4 4.2 4.3 Temperatura.......4 Cargas......5 4.4.1 Geral......5 Cargas operacionais ......5 4.4.2 4.4.3 Cargas ambientais......6 4.4.4 Cargas de construção......6 4.4.5 Cargas acidentais .......6 Carga de variação de temperatura (dilatação e contração térmicas)......6 4.4.6 4.4.7 Cargas de deslocamento imposto......6 4.4.8 Combinação de cargas ......7 4.5 Classes de pressão-temperatura, para componentes de tubulação ......7 Tensões admissíveis para materiais de tubos e componentes ......8 4.6 4.7 4.8 4.8.1 Duto enterrado (restringido)......10 4.8.2 4.8.3 4.9 Tolerâncias......12 4.9.1 Corrosão.......12 4.9.2 Roscas \_\_\_\_\_\_\_\_12 4.9.3 Tolerâncias dimensionais para tubos e componentes de tubulação ......12 Dimensionamento à pressão......12 5 5.1 Determinação da espessura de parede......12 5.2 Seleção de tubos e componentes......15 6 6.1 6.2 Componentes para mudança de direção ......15 6.2.1 6.2.2 6.2.3 6.2.4 6.3 Componentes para alterações no diâmetro......17 6.4 6.4.1 6.4.2 6.4.3 6.5 Componentes para fechamento de extremidades ......17 Tampões de acionamento rápido .......17 6.5.1 6.5.2 6.5.3 6.5.4 6.6 Válvulas ......18 6.7 Flanges, juntas e parafusos ......18

Sumário

# ABNT NBR 15280-1:2009

6.8	Meios de ligação de tubos	18
6.8.1	Juntas soldadas	18
6.8.2	Juntas flangeadas	
6.8.3	Juntas roscadas	19
7	Construção e montagem	19
7.1	Geral	
7.2	Cruzamentos e travessias	19
7.3	Válvulas intermediárias de bloqueio	
7.4	Cobertura e afastamento	
7.5	Estabilização do duto	23
7.6	Avaliação das anomalias em tubos	24
0	Ensaio de pressão	24
8 8.1	·	
8.2	Generalidades Pressão mínima e máxima de ensaio	
8.3	Pressão máxima de operação admissível (PMOA)	
0.3		
9	Análise de flexibilidade	26
9.1	Geral	26
9.2	Métodos de análise	
9.3	Critérios para análise de flexibilidade	27
9.4	Requisitos para a obtenção da flexibilidade	28
9.5	Abrangência da análise	28
9.6	Cargas atuantes e tensões	28
9.7	Diferenciais de temperatura	
9.8	Generalidades	29
10	Cálculo das tensões	22
10.1	GeralGeral	
10.1		
10:3	Tensão de expansão interna-	32
10.3	Geral	33
10.3.1	Tensão longitudinal de flexão de peso próprio (Sfg)	
10.4	Tensão longitudinal de flexão de cargas ocasionais (S <sub>fo</sub> )	
10.5	Tensão equivalente de cargas externas, de pressão e de variação de temperatura, em cruz	
10.0	(S <sub>EO</sub> )	
10.7	Tensões de carregamentos não-ordinários	
10.7	Tensões residuais	
10.9	Tensões localizadas	
10.5		
11	Projeto de suportes	
11.1	Geral	
11.2	Materiais	
11.3	Esforços	
11.4	Ligação de elementos estruturais para suportes de restrição	
11.5	Estabilidade para tubos enterrados	39
12.1	PRSTAÇÃO contra corrosão externa	46
12.2	Sistema de proteção catódica	
12.3	Revestimento externo anticorrosivo	
12.4	Controle da corrosão interna	
12.5	Inibidor de corrosão	
Anevo	A (normativo) Termos e definições	
	B (informativo) Fatores de conversão	
	C (informativo) Regras para projeto de derivações tubulares soldadas	
C.1	Geral	
C.2	Regras para o reforço de derivações tubulares soldadas (ver Figura C.1)	
C.2.6	Requisitos especiais	
C.3	Derivações múltiplas	53

Anexo D (informativo) Critérios de projeto para verificação da espessura de parede, em dutos sub	
Anexo E (informativo) Normas para tubos, válvulas, conexões, flanges, juntas e parafusos	61
Anexo F (informativo) Correspondência Inglês – Português para termos técnicos de tensões	63
Anexo G (informativo) Figuras	64



© ABNT 2009 - Todos os direitos reservados

Impresso por: PETROBRAS

# **Prefácio**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidade, laboratório e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras das Diretivas ABNT, Parte 2.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

A ABNT NBR 15280-1 foi elaborada no Organismo de Normalização Setorial de Petróleo (ABNT/ONS-34), pela Comissão de Estudo de Sistemas de Transporte e Derivados de Petróleo (CE-34:000.05). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 09, de 17.09.2008 a 17.11.2008, com o número de Projeto 34:000.05-001/1. Seu Projeto de Emenda 1 circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 06, de 22.05.2009 a 20.07.2009, com o número de Projeto de Emenda ABNT NBR 15280-1.

Esta Norma foi elaborada com a participação do ABNT/CB-09 – Comitê Brasileiro de Gases Combustíveis e do ABNT/CB-50 – Comitê Brasileiro de Materiais, Equipamentos e Estruturas Offshore para a Indústria do Petróleo e Gás Natural.

Esta Norma é baseada na ASME B31.4:2006.

Esta Norma, sob o título geral "Dutos terrestres", tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Projeto;
- Parte 2: Construção e montagem.

Esta Segunda edição incorpora a Emenda 1 de 27.08.2009 e cancela e substitui a edição anterior (ABNT NBR 15280-1:2009).

O Escopo desta Parte da ABNT NBR 15280 em inglês é o seguinte:

# Scope

This part of ABNT NBR 15280 prescribes conditions and minimum requirements for design, material and equipment specification, inspection, hydrostatic test and corrosion control, related to onshore pipelines.

This part of ABNT NBR 15280 applies to pipelines systems for liquid or liquefied products transportation, such as: liquid alcohol, crude oil, naphtha, gasoline, diesel, kerosene, natural gas condensate, natural gasoline, liquid petroleum gas, liquid anhydrous ammonia and biofuels.

The systems covered by this part of standard include:

- a) pipelines and its branches;
- b) pipelines at marine terminals;
- c) pipelines which interconnect gathering and treatment stations to refineries or terminals;

vi

- d) pipelines which interconnect pump stations;
- e) piping at bulk plants and terminals;
- f) pier piping, scraper traps, pressure reducing stations and intermediate valves;
- g) oil pipelines which are interconnected to process plants and refineries, including the sections inside these areas with the purpose of establishing interconnection between these plants and the pipelines, provided those are installed on a corridor, defined on plot plan of respective plant.

The Figure 1 shows an illustrative diagram of installation coverage which are within the scope of this Standard.

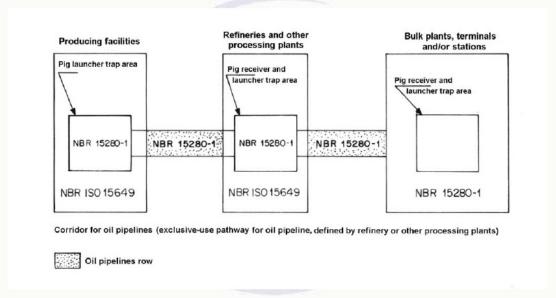


Figure 1 - Diagram of ABNT NBR 15280 scope

This part of ABNT NBR 15280 also includes design issues, related to construction and assembly of oil pipelines, supplementary to NBR 15280-2.

This part of ABNT NBR 15280 only applies to pipelines systems which pipes and piping components are made of carbon steel.

This part of ABNT NBR 15280 applies to pipelines systems for transportation of liquid or liquid products, flammable or toxic, classified according to potential damages that could cause impact to public integrity, properties and environment.

This part of ABNT NBR 15280 classifies transported products under two risk categories as follows:

 a) category I – Flammable and/or toxic products, steady at liquid phase whenever at room temperature and atmospheric pressure conditions. Category I products show lesser potential risks than category II ones. Typical examples are: crude oil, liquid petroleum products, methanol and ethanol and biofuels. Vapor pressure for category I products is equal or less than 1.12 kgf/cm² abs at 38 °C;

## **ABNT NBR 15280-1:2009**

b) category II – Flammable and/or toxic products, steady at gaseous phase whenever at room temperature and atmospheric pressure conditions, but under certain temperature and/or pressure conditions can be transported as liquids. Category II products show greater potential risks than category I ones. Typical examples are: liquefied petroleum gas (LPG), ethene, propane, natural gas liquids (NGL) and liquid anhydrous ammonia. Vapor pressure for category II products is greater than 1.12 kgf/cm² abs at 38 °C.

This part of ABNT NBR 15280 does not apply to pipeline systems design under following conditions:

- a) transportation of LPG at gaseous phase;
- b) transportation of liquefied natural gas (LNG);
- c) operation above 120 °C and below 30 °C;
- d) oil treatment and process;
- e) oil wells, wellhead assemblies, oil separators and other producing facilities;
- f) transportation of liquid fuels for furnaces and boilers;
- g) auxiliary piping for water, air, vapor and lubricant oil;
- h) operation at relative pressures equal or less than 100 kPa (1 bar).

The pipeline design include others items, out of scope of this part of standard, such as route and diameter selection, environment conditions survey, geomorphologic data search, content determination of contaminant elements on transported products, batimetrical studies, soil chemical aggressiveness studies and environment impact assessments.

This part of ABNT NBR 15280 adopts the International System of Units (SI). Annex B includes a convenient list of conversion factors of some measurement units of other systems for SI.

viii

# xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

# **Dutos terrestres Parte 1: Projeto**

# 1 Escopo

- 1.1 Esta Parte da ABNT NBR 15280 estabelece as condições e os requisitos mínimos exigidos para projeto, especificação de materiais e equipamentos, inspeção, ensaio hidrostático e controle da corrosão, em sistemas de dutos terrestres.
- **1.2** Esta Parte da ABNT NBR 15280 se aplica a sistemas de dutos para movimentação de produtos líquidos ou liquefeitos, tais como: álcoois líquidos, petróleo, nafta, gasolina, diesel, querosene, condensados de gás natural, gasolina natural, gás liquefeito de petróleo, amônia anidra líquida e biocombustíveis.
- 1.3 Os sistemas de dutos abrangidos por esta parte da ABNT NBR 15280 são:
- a) dutos e seus ramais;
- b) dutos em terminais marítimos;
- c) dutos que interligam estações de coleta e tratamento a refinarias ou terminais;
- d) dutos que interligam estações de bombeamento;
- e) tubulações em bases e terminais;
- f) tubulações em píeres, estações de recebimento e lançamento de pigs, estações de redução e controle de pressão e válvula intermediária;
- g) dutos que se interligam às plantas de processamento e refinarias, incluindo as tubulações que adentram estas áreas com o propósito de estabelecer conexão entre estas plantas e os dutos, desde que estes sejam instalados em faixa reservada e de uso exclusivo, definida no plano diretor da respectiva planta.
- **1.4** A Figura 1 apresenta um diagrama ilustrativo da abrangência das instalações que estão cobertas por esta parte da ABNT NBR 15280.

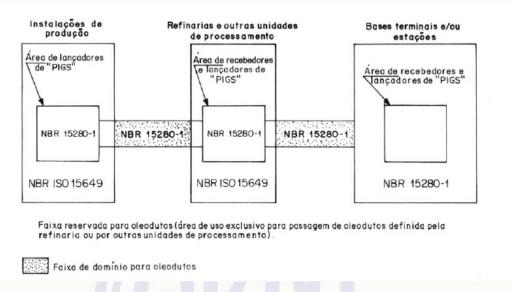


Figura 1 — Diagrama do escopo da ABNT NBR 15280

- **1.5** Esta Parte da ABNT NBR 15280 trata ainda de aspectos de projeto, relacionados à construção e montagem de dutos, complementares à NBR 15280-2.
- **1.6** Esta Parte da ABNT NBR 15280 se aplica somente aos sistemas de dutos cujos tubos e demais componentes de tubulação são de aço carbono.
- **1.7** Esta Parte da ABNT NBR 15280 se aplica aos sistemas de dutos para movimentação de produtos líquidos ou liquefeitos, inflamáveis ou tóxicos, classificados segundo os danos potenciais que possam causar à integridade das pessoas, aos bens patrimoniais das comunidades e ao meio ambiente.
- **1.8** Esta Parte da ABNT NBR 15280 classifica os produtos transportados dentro das duas categorias de risco citadas abaixo:
- a) categoria I Produtos inflamáveis e/ou tóxicos, estáveis na fase líquida quando em condições de temperatura ambiente e pressão atmosférica. Os produtos da categoria I apresentam menores riscos potenciais que os da categoria II. Exemplos típicos são: petróleo, derivados líquidos de petróleo, metanol, etanol e biocombustíveis.

စ္စန္သစ္မွာrodutos da categoria I possuem pressão de vapor absoluta igual ou inferior a 1,10 bar (1,12 kgf/cm ),

- b) categoria II Produtos inflamáveis e/ou tóxicos, estáveis na fase gasosa quando em condições de temperatura ambiente e pressão atmosférica, mas que sob certas condições de temperatura e/ou pressão podem ser transportados como líquidos. Os produtos da categoria II apresentam maiores riscos potenciais que os da categoria I. Exemplos típicos são: Gases liquefeitos de petróleo (GLP), eteno, propano, líquido de gás natural (LGN), amônia. Os produtos da categoria II possuem pressão de vapor absoluta superior a 1,10 bar (1,12 kgf/cm²), a 38 °C.
- 1.9 Esta Parte da ABNT NBR 15280 não se aplica ao projeto de sistemas de dutos nas seguintes condições:
- a) movimentação de GLP na fase gasosa;
- b) movimentação de gás natural liquefeito (GNL);

- c) operação acima de 120 °C e abaixo de 30 °C;
- d) tratamento e processamento de óleo;
- e) poços, cabeças de poços, separadores e outras facilidades de produção;
- f) movimentação de combustíveis líquidos para fornos e caldeiras;
- g) tubulações auxiliares de água, ar, vapor e óleo lubrificante;
- h) operação a pressões relativas iguais ou inferiores a 100 kPa (1 bar).
- **1.10** O projeto de duto inclui outros itens fora do escopo desta Parte da ABNT NBR15280, tais como: seleção da diretriz e do diâmetro, levantamento de condições ambientais, coleta de dados geomorfológicos, determinação dos teores de elementos contaminantes nos produtos transportados, investigações batimétricas, investigações de agressividade química do solo e estudos de impacto ambiental.
- **1.11** Esta parte da ABNT NBR 15280 adota o Sistema Internacional de Unidades (SI). Por conveniência, consta no Anexo B a relação de fatores de conversão de algumas unidades de medida de outros sistemas para o SI.

# 2 Referências normativas

Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).

ABNT NBR 6123, Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento

ABNT NBR 12230, SI - Prescrições para sua aplicação - Procedimento

ABNT NBR 15221-1, Tubos de aço - Revestimento anticorrosivo externo - Parte 1: Polietileno em três camadas

ABNT NBR 15221-2, Tubos de aço - Revestimento anticorrosivo externo - Parte 2: polipropileno em três camadas

ABNT NBR 15221-3, Tubos de aço – Revestimento anticorrosivo externo – Parte 3: Epóxi em pó termicamente curado

ABNT NBR 15273, Indústrias de petróleo e gás natural - Curvas por indução para sistema de transporte por dutos

ABNT NBR 15280-2, Dutos terrestres – Parte 2: Construção e montagem

ISO 3183/API SPEC 5L, Specification for line pipe

ISO 15589-1, Petroleum and natural gas industries – cathodic protection of pipeline transportation systems – Part 1: on-land pipelines

API RP 1102, Steel pipelines crossing railroads and highways

ASME B1.20.1, Pipe threads

ASME B16.5, Pipe flanges and flanged fittings

ASME B16.9, Factory-made wrought steel butt- welding fittings

ASME B16.20, Ring-joint gaskets and grooves for steel pipe flanges

ASME B16.28, Wrought steel buttwelding short radius elbows and returns

ASME B 31.4, Pipeline transportation systems for liquid hydrocarbons and other liquids

ASME B36.10, Welded and seamless wrought steel pipe

ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC), Section VIII, Division I, Rules for construction of pressure vessels

MSS SP 44, Steel pipeline flanges

MSS SP 75, Specification for high-test, wrought, butt-welding fittings

NACE RP 07 75, Preparation, installation, analysis and interpretation of corrosion coupons in oilfield operations

# 3 Termos e definições

Para os efeitos desta Parte da ABNT NBR 15280, aplicam-se os termos e definições apresentados no Anexo A.

# 4 Condições e critérios de projeto

#### 4.1 Geral

- **4.1.1** Esta Seção trata de pressões, temperaturas e outras cargas a que um duto está sujeito. Esta Seção inclui classes de pressão, tensões admissíveis, tolerâncias de projeto e valores mínimos de projeto.
- **4.1.2** A pressão e a temperatura têm nesta Parte da ABNT NBR 15280, tratamento particularizado dentro da conceituação e classificação das cargas.
- **4.1.3** Medidas de proteção para o duto devem ser adotadas em travessias de rios, áreas costeiras alagáveis, pontes, áreas com tráfego intenso e terrenos instáveis. Algumas das medidas de proteção são: uso de tubocamisa, jaqueta de concreto, aumento da espessura da parede, rebaixamento do duto a uma maior profundidade, placa de concreto ou sinalização indicando a presença do duto.

# 4.2 Pressão

- **4.2.1** A pressão de projeto, em qualquer ponto de um duto, deve ser igual ou superior à pressão máxima de operação (PMO).
- NOTA As pressões desenvolvidas durante as operações normais, de partida ou parada do duto, devem ser tratadas como pressões de regime permanente.
- **4.2.2** São permitidas pressões transientes superiores em até 10 % da pressão máxima de operação admissível (PMOA), desde que sejam de caráter eventual e fora das condições normais de operação.
- **4.2.3** O efeito da pressão hidrostática externa, durante a instalação ou a operação do duto, deve ser avaliado. A conjugação dos fatores "espessura mínima" e "ovalização máxima", para uma dada seção transversal, deve garantir a integridade do duto ao colapso. Em travessias, o duto sob efeito da pressão externa deve resistir à superposição de outros esforços que, eventualmente, estejam atuando neste trecho.
- **4.2.4** A pressão interna oriunda da expansão térmica do fluido deve ser considerada para trechos de tubulação expostos ao sol e sujeitos ao bloqueio duplo.

# 4.3 Temperatura

**4.3.1** A temperatura de projeto, adotada para um trecho do duto, deve ser consistente com as temperaturas esperadas para a operação do sistema, incluindo a partida e a parada.

E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

- **4.3.2** As temperaturas (mínima e máxima) de projeto devem ser estabelecidas como a temperatura de metal esperada para a condição de operação normal.
- **4.3.3** Alguns materiais, qualificados em conformidade com as normas listadas no Anexo E, podem não ser adequados para utilização em sistemas que operem à temperatura próxima do limite inferior preconizado em 1.9 (c). Deve ser dada atenção para as propriedades mecânicas e metalúrgicas nas baixas temperaturas, para os materiais empregados em instalações sujeitas às condições ambientais ou operacionais de frio.

#### 4.4 Cargas

#### 4.4.1 Geral

A maioria das cargas possíveis de serem encontradas em dutos está listada em 4.4.2 a 4.4.7. O objetivo deste item não é relacionar todas as cargas, podendo ocorrer outras decorrentes de condições particulares.

## 4.4.2 Cargas operacionais

- a) peso da tubulação e seus componentes, do produto transportado e dos revestimentos (ver Notas 1 e 2);
- b) pressão interna (ver Nota 3);
- c) pressão interna decorrente da expansão volumétrica do fluido (trechos sujeitos ao bloqueio duplo);
- d) pressão hidrostática (externa) para dutos submersos ou submersíveis (travessias);
- e) pressão interna abaixo da atmosférica (vácuos por abertura de coluna, drenagem etc.);
- f) variação de temperatura;
- g) forças e momentos em suportes e ancoragens;
- h) forças alternadas (vibração);
- i) peso da terra de cobertura;
- j) cargas de tráfego rodoviário e ferroviário (cruzamentos) (ver Nota 4);
- k) recalque diferencial no solo;
- I) rotações e deslocamentos, impostos em pontos de restrição da tubulação;
- m) forças hidráulicas geradas nas curvas;
- n) forças de pré-tensionamento (ver Nota 5).
- NOTA 1 Para trechos aéreos de tubulação, o peso próprio deve ser obrigatoriamente considerado para o dimensionamento do vão entre suportes.
- NOTA 2 É obrigatória a consideração do peso próprio para qualquer trecho de um duto enterrado onde ocorra uma interrupção na condição de "assentamento em vala", isto é, onde exista em trecho aéreo.
- NOTA 3 A pressão interna é a única carga que deve ser obrigatoriamente considerada no dimensionamento do duto, independentemente do valor que possa ter; as demais cargas podem ou não ser consideradas, em função das circunstâncias operacionais, ambientais, construtivas ou outras de natureza acidental.
- NOTA 4 A magnitude e freqüência de ocorrência das cargas de tráfego devem ser estabelecidas antecipadamente, considerando o desenvolvimento econômico da região, normas, especificações e portarias da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e, caso necessário, após serem ouvidas as autoridades de tráfego competentes.

NOTA 5 O pré-tensionamento não é classificado como carga de construção, embora seja executado durante a montagem da tubulação, porque resulta de uma estratégia de projeto para aliviar reações oriundas de cargas operacionais.

#### 4.4.3 Cargas ambientais

- a) força de correnteza (cursos d'água);
- b) força dinâmica de vórtices na água (trechos submersos);
- c) força dinâmica de vórtices no vento (trechos aéreos);
- d) empuxo do meio líquido de imersão (trechos submersos).
- NOTA Cargas ambientais com baixa probabilidade de ocorrência são classificadas como acidentais.
- NOTA 2 Carga ambiental intermitente é particularizada como ocasional (por exemplo, força de vento).

# 4.4.4 Cargas de construção

- a) cargas impostas pelos procedimentos de construção e montagem;
- b) pressão interna de ensaio hidrostático;
- c) peso da água de ensaio hidrostático.

NOTA 1 armazenamento de tubos e ensanos. componentes tubulares e demais materiais e, ainda: levantamento de cargas, armazenamento de tubos e ensanos.

NOTA 2 Efeitos dinâmicos da movimentação de colunas, içadas por tratores de esteiras, são cargas de construção que merecem tratamento diferenciado, não fazendo parte do escopo do projeto e, portanto, devem ser consideradas nos procedimentos construtivos.

#### 4.4.5 Cargas acidentais

- a) sobrecarga de terra (movimentação de encostas);
- b) afundamento no substrato do solo;
- c) ondas de impacto decorrentes de explosão;
- d) ação externa de terceiros (impacto de equipamento).

# 4.4.6 Carga de variação de temperatura (dilatação e contração térmicas)

A variação da temperatura no duto, seja aéreo ou enterrado, provoca esforços cujos efeitos devem ser levados em consideração no projeto das instalações.

NOTA Numa tubulação, a magnitude da carga gerada por uma dada variação de temperatura é proporcional ao grau de restrição ao seu deslocamento..

## 4.4.7 Cargas de deslocamento imposto

O deslocamento imposto a uma tubulação, proveniente da dilatação ou contração de ramais ou bocais, impõe esforços que devem ser levados em consideração no projeto.

## 4.4.8 Combinação de cargas

- **4.4.8.1** Para a limitação das tensões, combinações específicas de cargas (operacionais, ambientais, de construção e acidentais), passíveis de ocorrência simultânea, devem ser consideradas.
- **4.4.8.2** A menos que comprovadamente haja possibilidade de ocorrência simultânea, não é necessária a combinação de cargas acidentais entre si, nem de cargas acidentais com cargas ambientais de extrema intensidade.

#### 4.5 Classes de pressão-temperatura, para componentes de tubulação

**4.5.1** As pressões máximas admissíveis para os componentes flangeados de tubulação, como válvulas, flanges e filtros, são limitadas em função da classe de pressão. As Tabelas 1.A) e 1.B) apresentam os valores máximos admissíveis de pressão.

Tabela 1.A) — Pressão máxima admissível (bar) segundo ASME B 16.5

Classe Temperatura °C	150	300	600	900
- 30 a 40	19,6	50,8	101,7	152,5
80	18,3	47,6	95,2	142,8
120	16,9	45,9	91,9	137,8

NOTA 1 Para temperaturas superiores a 40 °C, as pressões máximas admissíveis não encontradas nesta Tabela podem ser obtidas por interpolação linear.

NOTA 2 Esta Tabela considera flanges em aço-carbono. Para flanges de outros materiais ou outras classes de pressão, consultar o ASME B 16.5.

NOTA 3 A faixa padronizada peloASME B 16.5 para diâmetros nominais(DN) é 1/2 a 24 pol, exceto o DN 22 pol.

Tabela 1.B) — Pressão máxima admissível (bar) segundo MSS SP 44

Classe Temperatura °C	150	300	600	900
– 29 a 121	19,6	51,0	102,0	153,1

NOTA 1 A faixa padronizada pelo MSS SP 44 para diâmetros nominais (DN) é 1/2 a 60 pol.

NOTA 2 O MSS SP 44 inclui o DN 22 pol, exceto para classe 900.

NOTA 3 O MSS SP 44 apresenta materiais de alta resistência, compatíveis com os aços padronizados pelo ISO 3183/API SPEC 5 L.

xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

- **4.5.2** Para operação normal, a pressão máxima de operação em regime permanente, em qualquer ponto do duto, não deve exceder a pressão de projeto e a pressão conforme a classe de pressão-temperatura dos componentes estabelecida em 4.5.1.
- **4.5.3** A pressão máxima de operação em regime transiente, em qualquer ponto do duto, pode exceder em até 10 % a pressão máxima admissível da classe de pressão-temperatura dos componentes estabelecida em 4.5.1.
- **4.5.4** Toda válvula que separe duas linhas de classes de pressão distintas deve ser especificada para classe de pressão mais elevada.

# 4.6 Tensões admissíveis para materiais de tubos e componentes

**4.6.1** A tensão admissível aplicável no dimensionamento à pressão, para materiais de tubos, flanges e conexões, fabricados sob as normas constantes do Anexo E, é estabelecida como:

$$S_{ADM} = F \times E_i \times SMYS$$

Onde

 $S_{ADM}$  é a tensão admissível do material para a solicitação de pressão interna, aplicável na equação de 5.2.3;

E<sub>i</sub> é o fator de eficiência de junta, de acordo com 4.6.1.1;

F é o fator de projeto, de acordo com 4.6.1.2.

SMYS é a tensão mínima de escoamento, especificada pela norma de fabricação do tubo.

- **4.6.1.1** O fator de eficiência de junta é unitário para todos os tipos de tubos cujas normas estão relacionadas no Anexo E, fabricados sem costura ou pelo processo de soldagem por arco submerso (SAW ou DSAW), soldagem por resistência elétrica (ERW) ou soldagem por indução elétrica (EIW). Fatores diferentes do unitário devem ser adotados para tubos fabricados por:
- a) soldagem por fusão elétrica (EFW): 0,8;
- b) soldagem de topo em fornalha: 0,6.
- 4.6.1.2 O fator de projeto é determinado em função do tipo da instalação, conforme a Tabela 2.
- **4.6.2** A tensão admissível à flexão, aplicável no dimensionamento do vão entre apoios, para materiais de tubulação, é:

$$S_{ADM} = \frac{1}{7}SMYS$$

**4.6.3** A tensão admissível para cisalhamento e compressão direta (compressão de contato), para materiais de tubos e componentes, não pode exceder 45 % e 90 % da *SMYS*, respectivamente.

Tabela 2 — Fator de projeto

Tipo de instalação	Fator de projeto		
ripo de instalação	Categoria I	Categoria II	
Geral	0,72	0,6	
Cruzamento rodoviário ou ferroviário com tubo- camisa <sup>a</sup>	0,6		
Cruzamento rodoviário ou ferroviário sem tubo- camisa; interferência paralela em ferrovia, estrada secundária, estrada principal ou rodovia; ponte com tráfego veicular <sup>a</sup>	ada		
Travessia <sup>a</sup>			
Bases, estações e terminais			
Lançadores e recebedores			
Tubulação de píer <sup>b</sup>			

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> 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.

# 4.7 Tensões admissíveis para materiais de suportes e outros elementos estruturais de restrição

- **4.7.1** A tensão admissível para cisalhamento e compressão de contato, para materiais utilizados em suportes e restrições estruturais, não pode exceder 45 % e 90 % da tensão mínima de escoamento destes materiais, respectivamente.
- **4.7.2** A tensão admissível para tração e compressão, para materiais utilizados em suportes e restrições estruturais, não pode exceder 66 % da tensão mínima de escoamentos destes materiais.

# 4.8 Limites de tensões para tubos e componentes, segundo as solicitações de cargas

O projeto de dutos, objetivando a simplificação do cálculo das tensões e admitindo a hipótese de tubos de parede fina, consagrou um critério de dimensionamento no qual os carregamentos de pressão interna, variação de temperatura e peso produzem nas tubulações um estado plano de tensões. As tensões radiais de pressão interna e as tensões cisalhantes de peso próprio são consideradas desprezíveis relativamente às demais. Para tubulações aéreas, admite-se que o carregamento de variação de temperatura produza apenas tensões normais de flexão e tensões cisalhantes de torção. Para tubulações enterradas, admite-se que o carregamento de variação de temperatura produza apenas tensões normais de compressão (ou tração).

#### 4.8.1 Duto aéreo (não restringido)

# 4.8.1.1 Pressão interna

A tensão circunferencial,  $S_C$ , quando devida exclusivamente à pressão interna e calculada segundo 10.2.1, não pode exceder a tensão admissível,  $S_{ADM}$ , referida em 4.6.1.

$$S_C \leq S_{ADM}$$

<sup>&</sup>lt;sup>b</sup> Para duto em píer, o fator 0,6 deve ser estendido no mínimo até 100 m de afastamento do mar, rio ou lago.

## 4.8.1.2 Combinação de variação de temperatura e de deslocamento imposto

A tensão de expansão térmica,  $S_e$ , calculada conforme 10.3.2, em qualquer ponto da seção tubular, decorrente da variação de temperatura e do deslocamento imposto, não pode exceder 72 % da *SMYS*.

$$S_e \leq 0.72 \times SMYS$$

# 4.8.1.3 Combinação de pressão interna, peso próprio e outras cargas de ação permanente, e cargas ocasionais

A soma das seguintes tensões, produzidas pela combinação das mencionadas cargas, não pode exceder 75 % de F×SMYS:

- a) tensão longitudinal de pressão interna,  $S_{LP}$ , calculada conforme 10.2.2 (a);
- b) valor absoluto da tensão longitudinal de flexão de peso próprio e de outras cargas de ação permanente, S<sub>fg</sub>, calculada conforme 10.4;
- c) valor absoluto da tensão longitudinal de flexão de cargas ocasionais,  $S_{to}$ , calculada conforme 10.5.

$$S_{LP} + S_{fq} + S_{fo} \le 0.75 \times F \times SMYS$$

# 4.8.2 Duto enterrado (restringido)

#### 4.8.2.1 Pressão interna

A tensão circunferencial  $S_C$ , quando devida exclusivamente à pressão interna e calculada conforme 10.2.1, não pode exceder a tensão admissível  $S_{ADM}$  referida em 4.6.1.

$$S_C \leq S_{ADM}$$

# 4.8.2.2 Combinação de pressão interna e variação de temperatura (quando $S_L$ , calculada conforme 10.3.3, for positiva)

A soma das seguintes tensões, produzidas pela combinação das mencionadas cargas, não pode exceder 90 % da SMYS.

- a) tensão circunferencial de pressão interna, S<sub>C</sub>, calculada conforme 10.2.1;
- b) tensão longitudinal de variação de temperatura e pressão,  $S_L$ , calculada conforme 10.3.3.

$$S_C + S_I \leq 0.90 \times SMYS$$

# 4.8.2.3 Combinação de pressão interna e variação de temperatura (quando $S_L$ , calculada conforme 10.3.3, for negativa)

O valor absoluto da tensão longitudinal de variação de temperatura e pressão,  $S_L$ , produzida pela combinação das mencionadas cargas, não pode exceder 90 % da SMYS.

$$S_1 \leq 0.90 \times SMYS$$

# E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

# 4.8.2.4 Combinação de pressão interna, variação de temperatura, peso próprio e outras cargas de ação permanente, e cargas ocasionais (quando $S_L$ , calculada conforme 10.3.3, for positiva)

A soma das seguintes tensões, produzidas pela combinação das mencionadas cargas, não pode exceder 90 % da SMYS:

- a) tensão circunferencial de pressão interna, S<sub>C</sub>, calculada conforme 10.2.1;
- b) tensão longitudinal de variação de temperatura e pressão, S<sup>L</sup>, calculada conforme 10.3.3;
- valor absoluto da tensão longitudinal de flexão de peso próprio e de outras cargas de ação permanente, S<sub>fg</sub>, calculada conforme 10.4;
- d) valor absoluto da tensão longitudinal de flexão de cargas ocasionais, S<sub>fo</sub>, calculada conforme 10.5.

$$S_C + S_L + S_{fq} + S_{fo} \le 0.90 \times SMYS$$

- NOTA 1 A combinação de cargas de peso próprio, de outras cargas de ação permanente e de cargas ocasionais pode ocorrer num trecho aéreo de duto na condição restringida.
- NOTA 2 Vãos livres, quando projetados para trechos restringidos e submetidos à carga de elevação de temperatura, devem ser objeto de uma análise de instabilidade por flambagem.

# 4.8.2.5 Combinação de pressão interna, variação de temperatura, peso próprio e outras cargas de ação permanente, e cargas ocasionais (quando $S_L$ , calculada conforme 10.3.3, for negativa)

A soma das seguintes tensões, produzidas pela combinação das mencionadas cargas, não pode exceder 90 % da SMYS.

- a) valor absoluto da tensão longitudinal de variação de temperatura e pressão,  $S_L$ , calculada conforme 10.3.3;
- b) valor absoluto da tensão longitudinal de flexão de peso próprio e de outras cargas de ação permanente, S<sub>fg</sub>, calculada conforme 10.4;
- c) valor absoluto da tensão longitudinal de flexão de cargas ocasionais,  $S_{fo}$ , calculada conforme 10.5.

$$S_L + S_{fg} + S_{fo} \leq 0.90 \times SMYS$$

# 4.8.2.6 Combinação de carga de terra e sobrecarga de tráfego (rodoviário ou ferroviário) com pressão interna e variação de temperatura

A tensão equivalente  $S^{EQ}$ , calculada conforme 10.6.2.4, relativa à combinação das mencionadas cargas, não pode exceder 90 % da SMYS.

$$S_{EQ} \le 0.90 \times SMYS$$

# 4.8.2.7 Combinação de cargas de ação permanente (operacionais e ambientais) com cargas ocasionais, não-periódicas e de curta duração

A tensão equivalente ao estado de tensões produzido pelas mencionadas cargas, segundo a teoria de falha da tensão máxima de cisalhamento, não pode exceder 100 % da SMYS.

## 4.8.3 Pressão de ensaio hidrostático

Os valores-limite das tensões decorrentes do ensaio de pressão estão indicados na Seção 8.

#### 4.9 Tolerâncias

#### 4.9.1 Corrosão

- **4.9.1.1** É requerido um acréscimo de espessura de parede para tubos e componentes que não forem protegidos contra a corrosão.
- **4.9.1.2** Quando o produto transportado contém água ou elementos químicos que produzem oxidação do aço, é obrigatória a realização de uma avaliação técnica com vista à adoção de uma sobreespessura para corrosão ou a adoção de medidas mitigadoras dos efeitos corrosivos, tais como revestimento interno ou injeção de inibidores.

#### 4.9.2 Roscas

Deve ser incluído, na parcela A da expressão de 5.2.2, um acréscimo na espessura de parede para tubos roscados cujas especificações sejam aceitas por esta Parte da ABNT NBR 15280; este acréscimo corresponderá à profundidade do fio de rosca.

#### 4.9.3 Tolerâncias dimensionais para tubos e componentes de tubulação

As tolerâncias dimensionais, para tubos e componentes de tubulação, devem ser especificadas conforme a norma de fabricação aplicável ou norma dimensional incluída no Anexo E.

# 5 Dimensionamento à pressão

#### 5.1 Geral

- **5.1.1** O dimensionamento de tubos à pressão interna resume-se na determinação da espessura nominal de parede.
- **5.1.2** Para tubos curvados, obtidos a partir de tubos retos por conformação a frio, a espessura nominal a ser adotada é a mesma determinada para o tubo reto de mesmo diâmetro e material, operando à mesma pressão.
- **5.1.3** Para peças forjadas com extremidades para solda de topo, fabricadas de acordo com a ASME B 16.5, ASME B16.9, ASME B16.28, MSS SP 44 ou MSS SP 75, a espessura nominal a ser adotada para a extremidade da peça (bisel) deve ser determinada por 5.2.1.
- NOTA Na escolha do material do forjado devem ser levados em consideração os requisitos para preparação das extremidades para solda de topo apresentados no ASME B 31.4. Para trechos sujeitos a passagem de *pigs*, devem ser consideradas as restrições impostas pelo diâmetro interno a estes dispositivos.
- **5.1.4** Para peças forjadas com flange ou rosca, a espessura mínima de metal no corpo não pode ser inferior à especificada para as peças fabricadas no padrão ASME ou MSS, para a mesma classe de pressão.
- **5.1.5** A espessura mínima de parede para tubos curvados por indução, obtidos a partir de tubos retos e conforme 6.2.4, medida na região do extradorso da curva, deve ser igual à espessura total de um tubo reto de mesmo diâmetro e material, operando à mesma pressão, calculada conforme 5.2.2.

# 5.2 Determinação da espessura de parede

**5.2.1** A espessura nominal de parede para tubos retos deve ser igual ou superior à espessura total, de acordo com a seguinte relação:

 $e_{nom} \ge e_t$ 

onde

 $e_{nom}$  é a espessura nominal de parede para um tubo reto

 $e_t$  é a espessura total de parede para um tubo reto.

E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

- NOTA 1 Para valores de espessuras nominais (padronizadas) para tubos, ver ASME B 36.10.
- NOTA 2 Na seleção da espessura nominal do tubo deve ser atendida a condição de valor mínimo dada na Tabela 3, a qual leva em consideração as situações relacionadas em 5.2.5.
- 5.2.2 A espessura total de parede para tubos retos deve ser determinada de acordo com a seguinte equação:

$$e_t = e_c + A$$

onde

- $e_t$  é a espessura total de parede para um tubo reto;
- $e_c$  é a espessura calculada de parede para um tubo reto.
- A é a soma de parcelas relativas a: (a) acréscimo de espessura para compensar a profundidade de rosca; (b) acréscimo de espessura para compensar a corrosão interna.
- **5.2.3** A espessura calculada de parede para tubos retos deve ser determinada de acordo com a seguinte equação:

$$e_{c} = \frac{P \times D}{2 \times S_{ADM}}$$

onde

- $e_c$  é a espessura calculada de parede;
- P é a pressão de projeto;
- D é o diâmetro externo nominal do tubo;
- S<sub>ADM</sub> é a tensão admissível do material para a solicitação de pressão interna, conforme 4.6.1.
- **5.2.4** Os tubos podem estar sujeitos a determinadas condições onde a pressão externa exceda à pressão interna (vácuo ou pressão hidrostática externa). Nestes casos, deve ser feita uma verificação da adequação da espessura nominal (determinada em 5.2.1) às citadas condições. Esta verificação faz-se através do cálculo da pressão crítica de colapso do tubo (ver Anexo D). A condição de aceitação é que a pressão crítica de colapso seja igual ou superior à pressão externa de projeto.
- a) amassamento no corpo (mossas) e nas extremidades do tubo (ovalização);
- b) tendência de formação de grandes flechas, nas tubulações aéreas de pequeno diâmetro;
- c) erosão interna pelo fluxo, nas tubulações de pequeno diâmetro;
- d) amassamento no corpo (mossa) na região dos suportes nas tubulações aéreas;
- e) eventual necessidade de trepanação no duto, na instalação de um ramal com a linha em operação (para diâmetros nominais de 76,2 mm (3 pol) até 254,0 mm (10 pol).

E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

Tabela 3 — Espessuras mínimas de parede recomendadas para tubos

Diâmetro			Espessura				
No	Nominal Externo		Duto Estação e		terminal		
mm	pol	mm	pol	mm	pol	mm	pol
12,7	1/2	21,3	0,840	8		3,7	0,147
19,1	3/4	26,7	1,050			3,9	0,154
25,4	1	33,4	1,315	Não há util	ização para duto	4,6	0,179
38,1	1 ½	48,3	1,900	neste	nestes diâmetros		0,200
50,8	2	60,3	2,375			3,9	0,154
63,5	2 ½	73,0	2,875			5,2	0,203
76,2	3	88,9	3,500	5,2	0,203	5,5	0,216
101,6	4	114,3	4,500	5,2	0,203	6,0	0,237
152,4	6	168,3	6,625	5,2	0,203	7,1	0,280
203,2	8	219,1	8,625	5,2	0,203	6,4	0,250
254,0	10	273,1	10,750	5,2	0,203	6,4	0,250
304,8	12	323,9	12,750	5,2	0,203	6,4	0,250
355,6	14	355,6	14	5,6	0,219	6,4	0,250
406,4	16	406,4	16	5,6	0,219	6,4	0,250
457.2	18	457.2	18	6.4	0.250	6.4	0.250
508,0	20	508,0	20	6,4	0,250	7,1	0,281
558,8	22	558,8	22	6,4	0,250	7,9	0,312
609,6	24	609,6	24	7,1	0,281	7,9	0,312
660,4	26	660,4	26	7,1	0,281	8,7	0,344
711,2	28	711,2	28	7,1	0,281	9,5	0,375
762,0	30	762,0	30	7,9	0,312	10,3	0,406
812,8	32	812,8	32	7,9	0,312	11,1	0,438
863,6	34	863,6	34	8,7	0,344	11,9	0,469
914,4	36	914,4	36	8,7	0,344	12,7	0,500
965,2	38	965,2	38	9,5	0,375	12,7	0,500
1 016,0	40	1 016,0	40	10,3	0,406	14,3	0,562
			4.5				
1 117,6	42 44	1 117,6	42 44	10,3	0,406 0,438	15,9	0,562 0,625
1 168,4	46	1 168,4	46	11,9	0,469	15,9	0,625
1 219,2	48	1 219,2	48	11,9	0,469	15,9	0,625
1 320,8	52	1 320,8	52	12,7	0,500	17,5	0,688
1 422,4	56	1 422,4	56	14,3	0,562	19,1	0,750
1 524,0	60	1 524,0	60	15,9	0,625	20,6	0,812
1 625,6	64	1 625,6	64	15,9	0,625	22,2	0,875

# E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

# 6 Seleção de tubos e componentes

Esta Seção aborda os requisitos técnicos para seleção de tubos e componentes de aço-carbono, utilizados para mudanças de direção, alterações de diâmetro, derivações, fechamento de extremidades, incluindo válvulas e flanges. Os tubos e componentes podem ser interligados por meio de juntas soldadas, flangeadas, roscadas e especiais.

# 6.1 Tubos de aço-carbono

- **6.1.1** As normas aplicáveis para a especificação dos tubos a serem utilizados nos projetos regidos por esta parte da ABNT NBR 15280 estão relacionadas no Anexo E.
- **6.1.2** A espessura dos tubos deve ser calculada e selecionada conforme 5.2.

# 6.2 Componentes para mudança de direção

#### 6.2.1 Curvas a frio

- **6.2.1.1** A curva a frio é obtida por meio do curvamento de tubos, geralmente feito no campo, com espessura calculada de acordo com 5.2 e atendendo aos requisitos da ABNT NBR 15280-2.
- **6.2.1.2** O desvio angular da curva deve ser calculado pela seguinte fórmula:

$$\alpha = \frac{1}{R} \times \frac{180}{\pi}$$

onde

- α é o desvio angular, expresso em grau por metro (° / m);
- R é o raio de curvatura, expresso em metro (m).
- **6.2.1.3** O raio mínimo de curvatura (R) a frio para tubos pode ser determinado conforme a Tabela 4, tendo como referência dimensional o diâmetro externo (D) do duto. A coluna "desvio angular"  $(\beta)$  fornece a variação angular máxima, em grau por metro linear, do eixo longitudinal do duto.

Tabela 4 — Curvamento a frio para tubos

Diâmetro externo (D)		Desvio angular β	Raio mínimo de	
mm	pol	°/m	<b>curvatura</b> R	
≤ 323,9	≤12,75	9,8	18 D	
355,6	14	7,7	21 D	
406,4	16	5,9	24 D	
457,2	18	4,6	27 D	
≥ 508,020	≥	3,8	30 D	

**6.2.1.4** Raios de curvatura inferiores aos valores da Tabela 4 são permitidos desde que as curvas atendam aos requisitos dimensionais mencionados na ABNT NBR 15280-2 e que a espessura de parede do tubo curvado, na região do extradorso, não seja inferior à espessura total e<sub>t</sub>, calculada conforme 5.2.2.

# 6.2.2 Curva em gomos

- **6.2.2.1** Não se permite o uso de curva em gomos em dutos sujeitos a passagem de pig.
- 6 na constitui de la constitui
- **6.2.2.3** A confecção da curva em gomos deve ser executada com os cuidados necessários de alinhamento, espaçamento e penetração total da solda.
- **6.2.2.4** O uso de curvas em gomos está sujeito às seguintes condições:
- a) só são permitidas curvas em gomos que se desenvolvam em um único plano.
- não são permitidas curvas em gomos em sistemas que operam com tensões circunferenciais iguais ou superiores a 20 % da SYMS;
- c) em sistemas que operam com tensões circunferenciais compreendidas entre 10 % e 20 % da SMYS, o desvio angular entre dois gomos contíguos não pode superar 12,5° e a distância entre cordões de solda consecutivos, medida na região do intradorso, no plano da curva, não pode ser inferior a um diâmetro externo do tubo:
- d) em sistemas que operam com tensões circunferenciais iguais ou inferiores a 10 % da SMYS, o desvio angular entre dois gomos contíguos não pode ser maior que 90 °.

#### 6.2.3 Curva forjada

- **6.2.3.1** A curva forjada é utilizada em instalações onde a falta de espaço recomende uma mudança de direção com curvatura acentuada.
- **6.2.3.2** As curvas forjadas devem atender às ASME B 16.9, ASME B 16.28 ou MSS SP 75.
- **6.2.3.3** A curva forjada deve ter a espessura nas extremidades calculada de acordo com 5.1.3.
- **6.2.3.4** Curvas de dimensões não padronizadas ou partindo de dimensões encontradas nos padrões referenciados em 6.2.3.2 podem ser utilizadas, considerando que o seu projeto atenda ao 5.1.3.
- **6.2.3.5** As curvas forjadas são padronizadas com raios de curvatura iguais a 1 DN, 1,5 DN e 3 DN e desvios angulares de 45°, 90° e 180°. Se for prevista a passagem de *Pig* pela linha, as curvas de R = 1 DN e as curvas de 180° (com qualquer raio) não podem ser utilizadas; o uso das curvas de R = 1,5 DN e R = 3 DN fica condicionado ao tipo do *pig* a ser empregado.
- **6.2.3.6** Curvas com menor desvio angular, obtidas pelo corte de uma curva forjada, podem ser utilizadas, desde que o comprimento do arco, medido pelo intradorso, seja de pelo menos 25 mm nos dutos de DN  $\geq$  2 pol.

#### 6.2.4 Curvas por indução

O curvamento por indução deve atender aos requisitos da ABNT NBR 15273. A espessura mínima pós curvamento deve atender a 5.1.5.

## 6.3 Componentes para alterações no diâmetro

Alterações no diâmetro nominal do duto ou da tubulação devem ser obtidas por meio da utilização de reduções forjadas, padronizadas de acordo com ASME B 16.9 ou MSS SP 75.

#### 6.4 Componentes para derivações

#### 6.4.1 Tês e cruzetas

- **6.4.1.1** Os tês e as cruzetas devem ser padronizados segundo a ASME B 16.9 ou MSS SP 75, e devem ser adequados para trabalho na temperatura de projeto da tubulação na qual serão inseridos.
- 6.4.1.2 A espessura de parede dos tês e das cruzetas no bisel deve ser calculada de acordo com 5.2.1.

## 6.4.2 Derivações extrudadas

- **6.4.2.1** Estas derivações são feitas como peças fabricadas industrialmente, geralmente por encomenda, para as quais não há padrão dimensional. A resistência mecânica destas peças às forças térmicas, de vibração e de peso, deve ser verificada em cada caso em que tais forças possam estar presentes.
- **6.4.2.2** As derivações extrudadas são aceitas se atenderem simultaneamente aos seguintes requisitos:
- a) for comprovado por análise de tensões e ensaio hidrostático que são adequadas e seguras para o serviço a que se destinam;
- b) forem projetadas para a pressão de projeto do duto;
- forem recomendadas pelo fabricante, sob o aspecto de segurança estrutural, como adequadas ao serviço proposto.

# 6.4.3 Boca-de-lobo

- **6.4.3.1** As bocas-de-lobo devem ser projetadas conforme o Anexo C, considerando a pressão interna, materiais e diâmetros do tronco e do ramal.
- **6.4.3.2** Quando a boca-de-lobo estiver sob o efeito de cargas externas maiores que as normalmente incidentes em tubulações, deve ser feito um estudo para utilização de um suporte que alivie os esforços na derivação.

# 6.5 Componentes para fechamento de extremidades

# 6.5.1 Tampões de acionamento rápido

O tampão de acionamento rápido é um componente de tubulação, sujeito à pressão do sistema, utilizado para acesso ao interior de uma câmara para lançamento ou recebimento de *pigs*, devendo ser projetado conforme requisitos do ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1, e demais condições abaixo relacionadas:

- a) condições de projeto iguais ou superiores às estabelecidas para o duto;
- b) extremidades para solda de topo conforme norma do tubo da câmara;
- c) material do corpo compatível para solda de topo com a câmara;
- d) acionamento por alavanca ou volante manual, com dobradiças ou mecanismo semelhante;

- e) dispositivo de manuseio de abertura/fechamento, adequado para elevar, baixar, articular ou pivotar a tampa;
- f) anéis de vedação, que garantam estanqueidade para pressões variando entre 1 atm e a pressão de projeto;
- g) dispositivo de segurança que impeça a abertura do tampão antes que a câmara esteja completamente despressurizada;

#### 6.5.2 Tampões soldados

Os tampões soldados (caps) devem ser projetados e fabricados de acordo com ASME B 16.9 ou MSS SP 75.

#### 6.5.3 Tampos

Tampos do tipo plano, elipsoidal, esférico ou cônico devem ser projetados conforme ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1. As tensões admissíveis para os materiais utilizados nos tampos devem ser estabelecidas pelos requisitos de 4.6.1. As soldas eventualmente utilizadas devem ser 100 % radiografadas conforme requisitos do ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1. Os tampos devem ter condições de projeto iguais ou superiores às estabelecidas para o trecho no qual devem ser instalados.

### 6.5.4 Flanges cegos

Flanges cegos podem ser usados para fechamento de extremidades e devem estar conforme 6.7.

#### 6.6 Válvulas

- 6.6.1 Válvulas de aço, fabricadas de acordo com as normas listadas no Anexo E, podem ser utilizadas.
- **6.6.2** As pressões máximas de trabalho dos componentes de aço das válvulas de aço são aplicáveis dentro das faixas de temperatura da Tabela 1.A). A utilização de materiais resilientes para vedação deve considerar que estes sejam capazes de suportar as solicitações do fluido, pressão e temperatura especificadas pelo processo.
- **6.6.3** As válvulas de bloqueio, quando sujeitas a passagem de *pig*s instrumentados, devem ter passagem plena e obturador com seção circular.

#### 6.7 Flanges, juntas e parafusos

- **6.7.1** Flanges de aço carbono devem atender aos diâmetros e classes de pressão especificados nas ASME B 16.5 ou MSS SP 44.
- **6.7.2** Flanges não padronizados podem ser utilizados, desde que projetados conforme ASME BPVC, Seção VIII, Divisão 1.
- **6.7.3** As juntas de vedação devem ser fabricadas com materiais compatíveis com o fluido e com as pressões máximas de operação.
- **6.7.4** As juntas metálicas devem ser conforme ASME B 16.20. O material para as juntas de anel deve ser adequado para as condições de operação e ter dureza inferior à do flange.
- **6.7.5** Os parafusos devem atender aos requisitos da ASME B 16.5 ou MSS SP 44.

# 6.8 Meios de ligação de tubos

# 6.8.1 Juntas soldadas

As juntas soldadas devem atender aos requisitos da ABNT NBR 15280-2.

#### 6.8.2 Juntas flangeadas

As juntas flangeadas devem atender aos requisitos de 6.7.

#### 6.8.3 Juntas roscadas

As roscas externas dos componentes de tubulação devem ser cônicas. As roscas devem ser do tipo NPT, conforme ASME B 1.20.1.

# 7 Construção e montagem

#### 71 Geral

Esta Seção trata de aspectos de projeto relacionados à construção e montagem de dutos, complementares à ABNT NBR 15280-2.

# 7.2 Cruzamentos e travessias

- **7.2.1** A localização dos pontos de cruzamento e de travessia deve considerar, entre outros, os seguintes aspectos:
- a) limitação imposta, pelo projeto mecânico do duto, quanto aos raios mínimos de curvatura dos trechos curvos, em função da passagem de pig instrumentado e em função da temperatura de operação (no caso de duto transportando produto aquecido);
- limitação do comportamento elástico do duto de forma a possibilitar o perfeito assentamento no fundo da vala, segundo o perfil projetado;
- c) inclinação do eixo do cruzamento ou da travessia, em relação ao eixo da rodovia, da ferrovia ou do acidente natural, de modo a transpô-los no menor comprimento possível;
- d) disponibilidade de trechos retos de faixa, junto aos locais de cruzamento e travessia, para instalação do duto, evitando-se pontos de inflexão muito próximos dos referidos locais;
- e) facilidade de acesso para a realização das atividades de construção e manutenção;
- f) disponibilidade de espaço para um eventual armazenamento e revestimento de tubos;
- g) existência de projetos de ampliação (no caso de cruzamentos) ou de retificação, dragagem etc. (no caso de travessias de rios e lagos);
- h) redução da necessidade de obras de custo mais elevado;
- i) riscos de danos ambientais e sociais;
- j) observância das normas e recomendações do proprietário ou órgão responsável pela rodovia ou ferrovia (no caso de cruzamentos) ou pelo curso d'água (no caso de travessias);
- k) escolha de áreas não sujeitas a alagamento.
- **7.2.2** A localização dos pontos de cruzamento e de travessia deve recair sobre áreas de topografia pouco acidentada e que requeiram o mínimo de movimentação de terra e serviços de recomposição de área. Não sendo possível atender a essa recomendação, devem ser realizados estudos econômicos comparando as seguintes condições:
- a) variantes de traçado;
- b) execução de serviços adicionais de movimentação de terra, bem como de outras obras complementares.

- **7.2.3** Além das recomendações de 7.2.1 e 7.2.2, devem ser observados para os cruzamentos os pontos mencionados a seguir:
- a) quando houver dúvidas quanto à existência de interferências subterrâneas, deve ser executada uma sondagem eletromagnética, complementada pela escavação de poços de inspeção;
- b) quando for prevista a utilização de tubo-camisa, deve ser escolhido um trecho da rodovia ou da ferrovia que esteja em ponto de transição entre corte e aterro, evitando movimentação de terra e curvas verticais desnecessárias:
- c) deve ser avaliada a possibilidade de realizar o cruzamento através de galerias ou pontilhões existentes;
- d) nos cruzamentos onde os transtornos ao tráfego de veículos sejam consideráveis, devem ser utilizados métodos de perfuração de solo;
- no cruzamento com linhas de transmissão, recomenda-se que o duto passe perpendicular a estas, no centro do vão entre duas torres ou postes, sem interferir com seus cabos de aterramento;
- f) no cruzamento com dutos e outras interferências, recomenda-se que o duto passe por baixo destes;
- g) os afastamentos verticais e horizontais entre o duto e a interferência a ser cruzada devem ser suficientes para permitir a manutenção tanto do duto quanto da estrutura que constitui a interferência;
- nos cruzamentos sem tubo-camisa em rodovias, avenidas e ruas em áreas urbanas, deve ser prevista a colocação de tela de segurança com fita de aviso e placa de concreto sobre o duto ao longo de toda a
  - extensão do cruzamento, conforme a ABNT NBR 15280-2.
- **7.2.4** Além das recomendações de 7.2.1 e 7.2.2, devem ser observados para travessias os pontos mencionados a seguir:
- a) a travessia de rios e de lagos deve ser projetada em locais de margens e leitos bem definidos e permanentes;
- b) para rios navegáveis devem ser obtidas, junto à Capitania dos Portos, as informações sobre o tráfego de embarcações e sobre atividades pesqueiras no local da travessia;
- quando, por motivo de segurança, não for recomendável a travessia do duto sobre ponte ou barragem existente, a travessia deve ser realizada em local convenientemente afastado destes;
- d) nos rios e nos lagos navegáveis, a cobertura do duto deve garantir a segurança quanto ao impacto de embarcações que venham a naufragar e ao impacto de cargas desprendidas de embarcações;
- e) a travessia aérea deve ser evitada, só sendo justificável no caso de grotas.
- 7.2.5 O projeto do cruzamento deve ser precedido pela obtenção das informações mencionadas a seguir:
- a) sondagens geotécnicas;
- b) levantamento cadastral.
- **7.2.6** O projeto das travessias relevantes, do ponto de vista social, econômico ou ambiental, deve considerar as informações mencionadas a seguir:
- estudos hidrológicos para determinação do regime do rio ou lago, incluindo: migração das margens nos rios que atravessam planícies de inundação, perfil de erosão no leito, transporte de sedimentos (volume e composição), área da bacia de drenagem pluvial, vazão máxima centenária, velocidade, profundidade e outros;
- b) sondagens geotécnicas nas margens e no leito dos rios e lagos;

- c) rotina de dragagem de rios e canais;
- d) dados de operação de barragem, como: cota máxima de reservatório e vazão máxima de extravasamento de comportas.
- 7.2.7 O projeto de detalhamento dos cruzamentos e travessias deve atender aos requisitos do Anexo G.
- **7.2.8** O dimensionamento do duto nos cruzamentos sem tubo-camisa deve considerar os pontos mencionados a seguir:
- a) carga externa de peso de terra de cobertura;
- b) carga externa de tráfego veicular;
- c) pressão interna de projeto;
- d) diferencial de temperatura (no caso de duto transportando produto aquecido);
- e) sobreespessura para corrosão.
- 7.2.9 O dimensionamento do duto nas travessias deve considerar os pontos mencionados a seguir:
- a) carga externa de peso de terra de cobertura;
- b) momentos de flexão decorrentes do curvamento natural;
- c) pressão interna de projeto;
- d) diferencial de temperatura (no caso de duto transportando produto aquecido);
- e) sobreespessura para corrosão.
- **7.2.10** No dimensionamento do duto nos cruzamentos (sem tubo-camisa) e nas travessias, a jaqueta de concreto não deve ser considerada como contribuinte para o aumento da resistência mecânica do duto.
- **7.2.11** Nas travessias de rios, lagos e canais a estabilização do trecho deve ser feita apenas com a utilização de jaqueta de concreto, confeccionada de acordo com a ABNT NBR 15280-2, não sendo permitido o emprego de selas, blocos de concreto ou outros tipos de massas concentradas. A jaqueta deve ter as características mencionadas a seguir:
- a) espessura mínima de 38 mm;
- b) peso específico mínimo do concreto para lastro igual a 22 x 10<sup>3</sup> N / m <sup>3</sup> (2 240 kg / m<sup>3</sup>);
- c) resistência mínima à compressão do concreto igual a 15 MPa.
- **7.2.12** Os cruzamentos com tubo-camisa devem considerar as premissas mencionadas a seguir:
- a) a seleção do diâmetro eda espessuramínima deparede do tubo-camisadeve estarde acordo coma Figura G.4;
- b) recomenda-se que o tubo-camisa tenha revestimento externo anticorrosivo;
- recomenda-se que o tubo-camisa seja instalado com inclinação mínima de 1 % no sentido da lateral da faixa que apresentar a melhor condição de drenagem.
- **7.2.13** Nos cruzamentos, quando for necessária proteção mecânica para cargas de tráfego pesado (veículos de mineradoras e madeireiras), o projeto deve considerar a conveniência de instalação de laje de concreto armado construída abaixo e justaposta à pista de rolamento da via.

# 7.3 Válvulas intermediárias de bloqueio

- **7.3.1** As válvulas intermediárias de bloqueio devem ser instaladas para limitar o volume de produto liberado em decorrência de eventuais vazamentos e para facilitar a manutenção do duto.
- **7.3.2** As válvulas devem ter fácil acesso e ser providas de suportação adequada para evitar movimentos diferenciais entre o terreno, o duto e as válvulas laterais de *by pass*.
- 3.43 vul lá de ulasar de polos use p
- **7.3.4** Dutos que transportam produtos de categoria I não requerem espaçamento máximo entre válvulas intermediárias de bloqueio. Dutos que transportam produtos de categoria II só requerem espaçamento máximo entre válvulas quando instalados em áreas industriais, comerciais ou residenciais; nesse caso o espaçamento máximo é de 12 km. Recomenda-se, em ambas as categorias, o emprego de válvula de bloqueio com acionamento remoto quando houver situação de grande risco à população.
- NOTA Aumentos significativos no espaçamento das válvulas de dutos que transportam produtos de categoria II devem ser justificados por um estudo de risco.
- **7.3.5** Áreas sujeitas a ações de terceiros, como industriais, comerciais e residenciais, podem ter o espaçamento das válvulas de bloqueio reduzido, como medida para redução do risco para a comunidade.

#### 7.4 Cobertura e afastamento

7.4.1 O valor mínimo para a cobertura da vala deve ser conforme Tabela 5.

Tabela 5 — Valor mínimo para cobertura

Locação	Cobertura		
,	m		
Áreas com cultura mecanizada	1,2		
Áreas industriais, comerciais ou residenciais	1,2		
Travessias e cruzamentos	Ver Anexo G		
Escavação em rocha consolidada	0,6		
Todas as demais áreas	1,0		

**7.4.2** O afastamento mínimo, paralelo ou vertical, entre o duto e as demais instalações subterrâneas, como outro duto ou um cabo deve ser de 40 cm, devendo ser adequado para manutenção e reparos. A instalação do duto com afastamento inferior ao valor recomendado deve incluir a colocação de tubo-camisa, manta ou suporte, visando assegurar proteção mecânica e isolamento elétrico para o duto.

# 7.5 Estabilização do duto

- **7.5.1** A estabilização de um duto num meio líquido é, normalmente, conseguida por meio de lastro agregado ao tubo, exceto no caso de atirantamento. Vários são os meios de estabilização, a saber:
- a) jaqueta;
- b) sela;
- c) tirantes (parafusos de fixação ao solo);
- d) geotêxteis (por exemplo, lastro ensacado);
- e) solo de reaterro (solo de cobertura).
- **7.5.2** A estabilização de um duto é necessária nas travessias de rios, lagos e açudes, e nas instalações em terrenos alagados ou alagáveis, como pântanos, várzeas e brejos.
- 7.5.3 O meio mais utilizado para lastreamento, e cuja aplicação é versátil, é a jaqueta de concreto.
- **7.5.4** O solo de cobertura só deve ser utilizado como lastro para dutos de médio a pequeno diâmetro quando instalados em valas reaterradas com material granular grosso e bem graduado. É importante neste caso garantir que atividades de terceiros não venham a ser causa da retirada do material de cobertura. Áreas sujeitas a enxurradas são desaconselháveis para implantação de dutos lastreados com solo de cobertura.
- **7.5.5.** A sela, o tirante e o geotêxtil são soluções de caráter particular, devendo ser usados quando a solução com jaqueta se mostrar mais onerosa ou menos indicada.
- **7.5.6** Devem-se utilizar as relações de forças para a estabilização indicadas em 7.5.6.1 e 7.5.6.2.
- **7.5.6.1** Para tubos com jaqueta:

$$\frac{P_T + P_C}{F} \ge 1{,}10$$

7.5.1.1 Para tubos estabilizados com solo:

$$\frac{P_T + P_S}{E_0} \ge 1,50$$

onde

 $P^{T}$  é o peso do tubo (vazio);

P<sub>C</sub> é o peso da jaqueta;

P<sub>S</sub> é o peso do prisma de solo de cobertura, na condição submersa;

E é o empuxo do meio líquido sobre o duto (com jaqueta);

 $E_0$  é o empuxo do meio líquido sobre o duto.

NOTA 1 No cálculo do peso do tubo deve-se utilizar a espessura mínima, a qual corresponde à espessura nominal menos a parcela da espessura relativa à tolerância inferior de fabricação do tubo.

NOTA 2 O lastreamento com água não deve ser utilizado, mesmo que o duto esteja destinado ao transporte de líquidos.

- NOTA 3 Admite-se, para efeito de projeto, que a força que o solo exerce sobre o duto, quando este sofre a ação de empuxo do meio de líquido, corresponda apenas ao peso do prisma de solo situado nos limites do diâmetro externo do duto.
- NOTA 4 A massa específica do meio de imersão deve ser considerada no mínimo igual a 1 030 kg/m<sup>3</sup>.
- NOTA 5 A massa específica do concreto de lastro deve ser no mínimo igual a 2 240 kg/m<sup>3</sup>.
- NOTA 6 A massa específica submersa do solo de reaterro deve ser no mínimo igual a 900 kg/m<sup>3</sup>.
- **7.5.7** Para solos passíveis de liquefação, que apresentam alto índice de liquidez (LL) e nos quais a expansão das argilas com alto grau de umidade (hw) produz pesos específicos superiores à unidade deve ser feita uma investigação de campo para a determinação do peso específico do solo no estado liquefeito.
- 7.5.8 Para solos liquefativos não é permitida a estabilização do duto com solo de reaterro.
- **7.5.9** Para dutos submersos em cursos d'água, deve ser verificada a estabilidade em relação à força vertical de sustentação (*lift force*), decorrente da ação do fluxo incidindo transversalmente ao duto.
- **7.5.10** Para dutos submersos em cursos d'água, deve ser verificada a estabilidade em relação à força horizontal de arrastão (*drag force*) decorrente da ação do fluxo incidindo transversalmente ao duto.

# 7.6 Avaliação das anomalias em tubos

- **7.6.1** Os tubos devem ser inspecionados no seu recebimento conforme ABNT NBR 15280-2. Anomalias como flambagem, mossas, empenamento, achatamento, cavas, ranhuras e entalhes devem ser evitadas, reparadas ou eliminadas conforme 7 6 2
- 7.6.2 O critério de aceitação de anomalias nos tubos, decorrentes das atividades de construção é:
- a) ranhuras, cavas ou entalhes devem ser reparados por soldagem ou removidos por esmerilhamento, desde que a espessura de parede remanescente seja igual ou superior à espessura nominal, descontada a tolerância inferior de fabricação do tubo; caso contrário, a porção cilíndrica do tubo deve ser cortada e substituída;
- entalhes ou dupla laminação nas extremidades do tubo não podem ser reparados. A porção cilíndrica do tubo deve ser cortada e substituída;
- mossas devem ser eliminadas mediante corte e substituição da porção cilíndrica do tubo na região afetada quando:
  - existir concentrador de tensão, como risco, cava, ranhura ou abertura de arco;
  - ocorrer nas soldas:
  - \_ a profundidade for maior que 6 mm para dutos com diâmetro nominal menor ou igual a 4 pol;
  - a profundidade for maior que 6 % do diâmetro nominal do duto para dutos com diâmetro maior que 4 pol;
- d) flambagem local, empenamento ou achatamento devem ser eliminados mediante corte e substituição da porção cilíndrica do tubo na região afetada.

# 8 Ensaio de pressão

# 8.1 Generalidades

**8.1.1** Todos os dutos ou sistemas de dutos, projetados de acordo com esta Parte da ABNT NBR 15280 e construídos de acordo com a ABNT NBR 15280-2, devem ser submetidos a ensaio de pressão hidrostática antes de serem colocados em operação para demonstrar a sua resistência mecânica e a sua estanqueidade.

E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

- **8.1.2** As etapas de preparação para o ensaio (limpeza, enchimento e calibração), a elaboração dos procedimentos executivos (planejamento, etapas, duração, equipamentos, execução, critérios de aceitação etc.) e os registros (documentação) devem atender aos requisitos da ABNT NBR 15280-2.
- **8.1.3** As tubulações em bases e terminais, tubulações em píeres, estações de recebimento e lançamento de *pigs*, estações de redução e controle de pressão, conforme relacionadas em 1.3 e) f), devem ser submetidas ao ensaio hidrostático simplificado, em substituição ao ensaio hidrostático (completo), conforme previsto na ABNT NBR 15280-2.

#### 8.2 Pressão mínima e máxima de ensaio

- **8.2.1** A pressão máxima de ensaio aplicada a um duto, tubulações em bases e terminais, tubulações em píeres, estações de recebimento e lançamento de *pigs*, estações de redução, não deve exceder a pressão admissível de qualquer componente instalado no trecho de ensaio, conforme estabelecido na norma de fabricação aplicável, ou nas normas relacionadas no Anexo E.
- **8.2.2** As pressões mínimas e máximas para o ensaio de resistência mecânica e para o ensaio de estanqueidade de dutos, a serem aplicadas em qualquer ponto do trecho de ensaio, devem atender aos limites estabelecidos na Tabela 6. respeitando-se 8.2.1.
- **8.2.3** As instalações mencionadas em 8.1.3 devem ser ensaiadas a uma pressão de, no mínimo, 1,5 x PMO. Trechos enterrados devem ser submetidos a um ensaio de estanqueidade, após o ensaio de resistência mecânica, a uma pressão mínima de 1,1 x PMO.

# 8.3 Pressão máxima de operação admissível (PMOA)

- **8.3.1** 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 srcinal do duto e deve estar compreendida entre a PMO e a pressão de projeto.
- **8.3.2** A PMOA deve ser revista ao longo da vida útil do duto, tomando por base, entre outros fatores, a integridade estrutural ou alterações de projeto.
- **8.3.3** A PMOA dos dutos ou sistemas de dutos (ver Seção 1) deve ser determinada conforme estabelecido na Tabela 6.
- **8.3.4** 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.

25

Impresso por: PETROBRAS

Tabela 6 — Requisitos para pressão do ensaio hidrostático de duto

Ca egoria do fluido	Ensaio hidrostático				РМОА
	Ens	saio de resistência	Ensa	io de estanqueidade	o menor valor entre:
	Mínima Nota 2	Máxima	Mínima Nota 2	Máxima	
ı	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 destatos de	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  $2\Delta V$  para um  $\Delta P$ ) no gráfico  $P \times V$ , conforme ABNT NBR 15280-2.

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

# 9 Análise de flexibilidade

## 9.1 Geral

**9.1.1** A análise de flexibilidade estabelece critérios aplicáveis às tubulações, aéreas e enterradas, para avaliação da sua capacidade de absorver deformações geradas pela variação de temperatura, ou pela imposição de deslocamentos. Esta análise consiste na determinação das tensões e deflexões (translações e rotações) na

tubulação e sua comparação com valores admissíveis. Faz também, parte desta análise, a determinação das forças e momentos atuantes nos suportes da tubulação e nos flanges de acoplamento com os equipamentos.

- **9.1.2** As tensões geradas por variação uniforme de temperatura podem ser reproduzidas por um sistema de forças e momentos externos que imponha um campo de deslocamentos à tubulação. Desta forma, os critérios de avaliação de flexibilidade que são aplicáveis para variação de temperatura são também válidos para deslocamentos impostos ao sistema.
- **9.1.3** A análise de flexibilidade é um cálculo de verificação, pois, a partir de uma configuração proposta, julga-se, dentro de critérios preestabelecidos, se o sistema for suficientemente flexível.
- 9.1.4 Para efeito de metodologia, os sistemas de dutos são divididos em restringidos e não-restringidos.
- **9.1.5** Não existe uma clara distinção quantitativa entre sistemas restringidos e não-restringidos. No entanto, convenciona-se definir um sistema não-restringido como aquele em que a maior parte de seus elementos, quando sob variação de temperatura, desenvolve, predominantemente, momentos de flexão e de torção. Tubulações aéreas com possibilidade de aceitarem amplos deslocamentos são exemplos de sistemas não-restringidos.

Por outro lado, as tubulações restringidas são as que possuem pouca ou nenhuma liberdade de deslocamento e desenvolvem, predominantemente, forças longitudinais quando sob variação de temperatura. As tubulações enterradas são exemplos de sistemas restringidos.

- **9.1.6** O critério de avaliação da flexibilidade de uma tubulação é estabelecido relativamente a um determinado nível admissível de tensões.
- **9.1.7** Embora esta parte da ABNT NBR 15280 não estabeleça critérios baseados em limites para a translação e a rotação das seções transversais das tubulações, o projeto pode estabelecer valores-limite para estes

deslocamentos, em função de condições restritivas na suportação ou no espaçamento das tubulações.

- **9.1.8** Para tubulações, a flexibilidade é uma medida da sua capacidade de se dilatar ou contrair, sem comprometimento de sua integridade estrutural ou desempenho funcional, respeitando os limites dimensionais definidos pelo projeto.
- **9.1.9** As tubulações devem ser projetadas para terem suficiente flexibilidade, a fim de evitar que as dilatações e contrações causem tensões excessivas na tubulação, produzam momentos e forças inaceitáveis nas conexões e nos acoplamentos com os bocais, induzam esforços elevados nos suportes, ou levem à interferência entre esta tubulação e as demais. As forças e os momentos transmitidos pela tubulação aos bocais de equipamentos não devem ser superiores aos seus valores admissíveis.
- **9.1.10** Cálculos de expansão térmica são necessários para linhas enterradas quando ocorrerem variações significativas de temperaturas, tais como nas tubulações que transportam fluidos aquecidos. A expansão térmica de tubulações enterradas pode causar deslocamentos nos seus pontos extremos, em mudanças de direção ou de diâmetro. A menos que tais movimentos sejam restringidos por ancoragem, deve ser assegurado um grau de flexibilidade adequado.
- **9.1.11** A força de pressão interna em tubulações de grande diâmetro pode ter influência relevante nas reações dos suportes de batente ou ancoragem, ou no deslocamento dos pontos extremos da tubulação.
- **9.1.12** As tensões geradas pela temperatura devem ser calculadas conforme a Seção 10 e combinadas e limitadas pelos requisitos estabelecidos em 4.8.

#### 9.2 Métodos de análise

- **9.2.1** A análise de flexibilidade das tubulações pode ser realizada por quaisquer dos métodos baseados no princípio dos trabalhos virtuais e no princípio da energia potencial, complementados ou não por métodos matemáticos para solução dos problemas do contínuo (método dos elementos finitos).
- **9.2.2** O método de análise deve tratar o sistema de tubulação na sua forma mais ampla, no que diz respeito à generalidade das cargas, orientação espacial dos elementos tubulares, forma dos elementos, propriedades físicas dos materiais metálicos, resposta do solo na interação com a tubulação, características geométricas das seções transversais etc.

# 9.3 Critérios para análise de flexibilidade

- **9.3.1** Como regra geral, a análise de flexibilidade é recomendada sempre que houver ocorrência de variações significativas de temperatura ou deslocamentos impostos.
- **9.3.2** A análise da flexibilidade pode ser dispensada para tubulações conduzindo produtos à temperatura de operação entre 5 °C e 40 °C, desde que não expostas ao sol e não sujeitas à limpeza com vapor.
- **9.3.3** Em sistemas que operam com líquidos à temperatura ambiente, mas que possuam tubulações pouco flexíveis, conectadas a bocais de equipamentos rotativos ou sensíveis a esforços, e estejam expostas ao sol, é obrigatória a realização de uma análise de flexibilidade.
- **9.3.4** A análise de flexibilidade pode ser dispensada, para tubulações aéreas e enterradas, quando ocorrer semelhança física e operacional com outra já analisada e julgada flexível.

# 9.4 Requisitos para a obtenção da flexibilidade

- **9.4.1** A flexibilidade das tubulações aéreas deve ser preferencialmente obtida com um projeto espacial, isto é, procurando dispor os elementos tubulares (retas e curvas), de modo a conseguir mudanças em direções ortogonais. Não sendo possível o desenho espacial, recorrem-se às mudanças planares em ângulo reto. Em quaisquer dos casos, uma boa proporção entre os comprimentos dos elementos tubulares é um fator positivo de redução das tensões térmicas.
- **9.4.2** A limitação ao deslocamento das tubulações enterradas deve ser obtida do próprio confinamento imposto pelo solo. Quando a interação duto-solo, por si só, não for capaz de dar estabilidade ao duto, devem-se utilizar suportes de ancoragem, ou de batente, para impedir ou limitar, respectivamente, os deslocamentos indesejáveis no duto.
- **9.4.3** Juntas de expansão somente devem ser empregadas em tubulações aéreas. As juntas devem ser selecionadas e especificadas de acordo com o padrão da EJMA (*Expansion Joint Manufacturers Association*).
- **9.4.4** A redução da intensidade das reações de ancoragem pode ser conseguida com o uso da técnica de pré-tensionamento (*cold spring*). Entretanto, esta técnica não contribui para a redução da tensão de expansão térmica.

## 9.5 Abrangência da análise

- **9.5.1** Ao se analisar a flexibilidade de um sistema de tubulação, deve-se tratá-lo como um todo; a influência de todos os ramos do sistema e de todas as restrições deve ser levada em consideração.
- **9.5.2** A análise de flexibilidade abrange o cálculo das tensões e dos deslocamentos da tubulação provocados pela variação da temperatura e da pressão. É obrigatória a determinação dos deslocamentos dos pontos extremos e das tensões máximas na tubulação. Os deslocamentos em pontos de interesse e os esforços em bocais de equipamentos também devem ser determinados.
- **9.5.3** O cálculo dos suportes inclui a determinação dos esforços sobre todos os pontos de restrição (guias, batentes e ancoragens), de acordo com 11.3.

# 9.6 Cargas atuantes e tensões

**9.6.1** Existem diferenças significativas entre o comportamento de tubulações aéreas e de tubulações enterradas, sob o aspecto das tensões e das reações induzidas pela variação de temperatura. Nas tubulações aéreas, a dilatação e a contração térmicas do primeiro ciclo operacional podem dar srcem a plastificações localizadas que reduzem, nos ciclos posteriores, os valores absolutos das tensões trativas e compressivas. Este comportamento não ocorre nas tubulações enterradas, e deste fato advêm dois diferentes enfoques para a análise de flexibilidade, considerando sistemas não-restringidos (aéreos) ou restringidos (enterrados).

9±6525 es admissió diandifete rdifedersciado dos sistemas restringidos e não-restringidos, descrito em 9.6.1, determina

- **9.6.3** A análise de flexibilidade de sistemas não-restringidos considera, separadamente, para efeito de limitação das tensões, a atuação de dois grupos de carregamentos:
- a) cargas de temperatura e de deslocamento imposto;
- b) cargas de ação permanente (pressão, peso próprio) eventualmente cumuladas por cargas ocasionais (vento).

As tensões nos sistemas não-restringidos devem ser combinadas e limitadas de acordo com os requisitos de 4.8.1.2 e 4.8.1.3, respectivamente, para cada um destes grupos de carregamentos.

**9.6.4** A análise de flexibilidade de sistemas restringidos considera, para efeito de limitação das tensões, a atuação conjunta dos carregamentos de temperatura e pressão. Eventualmente, quando estes sistemas apresentarem um trecho com vão livre, as tensões de flexão, causadas pelo peso próprio, são computadas conjuntamente com as tensões devidas aos carregamentos de temperatura e pressão. As tensões nos sistemas restringidos devem ser combinadas e limitadas de acordo com os requisitos de 4.8.2.2 a 4.8.2.7

# 9.7 Diferenciais de temperatura

Resulta da tracko de competicación com a málise é o que

- **9.7.2** Para tubulações aéreas que operam com produtos à temperatura ambiente, as temperaturas máxima e mínima para uso na análise de flexibilidade devem levar em consideração a influência climática, durante um ciclo anual de operação. Para tubulações aéreas expostas ao sol, não isoladas termicamente e com possibilidade de interrupção do fluxo do produto, a temperatura máxima recomendada é 60 °C.
- **9.7.3** Para sistemas restringidos, devem ser considerados os diferenciais calculados para as temperaturas de montagem e as temperaturas de operação, máxima e mínima, inclusive as que ocorrem nas partidas e paradas do sistema.

#### 9.8 Generalidades

- **9.8.1** Na análise de flexibilidade deve ser considerado o fator *i* de intensificação de tensões, o qual leva em conta a concentração das tensões e a fadiga.
- NOTA Para os componentes de tubulação que não são curvos, define-se, por analogia, um fator k unitário.
- **9.8.3** Na análise da flexibilidade, não é obrigatória a consideração de um redutor para fatores *i* e *k*, por efeito do enrijecimento do elemento curvo, quando pressurizado, exceto no caso de tubos de grande diâmetro e parede fina, quando estes fatores devem ser reduzidos de acordo com a nota (f) da Tabela 7.
- **9.8.4** Os valores de *i* e *k* encontram-se nas Tabelas 7 e 8.
- **9.8.5** Todos os cálculos da análise da flexibilidade devem ser feitos nas seguintes bases:
- a) as dimensões do tubo e de seus componentes são as nominais;
- b) o fator de eficiência de qualquer junta soldada (*Ej*) é igual a 1;
- c) o módulo de elasticidade do material (E) é referido à temperatura ambiente.

E xemplar para uso exclusivo - PETROLEO BRAB LEIRO - 33.000.167/0036-31

Tabela 7 — Fatores i e k para tubos e componentes de tubulação

Descrição	Fator de intensificação de tensão $^{\circ}$		nsificação de são <sup>e</sup>	Característica	Figuras
	<b>flexibilidade</b> k	Fora do plano	No plano i <sub>i</sub>	de flexibilidade	
Curva forjada ou tubo curvado <sup>a b c d f</sup>	<u>1,65</u> h	0,75 2 h <sup>3</sup>	0,9 2 h <sup>3</sup>	$\frac{e \times R}{r^2}$	R = 1DN
Curva em gomos curtos abc S < (1+ tg θ).r	1,52 5 h <sup>6</sup>	$\frac{0.75}{\frac{2}{13}}$	0,9 2/h <sup>3</sup>	$\frac{ctg\theta}{2} \times \frac{e \times s}{r^2}$	$R = 0.5(s \times ctg\theta)$
Curva em gomos longos abcd S≥r(1+tg θ)	1,52 5 h <sup>6</sup>	$\frac{0.75}{h^{\frac{2}{3}}}$	$\frac{0.9}{h^{\frac{2}{3}}}$	$\frac{1+ctg\theta}{2} \times \frac{e}{r}$	$R = 0.5(1 + ctg\theta)$
Tê forjado <sup>a c</sup>	1	0,9 2 h <sup>3</sup>	0,75 <i>i</i> <sub>o</sub> + 0,25	4,4 <del>c</del> /r	, c
Boca de lobo com reforço de chapa tipo sela ou coxim <sup>a c</sup>	1	0,9 h <sup>2/3</sup>	0,75 <sup>jo</sup> + 0,25	$\frac{(e+0,5\times e_r)^{\frac{5}{2}}}{e^{\frac{3}{2}}\times r}$	er Coxim Sela
Boca de lobo sem reforço <sup>a c</sup>	1	$\frac{0.9}{\frac{2}{100}}$	0,75 <i>i</i> <sub>o</sub> + 0,25	e r	e

Tabela 7 (continuação)

Descrição	Fator de	Fator de inte	nsificação de são <sup>e</sup>	Característica		
	<b>flexibilidade</b> k	Fora do plano i <sub>o</sub>	No plano i <sub>i</sub>	de flexibilidade		
Derivação extrudada $^{ac}$ $r_x \ge 0,05 d$ $e_c < 1,5 e$	1	$\frac{0.9}{h^{\frac{2}{3}}}$	0,75 <i>i</i> <sub>o</sub> + 0,25	$\left(1+\frac{r_x}{r}\right)\times\frac{e}{r}$	e <sub>c</sub> d r <sub>x</sub>	
Derivação com sela soldada $^{ac}$ $r_x \ge 0,125$ d $e_c \ge 1,5$ e	1	$\frac{0.9}{h^{\frac{2}{3}}}$	0,75 <i>i</i> <sub>o</sub> + 0,25	4,4 <del>e</del> /r	e <sub>c</sub> d	
Boca-de-lobo com reforço integral e "pão penetrante"	1	$\frac{0.9}{h^{\frac{2}{3}}}$	$\frac{0.9}{\frac{2}{h^3}}$	( <u>e</u> ) 3,3( <sup>r</sup> )	9	

a) O fator k aplica-se às deflexões produzidas por momentos atuantes em qualquer plano, com relação ao plano do membro. Os fatores i e k não podem ser inferiores à unidade. Para curvas (forjadas ou em gomos), os fatores i e k aplicam-se somente para os segmentos ao longo do arco indicado nas Figuras desta Tabela, por linhas grossas. Para tês, os fatores i e k aplicam-se somente para os pontos de interseção das linhas de centro do tronco e do ramal.

- 1) uma extremidade flangeada,  $C = (h)^{1/6}$ ;
- 2) ambas as extremidades flangeadas, C = (h) 1/3
- c) Nomenclatura:
- e<sub>c</sub> = espessura nominal de parede do pescoço da derivação (forjada ou extrudada);
- e<sub>r</sub> = espessura nominal da chapa de reforço;
- $\theta$  = metade do desvio angular para curvas em gomos;
- r = raio médio; r = (D e)/2;

respectaia កម្រាជម្រាជបានប្រជាជានៅម្រាង ប្រជាជានេះ para curvas forjadas; raio de curvatura conforme definido analiticamente na

- s = comprimento do eixo do gomo;
- d = diâmetro externo do ramal;
- D = diâmetro externo;
- P = pressão de projeto;
- $E_c$  = módulo de elasticidade à temperatura ambiente.
- $^{d)}$  Para dois tubos ligados, com ângulo entre eixos (2 $\theta$ ) maior que 3 $^{\circ}$  e menor que 45 $^{\circ}$ , podem ser utilizados os fatores i e k da curva em gomos longos.
- e) Um único fator de intensificação de tensões, igual a 0,9/h<sup>2/3</sup>, pode ser opcionalmente usado paras as flexões no plano do membro.
- <sup>f)</sup> Numa curva de grande diâmetro e parede fina, uma pressão interna elevada afeta significativamente sua rigidez à flexão (conforme 9.8.3); neste caso, para corrigir fatores *i* e *k*, dados nesta Tabela, deve-se operar conforme indicado a seguir;
- 1) dividir k por:  $[1 + 6 P/ E_C x (r/e)^{7/3} x (R/r)^{1/3}]$
- 2) dividir *i* por:  $[1 + 3,25 P/E_c x (r/e)^{5/2} x (R/r)^{2/3}]$

b) Quando existirem flanges em uma ou ambas as extremidades das curvas, os fatores i e k devem ser multiplicados pelos seguintes coeficientes de redução, C:

Tabela 8 — Fatores i e k para meios de ligação

Descrição	Fator de flexibilidade k	Fator de intensificação de tensão ;
Junta soldada		
Flange de pescoço	1	1,0
Redução soldada		
Flange sobreposto (com cordão de solda duplo)	1	1,2
Flange de encaixe ou sobreposto (com cordão de solda simples)	1	1,3
Junta roscada Flange roscado	1	2,3

# 10 Cálculo das tensões

#### 10.1 Geral

- 10.1.1 O cálculo das tensões, para as cargas atuantes nos sistemas de tubulação, é apresentado nesta Seção.
- **10.1.2** Nesta parte da ABNT NBR 15280, a referência para a garantia da resistência dos materiais, no dimensionamento mecânico de dutos, é a teoria da tensão de cisalhamento máxima.
- **10.1.3** Em situações não ordinárias, tais como as descritas em 10.7, 10.8 e 10.9, podem ser necessários outros cálculos e avaliações, além dos aqui apresentados.
- **10.1.4** As tensões de flexão transversal nos dutos enterrados, S<sub>HE</sub> provocadas pelo peso de terra, são pequenas para as coberturas usualmente praticadas e devem ser desprezadas. Entretanto, nos cruzamentos, devido a condições desfavoráveis, estas tensões devem ser consideradas e avaliadas de acordo com a API RP 1102.
- **10.1.5** O fator *i* de intensificação de tensões deve ser considerado para cálculo das tensões de flexão, quando decorrentes das solicitações de expansão térmica, peso próprio e cargas ocasionais.
- **10.1.6** Opcionalmente, pode-se usar como fator *i* de intensificação das tensões, para quaisquer dos elementos de tubulação apresentados na Tabela 8, um valor igual a  $\frac{0.9}{h^{2/3}}$  para ambas as direções de atuação dos momentos fletores (no plano, ou fora do plano) no elemento tubular.

# 10.2 Tensão de pressão interna

# 10.2.1 Tensão circunferencial ( $S_C$ )

A tensão circunferencial causada pela pressão interna, que primariamente responde pelo dimensionamento mecânico do duto, deve ser calculada pela seguinte euqação:

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

onde

P é a pressão (genérica);

D é o diâmetro externo do tubo;

 $e_{nom}$  é a espessura nominal de parede do tubo;

A é o fator para acréscimo de espessura, conforme definido em 5.2.2.

# 10.2.2 Tensão longitudinal ( $S_{LP}$ )

Deve ser calculada por uma das seguintes equações:

a) para dutos axialmente não restringidos:

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

onde

$$d = D - 2 \times (e_{nom} - A)$$

P é a pressão (genérica);

D é o diâmetro externo do duto;

d é o diâmetro interno do duto;

 $e_{nom}$  é a espessura nominal de parede do tubo;

A é o fator para acréscimo de espessura, conforme definido em 5.2.2.

b) para dutos axialmente restringidos:

$$S_{LP} = 0.3 \times S_C$$

# 10.3 Tensão de expansão térmica

# 10.3.1 Geral

- **10.3.1.1** Diferenças fundamentais nas condições de ação e reação em dutos não-restringidos e dutos restringidos, sob variação de temperatura, levaram ao estabelecimento de tensões admissíveis diferenciadas, associadas aos diferentes tipos de carregamento.
- **10.3.1.2** Para dutos não-restringidos, esta parte da ABNT NBR 15280 admite que a tensão de expansão térmica é provocada pelos seguintes carregamentos:
- a) variação da temperatura;
- b) deslocamentos impostos (movimento de bocais de equipamentos, de tubos interligados ao duto, movimentação de solo).
- **10.3.1.3** Para dutos restringidos, esta parte da ABNT NBR 15280 admite que a tensão de expansão térmica é devida aos efeitos combinados de variação de temperatura e pressão interna, sendo quantificada pela tensão longitudinal  $S_L$ .

# 10.3.2 Para dutos não-restringidos (S<sub>e</sub>)

É uma tensão equivalente a um estado de tensões provocado por flexão e torção. Deve ser calculada pela seguinte equação:

$$S_e = \sqrt{{S_b}^2 + 4 \times {S_t}^2}$$

onde

S<sub>b</sub> é a tensão normal de flexão longitudinal na expansão térmica de dutos não-restringidos;

 $S_t$  é a tensão de cisalhamento por torção na expansão térmica de dutos não-restringidos.

Sendo:

$$S_b = i \times \frac{M_b}{Z}$$

onde

i é o fator de intensificação de tensões (ver Tabelas 7 e 8);

M<sub>b</sub> é o momento fletor de expansão térmica;

Z é o módulo de resistência da seção transversal do duto.

E, sendo ainda:

$$S_t = \frac{M_t}{2 \times Z}$$

onde

 $M_t$  é o momento de torção na expansão térmica.

# 10.3.3 Para dutos restringidos (S<sub>L</sub>)

# 10.3.3.1 Trechos retos

É uma tensão longitudinal que deve ser calculada pela seguinte equação:

$$S_L = E \times \alpha \times (T_2 - T_1) - 0.3 \times S_C$$

onde

 $S_L$  é a tensão longitudinal na expansão térmica para trechos retos de dutos restringidos;

E é o módulo de elasticidade longitudinal do material;

 $\alpha$  é o coeficiente de expansão térmica linear;

T<sub>2</sub> é a temperatura de operação;

 $T_1$  é a temperatura de montagem;

 $S_{\mathbb{C}}$  é a tensão circunferencial de pressão interna.

Impresso por: PETROBRAS

# 10.3.3.2 Trechos curvos

É uma tensão longitudinal que deve ser calculada pela seguinte equação:

$$S_L = i \times \frac{M_f}{Z} + \frac{N}{A_m}$$

onde

S<sub>1</sub> é a tensão longitudinal na expansão térmica para trechos curvos de dutos restringidos;

 $M_f$  é o momento fletor;

N é a força no trecho curvo, atuando normalmente à seção transversal do duto;

 $A_m$  é a área da seção transversal do duto (área de metal);

i é o fator de intensificação de tensões (ver Tabelas 7 e 8);

Z é o módulo de resistência da seção transversal do duto.

NOTA A força N e o momento  $M_f$  são produzidos pela variação de temperatura e pela pressão interna, de acordo com o estabelecido em 10.3.1.3. A tensão normal  $\frac{N}{A^m}$  é compressiva quando seu sinal algébrico for positivo; a tensão normal  $\frac{M_f}{Z}$  é de tração e compressão, atuando em fibras simetricamente opostas em relação à linha neutra.

# 10.4 Tensão longitudinal de flexão de peso próprio $(S_{fg})$

Considera-se como uma tensão produzida exclusivamente nos trechos aéreos, e é causada pelo peso próprio do duto, de outros elementos de tubulação e do fluido contido. Deve ser calculada pela seguinte equação:

$$S_{fg} = i \times \frac{M_{fg}}{7}$$

onde

 $M_{fa}$  é o momento fletor de peso próprio;

*i* é o fator de intensificação de tensões (ver Tabelas 7 e 8);

Z é o módulo de resistência da seção transversal do duto;

 $\frac{M_{fg}}{Z}$  é uma tensão de tração e compressão, atuando em fibras simetricamente opostas em relação à linha neutra.

# 10.5 Tensão longitudinal de flexão de cargas ocasionais (Sfo)

É uma tensão produzida por forças de ocorrência eventual, como a ação de vento e o peso de operários fazendo manutenção. Para a avaliação da força provocada pela ação do vento, deve-se consultar a ABNT NBR 6123. Esta tensão deve ser calculada pela seguinte eqação:

$$S_{fo} = i \times \frac{M_{fo}}{7}$$

onde

 $M_{fo}$  é o momento fletor de cargas ocasionais;

i é o fator de intensificação de tensões (ver Tabelas 7 e 8);

Z é o módulo de resistência da seção transversal do duto;

 $\frac{M_{fo}}{Z}$  é uma tensão de tração e compressão, atuando em fibras simetricamente opostas em relação à linha neutra.

# 10.6 Tensão equivalente de cargas externas, de pressão e de variação de temperatura, em cruzamentos ( $S_{EQ}$ )

- **10.6.1** A tensão equivalente  $S_{EQ}$  é produzida pelo peso de terra de cobertura, pela sobrecarga do tráfego de veículos rodoviários ou ferroviários, pela pressão interna e pela variação de temperatura.
- **10.6.2** As tensões circunferenciais e longitudinais de carga externa, devidas ao peso de terra e à sobre carga de tráfego, devem ser calculadas de acordo com a API RP 1102.
- **10.6.2.1** A tensão circunferencial devida à flexão transversal de carga externa,  $S_{He}$ , conforme calculada pela API RP 1102, deve ser somada à tensão circunferencial de pressão interna,  $S_C$ , conforme calculada por 10.2.1, para compor a tensão circunferencial total  $S_{CT}$ .

$$S_{CT} = S_{He} + S_{C}$$

**10.6.2.2** A tensão circunferencial total,  $S_{CT}$ , deve ser somada à tensão circunferencial cíclica, devida às cargas veiculares,  $\Delta S_H$ , conforme calculada pela API RP 1102, para compor a tensão circunferencial combinada,  $S_1$ , que é uma das tensões principais.

$$S_1 = S_{CT} + \Delta S_H$$

**ଏହ.ଦେଇ**ଟି condinative densitadienas ହୋଁ ବେଲ୍ଲୋ ପ୍ରଧାନ ଓ ଅନୁକ୍ଷର ଓ ହୋଁ ହୋଣ ହେଉଟି ହାଁ ହୋଣ ହେଉଟି ହୋଁ ହେଉଟି ଅନ୍ତର୍ଶ ହୋଁ ହେଉଟି ହେ ହେଉଟି ହେଉଟ

$$S_2 = \Delta S_L - S_{\Delta T} + S_{LP}$$

sendo

$$S_{\Lambda T} = E \times \alpha \times (T_2 - T_1)$$

onde

- E é o módulo de elasticidade longitudinal do material;
- lpha é o coeficiente de expansão térmica linear do material

- T<sub>2</sub> é a temperatura de operação;
- $T_1$  é a temperatura de montagem.
- **10.6.2.4** A tensão equivalente,  $S_{EQ}$ , deve ser obtida por uma das condições (a) ou (b), em função dos valores absolutos das tensões principais, conforme o sinal algébrico da tensão  $S_2$  obtida em 10.6.2.3.
- a) quando  $S_2$  for negativa,  $S_{EQ}$  deve ser calculada por:

$$S_{EQ} = |S_1| + |S_2|$$

b) quando  $S_2$  for positiva,  $S_{EQ}$  deve ser o maior valor entre:

$$S_{EQ} = |S_1|$$

ou

$$S_{EQ} = |S_2|$$

# 10.7 Tensões de carregamentos não-ordinários

Carregamentos não-ordinários que sejam considerados significativos na composição das tensões devem ser analisados e quantificados, e o duto deve ser dimensionado para tais carregamentos. Como exemplos de carregamentos não-ordinários, citam-se:

- a) tensões de cargas cíclicas (vórtices de vento e vórtices de correnteza em rios);
- b) tensões de recalques diferenciais;
- c) tensões de empuxo do meio líquido (dutos submersos).

# 10.8 Tensões residuais

São tensões que podem se acumular em determinados pontos da tubulação, devido ao processo construtivo ou gerado pelos esforços induzidos na instalação do duto.

- a) tensões residuais devidas ao curvamento natural;
- b) tensões residuais de soldagem.

# 10.9 Tensões localizadas

São tensões que se caracterizam por serem pontuais e de alto valor, podendo resultar em deformações permanentes na parede tubular, tais como as tensões induzidas na zona de contato do tubo com o suporte.

# 11 Projeto de suportes

# 11.1 Geral

- 11.1.1 Esta seção estabelece critérios para o projeto de suportes, incluindo a definição do tipo e da sua localização.
- **11.1.2** Os suportes devem ser projetados (dimensionados e espaçados) de forma a impedirem a ocorrência de tensões, flechas e vibrações excessivas nas tubulações, assim como de forças e momentos elevados nos bocais de equipamentos e vasos.

- 11.1.3 As tubulações aéreas devem ser suportadas de forma que:
- a) as tensões longitudinais de flexão de peso próprio fiquem limitadas por 4.6.2;
- as tensões longitudinais oriundas da combinação dos carregamentos de pressão, temperatura, peso próprio, outras cargas de ação permanente e cargas ocasionais fiquem limitadas por 4.8.1.3;
- c) não ocorram flechas maiores do que 25 mm.
- **11.1.4** Os suportes devem ser instalados de forma a não impedirem o livre movimento da tubulação, exceto, naturalmente, nos casos em que este movimento for desejável (batentes e ancoragens).
- **11.1.5** Suportes de mola somente devem ser empregados nos casos em que for necessário manter o deslocamento, ou a reação de apoio, dentro de limites preestabelecidos.
- **11.1.6** Para apoio e restrição em trechos aéreos, existem quatro tipos de suportes, classificados conforme sua principal finalidade, a saber:
- a) suporte simples concebido para apenas sustentar o peso da tubulação;
- b) suporte de guia para sustentar o peso e dirigir seletivamente o deslocamento da tubulação;
- c) suporte de batente para sustentar o peso da tubulação e limitar seu deslocamento;
- d) suporte de ancoragem para imobilizar a tubulação, reagindo ao peso e a todas as outras forças que agem na tubulação.
- **11.1.7** Os requisitos para o dimensionamento dos componentes metálicos do suporte e da solda devem ser os mesmos da prática estrutural.
- **11.1.8** Suportes, principalmente os de concreto que não necessitem funcionar como ancoragens, não devem impedir o movimento relativo com a tubulação.

# 11.2 Materiais

Todos os suportes devem ser resistentes à corrosão ou providos de sistema de proteção anticorrosiva para uma vida útil igual à do sistema de tubulação ao qual devem servir.

# 11.3 Esforços

- **11.3.1** Os suportes devem ser projetados para a situação mais crítica dos carregamentos transmitidos pela tubulação, segundo a combinação das cargas operacionais e ambientais.
- 11.3.2 A força de atrito nos suportes deve ser considerada como agindo em ambos os sentidos do deslocamento.
- **11.3.3** O cálculo dos esforços (forças e momentos) nos suportes, decorrentes da variação de temperatura na tubulação, deve ser baseado no maior dos seguintes diferenciais de temperatura:
- a) temperatura de montagem e máxima de operação;
- b) temperatura de montagem e mínima de operação.
- 11.3.4 Os suportes de ancoragem devem reagir à força de pressão interna, adicionalmente às forças térmicas.
- **11.3.5** Os suportes de batente devem reagir às forças térmicas e à força de pressão interna correspondentes à magnitude do deslocamento impedido pelo batente. Estas forças estão associadas à deformação longitudinal, por compressão, da tubulação.

- **11.3.6** Nos trechos aéreos onde forem usadas juntas de expansão, as ancoragens (entre as quais as juntas são instaladas) devem ser capazes de equilibrar, além das forças de pressão interna e de variação térmica, a força para comprimir (ou distender) as juntas, considerando a deflexão de projeto.
- **11.3.7** As tubulações enterradas são apoiadas no próprio solo; entretanto, em trechos sujeitos a recalques, podem ser necessários suportes estaqueados.
- **11.3.8** Os suportes devem ser projetados de forma que a distribuição de carga na zona de apoio seja a mais baixa e uniforme possível, a fim de não causar tensões localizadas excessivas na parede tubular. O berço é a opção mais indicada para esta finalidade.
- **11.3.9** Os suportes devem ter a estabilidade e resistência calculadas como se as tubulações estivessem cheias com água. Para tubulações que transportam fluidos de densidade superior à unidade, a massa do produto transportado deve substituir a da água, no cômputo do peso da tubulação.

#### 11.4 Ligação de elementos estruturais para suportes de restrição

- **11.4.1** Se a tubulação operar com tensão circunferencial de projeto inferior a 50 % da tensão mínima de escoamento especificada do material da tubulação (*SMYS*), os elementos estruturais para restrição podem ser soldados diretamente no tubo.
- **11.4.2** Se a tubulação operar com tensão circunferencial de projeto igual ou superior a 50 % da tensão mínima de escoamento especificada, os elementos estruturais devem ser conectados ou soldados a um anel cilíndrico, e este montado sobre o duto com envolvimento total; o anel deve ter suas extremidades soldadas ao duto com cordão de solda contínuo. Quando os esforços forem elevados, deve-se prever a possibilidade de fadiga e concentração de tensões nos pontos de ligação do anel com o duto.
- **11.4.3** O anel de reforço pode ser dispensado substituindo-se o tubo onde os elementos estruturais estão localizados por outro de maior espessura, de forma a manter a tensão circunferencial abaixo dos 50 % da tensão mínima de escoamento. Admite-se a substituição por tubo de menor espessura, desde que compensado por um material de maior tensão de escoamento, quando não houver comprometimento da soldabilidade nem risco de deformação localizada.

# 11.5 Estabilidade para tubos enterrados

- **11.5.1** As mudanças de direção (curvas) em trechos enterrados, sujeitos à variação de temperatura, geram forças compressivas no solo, além de causar tensões elevadas no próprio tubo. Em casos onde as tensões possam ultrapassar os limites admissíveis, tanto do solo como do tubo, deve ser avaliada a utilização de ancoragem.
- **11.5.2** A reação de atrito entre o tubo e o solo proporciona considerável restrição ao movimento axial e deve sempre ser considerada nos cálculos de forças e deslocamentos.
- **11.5.3** A capacidade de suporte proporcionado pelo solo deve levar em consideração sua característica de resposta às cargas impostas.
- **11.5.4** Quando numa curva, a combinação das tensões térmicas com as tensões de pressão interna ultrapassar o limite admissível, deve-se considerar as seguintes alternativas mitigadoras:
- a) aumento do raio de curvatura da curva;
- b) substituição do solo por outro que melhor atenda às condições de compactação e rigidez;
- c) construção de uma barreira de sacos de solo-cimento na zona de contato da curva com as paredes da vala.
- **11.5.5** Um trecho retilíneo longo e enterrado, quando sujeito a um diferencial térmico, pode sofrer um considerável deslocamento no ponto de afloramento. Caso o trecho aéreo que dá continuidade ao trecho enterrado não tenha flexibilidade para absorver este deslocamento, deve-se prever a instalação de um suporte de ancoragem nesta zona de transição, preferencialmente locado no trecho enterrado.

**11.5.6** Em trechos retos de tubulação, altamente comprimidos por forças de dilatação térmica, é necessário que o solo proporcione um suporte contínuo e com rigidez suficiente, evitando possíveis deslocamentos laterais da tubulação que acarretem tensões de flexão adicionais.

# 12 Corrosão

# 12.1 Proteção contra corrosão externa

A proteção contra a corrosão externa deve ser assegurada com a aplicação de um revestimento anticorrosivo, suplementado por um sistema de proteção catódica.

# 12.2 Sistema de proteção catódica

Os projetos de sistema de proteção catódica, incluindo-se os levantamentos de dados de campo necessários, devem atender à ISO 15589-1.

# 12.3 Revestimento externo anticorrosivo

- 12.3.1 A seleção do revestimento externo anticorrosivo deve considerar os seguintes parâmetros:
- a) resistividade elétrica do solo;
- b) permeabilidade da umidade relacionada com a temperatura;
- c) aderência requerida entre o revestimento e a superfície do tubo;
- d) resistência requerida para suportar forças de cisalhamento entre o revestimento e um revestimento adicional;
- e) adequação ao meio ambiente;
- f) suscetibilidade ao descolamento catódico;
- g) resistência ao envelhecimento, ao impacto e às trincas;
- h) requisitos para reparo;
- i) possíveis efeitos prejudiciais no material do tubo;
- j) resistência a danos durante manuseio, transporte, estocagem, montagem e operação;
- k) adequação à temperatura de projeto do duto.
- 12.3.2 O revestimento externo anticorrosivo a ser aplicado em planta deve atender às seguintes normas:
- a) polietileno de tripla camada: ABNT NBR 15221-1;
- b) polipropileno de tripla camada: ABNT NBR 15221-2;
- c) epóxi em pó: ABNT NBR 15221-3.
- **12.3.3** As juntas de campo devem ser protegidas com um revestimento que seja compatível com o revestimento do tubo e que possa ser aplicado satisfatoriamente nas condições previstas de campo.
- **12.3.4** Tubos com isolamento térmico devem ter um revestimento externo anticorrosivo entre o tubo e o isolamento, com espessura de película seca conforme ABNT NBR 15221-3.

# 12.4 Controle da corrosão interna

- **12.4.1** O duto deve possuir um sistema para determinação da taxa de corrosão interna, preferencialmente por provadores de corrosão do tipo cupom de perda de massa e sonda de resistência elétrica.
- **12.4.2** Em cada ponto de monitoração devem ser instaladas duas tomadas de acesso, uma para cupom de corrosão e outra para sonda de resistência elétrica com espaçamento mínimo de 500 mm.
- 1124,3dade quantidenações, localização udante ordoan da conocidoração da vena con combinacida crisolos requisitos de
- **12.4.4** A localização dos pontos de monitoração deve atender aos seguintes critérios:
- a) trecho horizontal na geratriz inferior (posição 6 h), segundo a ordem de prioridade abaixo:
  - 1. local onde já ocorreu falha por corrosão interna em duto existente, na mesma faixa;
  - 2. trecho de baixa espessura;
  - 3. trecho sujeito à separação ou estagnação de água;
  - 4. jusante de pontos de injeção de inibidores de corrosão;
  - 5. trecho onde houver fluxo multifásico;
- b) adotar a NACE RP 07 75 em relação aos pontos baixos;
- c) utilizar histórico de um duto similar na mesma faixa.
- 12.4.5 Os provadores de corrosão localizados em trechos de passagem de pigs devem ser do tipo tangencial.
- **12.4.6** A instalação para acesso aos provadores deve ser projetada com afastamento mínimo de 2 m entre a geratriz inferior do tubo e o piso da instalação e com afastamento mínimo de 1 m entre cada lateral do tubo e a parede da instalação.

# 12.5 Inibidor de corrosão

A seleção do inibidor de corrosão deve atender aos seguintes requisitos técnicos:

- a) compatibilidade com o meio: processo e outros produtos químicos;
- b) compatibilidade com os materiais existentes na instalação;
- eficiência de proteção: controle da corrosividade, limitações quanto ao fluxo, partição do inibidor nas fases hidrocarboneto e aquosa;
- d) meio ambiente: toxicidade (manuseio e descarte).

Impresso por: PETROBRAS

# Anexo A

(normativo)

# Termos e definições

Para os efeitos desta parte da ABNT NBR 15280, aplicam-se os seguintes termos e definições.

#### A.1

# acionamento rápido

operação de abertura ou fechamento de um tampão de câmara de lançador ou recebedor de *pigs* por um único operador, no tempo aproximado de 1 min, sem a utilização de dispositivos não pertencentes ao tampão

#### **A.2**

# alta pressão de vapor (APV)

pressão de vapor igual ou superior a 1,1 bar abs (1,12 kgf/cm²) a 38 °C. Um produto de APV pode estar no estado líquido durante o processo de transferência (por exemplo, GNL, GLP e eteno)

# **A.3**

# amônia anidra líquida

composto formado pela combinação de hidrogênio e nitrogênio, no estado gasoso, na proporção de uma parte de  $N_2$  para três partes de  $H_2$ , em volume, comprimido ou refrigerado, para ser transportado no estado líquido

# A.4 anel de reforço

peça feita de chapa de aço, em forma de coroa circular, usada para reforço estrutural da boca-de-lobo em uma derivação; também denominado colarinho de reforço

# **A.5**

# baixa pressão de vapor (BPV)

pressão de vapor igual ou inferior a 1,1 bar abs (1,12 kgf/cm²) a 38 °C. Um produto de BPV deve estar no estado líquido durante o processo de transferência (por exemplo, petróleo e gasolina)

# **A.6**

# boca-de-lobo

abertura no duto ou tubulação para soldagem direta de uma derivação (ramal), com ou sem chapa de reforço e sem o uso de acessórios

# Δ7

# carga de ação permanente

caage വെയുക്കുറ്റ്വേഹ്തെയായുടെ straits മുറുനാരുടെ destruction വെയുന്നു വേയുന്നു വേയുന്നുന്നു വേയുന്നു വേയുന്നു

# Δ 8

# Carga ocasional

Carga de ocorrência esperada, no sentido probabilístico, que atua no duto durante parte, significativa ou não, de sua vida útil. O caso mais comum de carga ocasional é a força de vento

# A.9

# cavalote

trecho de duto pré-fabricado, geralmente contendo curvas verticais conformadas a frio, utilizado freqüentemente em travessias enterradas de rios; por extensão, denomina-se cavalote qualquer coluna pré-fabricada para uso em travessias, mesmo na inexistência de curvas verticais a frio

#### cobertura

distância, medida perpendicularmente ao tubo enterrado, entre a geratriz superior e o nível acabado do terreno

#### A.11

#### colapso

dano no duto caracterizado pela perda acentuada da forma circular da seção transversal, causada pela atuação isolada da pressão externa hidrostática

# A.12

## coluna

conjunto de dois ou mais tubos soldados; também denominada tramo

#### A 13

# componentes de tubulação

elementos mecânicos tais como: válvulas, flanges, conexões, parafusos e juntas. Os tubos não são considerados componentes

#### A.14

#### conexão extrudada

conexão obtida por estampagem, a partir do tubo que será utilizado como tronco. No processo de formação desta peça, o furo do tronco para ligação ao ramal é extrudado, de forma que o lábio do furo atinge uma altura da superfície do tronco igual ou superior ao raio de curvatura do contorno externo da conexão

#### A.15

#### cruzamento

passagem de duto por rodovias, ferrovias, ruas e avenidas, linhas de transmissão, cabos de fibra ótica, outros dutos e instalações subterrâneas

## A.16

# cupom de corrosão

corpo-de-prova imerso no meio corrosivo e destinado à verificação do comportamento do material construtivo em relação ao meio exposto, por meio da avaliação qualitativa (mecanismo) e quantitativa (taxas de corrosão) do processo corrosivo que no corpo-de-prova vier a se estabelecer

# A.17

# curva em gomos

mudança de direção na tubulação, obtida pela união de topo de dois ou mais tubos retos, fazendo entre si ângulos de pequena amplitude, cujo somatório resulta na deflexão angular total pretendida

# A.18

# curvamento natural

ប្រវត្តិត្រូវ ខ្លាំ ប្រជាព្រះ នៅ ប្រជាព្រះ បាន de curvamento do tramo, durante sua instalação na vala, sem que ocorra uma

# A.19

# diâmetro externo

diâmetro externo do tubo ou do componente, especificado na sua norma de fabricação

# A.20

# diâmetro nominal (DN)

número que expressa uma dimensão diametral padronizada para tubos e componentes, não correspondendo necessariamente aos seus diâmetros interno ou externo

# A.21

# diretriz

linha de centro de uma faixa de dutos que indica a direção e desenvolvimento desta

#### duto

designação genérica de instalação constituída por tubos ligados entre si, incluindo os componentes, destinada ao transporte ou transferência de fluidos, entre as fronteiras de unidades operacionais geograficamente distintas

#### Δ 23

# ensaio de estanqueidade

ensaio de pressão com água, em níveis de pressão inferiores aos utilizados no ensaio de resistência mecânica, para demonstrar que um trecho de tubulação não apresenta vazamentos

#### A 24

#### ensaio de resistência mecânica

ensaio de pressão com água para demonstrar que um trecho de tubulação possui resistência mecânica compatível com suas especificações ou suas condições operacionais

#### A.25

# espessura nominal

espessura de parede prevista na especificação ou norma dimensional do tubo ou do componente de tubulação

#### A.26

#### estabilização de duto

cálculos e práticas construtivas destinados a garantir a estabilidade do duto, quando imerso em meio líquido, durante e após sua instalação

#### **A.27**

## faixa de dutos ou faixa

área de terreno de largura definida, ao longo da diretriz dos dutos, legalmente destinada à construção, montagem, operação, inspeção e manutenção dos dutos

#### A.28

# faixa reservada

faixa de terreno, dentro da área de uma planta de processamento, destinada exclusivamente à passagem de dutos e definida como tal no plano diretor da planta

#### A.29

# lambagem

instabilidade, por deflexão lateral, de um trecho reto de tubulação sob a ação de uma carga axial compressiva

# A.30

# gás liqüefeito de petróleo

derivado de petróleo, transportado pressurizado na fase líquida, composto predominantemente por butano, buteno, propano, propeno, etano, eteno e outros hidrocarbonetos em menores proporções

# A.31

# grau de curvatura

desvio angular, por unidade de comprimento, do eixo do tubo curvado

# A.32

# inibidor de corrosão

substância química que, quando adicionada em concentração e forma apropriada ao meio corrosivo, previne ou reduz a corrosão

# A.33

# interferência

instalação, aérea ou subterrânea, localizada na passagem do duto em implantação. No duto existente, é qualquer obra ou serviço a ser executado sobre a faixa

## interferência paralela

faixa de domínio de estrada, rodovia, ferrovia ou rede elétrica que segue próxima e paralela a um trecho de duto

#### A.35

#### iaqueta de concreto

revestimento de concreto aplicado ao duto com a finalidade de conferir peso adicional para estabilização à flutuação ou proteção mecânica contra ações externas

# A.36

# lançador ou recebedor de pigs

Instalação para lançamento ou recebimento de pig

# A.37

#### mossa

depressão na superfície de um tubo caracterizada pela alteração na sua curvatura, sem apresentar perda de material ou redução de espessura de parede

#### A.38

# ovalização

perda da circularidade da seção transversal de um tubo, medida em valor percentual

#### A.39

#### pig

denominação genérica dos dispositivos que são passados internamente aos dutos, impulsionados pelo fluido transportado, podendo ser de vários tipos, tais como separador, raspador, calibrador, limpeza, remoção de líquidos e inspeção de corrosão ou geométrica

#### A 40

## pressão de ensaio hidrostático

pressão aplicada no ponto de ensaio, que submete o ponto de maior elevação de um trecho de duto à pressão mínima estabelecida nesta Norma

#### A.41

# pressão de projeto

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

# A.42

# pressão externa de projeto

pressão da coluna hidrostática de água para duto instalado em travessia, correspondendo à altura da lâmina d'água na cheia. Em tubulações aéreas quando sujeitas a pressão interna abaixo da atmosférica, a pressão externa de projeto a ser considerada é a atmosférica

# 

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)

# A.44

# pressão máxima de operação admissível (PMOA)

máxima pressão na qual um duto pode ser operado em concordância com a norma adotada para seu projeto e construção, em função da pressão de projeto, do valor obtido após ensaio hidrostático ou definida por verificação da integridade estrutural ou alteração de classe de pressão dos acessórios instalados. Esta pressão deve estar compreendida entre a PMO e a pressão de projeto (ver Figura A.1)

# A.45

# pré-tensionamento a frio

artifício construtivo que consiste na introdução controlada de uma pré-deformação na tubulação, de forma a reduzir as forças térmicas geradas durante a operação da tubulação

#### sistema de duto

sistema que compreende dutos, ramais e todas as instalações associadas, tais como: tubulações em terminais, estações, píeres, lançadores e recebedores de *pigs* 

#### Δ 47

# soldagem de topo em fornalha (furnace butt welding)

processo de soldagem de tubo produzindo tramos individuais ou contínuos, a partir de bobinas tendo a junta longitudinal de topo soldada por forjamento com pressão mecânica

#### **A 48**

# soldagem por arco submerso (submerged arc welding)

processo de soldagem de tubo por arco elétrico, no qual a coalescência é produzida pelo aquecimento de um arco (ou arcos), aberto(s) entre o metal de um eletrodo (ou eletrodos) sem revestimento, e a peça. A soldagem é protegida por um material granular, fusível sobre a peça. Não é usada pressão, e o material de adição é obtido de um eletrodo ou, por vezes, de um arame de soldagem suplementar

#### Δ 49

# soldagem por fusão elétrica (electric fusion welding)

processo de soldagem nos quais a coalescência é produzida por aquecimento com arco(s) elétrico(s), com ou sem aplicação de pressão e com ou sem o uso de material de deposição

#### A.50

# soldagem por indução elétrica (electric induction welding)

processo de soldagem nos quais a coalescência é produzida pelo calor gerado pela indução elétrica do tubo a uma corrente indutiva e pela aplicação de pressão

#### A 51

# soldagem por resistência elétrica (electric resistance welding

processo de soldagem nos quais a coalescência é produzida pelo calor gerado pela resistência elétrica do tubo a uma corrente indutiva e pela aplicação de pressão

#### Δ 52

# sonda de resistência elétrica

instrumento que mede as taxas de corrosão por meio da variação de resistência elétrica da seção de um elemento metálico quando há redução das dimensões desta seção, devido à perda de massa pelo ataque do meio onde o sensor está instalado. Esta variação de resistência é comparada com uma referência interna fixa, possibilitando a determinação das taxas de corrosão

# A.53

# taxa de corrosão

velocidade do processo corrosivo, que pode ser expressa por perda de massa por unidade de tempo ou perda de espessura por unidade de tempo, cujo valor permite avaliar a agressividade do meio corrosivo

# A 54

# temperatura ambiente

temperatura do ar, tomada nas proximidades de um trecho do duto, ou nas proximidades de um equipamento

# A 55

# temperatura de montagem

temperatura de metal do trecho do duto quando ocorre sua restrição. No caso de trecho enterrado, a restrição ocorre quando a vala é coberta, aumentando a capacidade do aterro de reagir ao deslocamento longitudinal; no caso de trecho aéreo, a restrição ocorre quando são executadas as soldas que deixam rígido o conjunto tubular

# A.56

# temperatura de metal

temperatura do duto, tomada como a média entre as temperaturas das superfícies exterior e interior da parede tubular. É a temperatura de referência utilizada no projeto para fins de cálculo de flexibilidade, análise das tensões e cálculo de reações em suportes e restrições

## temperatura de projeto

temperatura adotada para o dimensionamento mecânico do tubo e demais componentes de tubulação

#### A.58

#### temperatura de operação

maior ou menor temperatura que pode ocorrer no produto transportado durante um ciclo normal de operação

#### A.59

# tensão circunferencial

tensão normal na seção longitudinal ao tubo, provocada pela pressão interna, sendo considerada uniformemente distribuída ao longo da espessura de parede

## A.60

# tensão de escoamento

tensão na qual o material apresenta o início de uma deformação permanente quando submetido ao ensaio de tração; é também, para alguns materiais, a tensão que no diagrama tensão-deformação corresponde a uma deformação especificada

#### A.61

# tensão mínima de escoamento especificada (SMYS)

tensão de escoamento mínima prescrita pela norma sob a qual o tubo é fabricado, sendo obtida por meio de ensaios padronizados que representa um valor probabilístico

#### A.62

#### travessia

passagem do duto através de rios, lagos, açudes, canais e áreas permanente ou eventualmente alagadas, ou por onde a passagem do duto é necessariamente aérea

#### A.63

# tubo-camisa

tubo de aço no interior do qual um trecho de duto é instalado, garantindo proteção mecânica nos cruzamentos e possibilitando a substituição do trecho sem necessidade de abertura de vala

# A.64

# tubulação

conduto fechado que se diferencia de duto pelo fato de movimentar ou transferir fluido sob pressão dentro dos limites de uma planta industrial ou instalação de produção ou armazenamento de petróleo e seus derivados

# A 65

# tubulação não restringida

tubulação que possui ampla liberdade de deslocamento (por exemplo, tubulação aérea)

# A.66

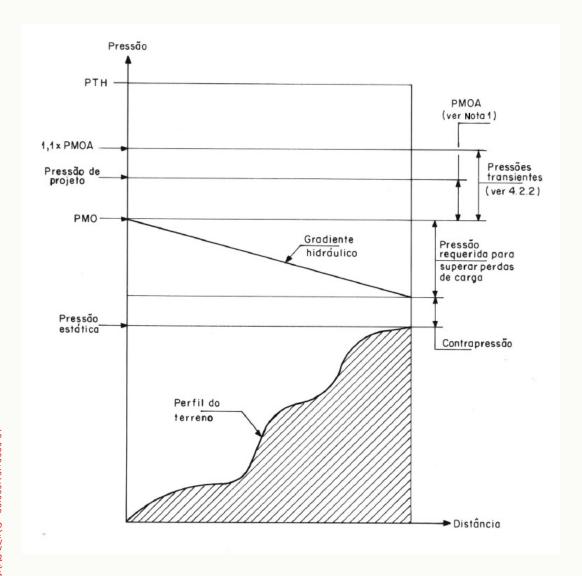
# tubulação restringida

tubulação que possui pouca ou nenhuma liberdade de deslocamento (por exemplo, tubulação enterrada)

# A.67

# vida útil

período de tempo usado nos cálculos de projeto, escolhido com o propósito de verificar se um tubo ou componente de tubulação está apto para trabalhar durante este período de tempo, respondendo satisfatoriamente aos requisitos de projeto



NOTA1 A PMOA pode variar entre a PMO e a pressão de projeto, dependendo da pressão de ensaio hidrostático (PTH), das condições estruturais (atuais) do duto e das pressões admissíveis dos elementos de tubulação nele instalados.

NOTA 2 Esta representação esquemática é restrita a duto, ou trechos deste, constituídos de tubos de mesma espessura e de mesmo material.

Figura A.1 – Representação esquemática das pressões em dutos

# **Anexo B** (informativo)

# Fatores de conversão

**B.1** Para converter um valor expresso numa unidade da primeira coluna da Tabela B.1, num valor expresso numa unidade da segunda coluna, multiplicá-lo pela constante da terceira coluna.

Tabela B.1 — Fatores de conversão

Comprimento		
pol.	m	2,540000 x 10 <sup>-2</sup>
pé	m	3,048000 x 10 <sup>-1</sup>
milha	m	1,609344 x 10 <sup>3</sup>
Área		
pol <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	6,451600 x 10 <sup>-4</sup>
pé <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	9,290304 x 10 <sup>-2</sup>
Volume		
pol <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	1,638706 x 10
pé3	m3	-2 2,831685 x 10
Diferencial de temperatura		·
°F (Fahrenheit)	°C	5,555556 x 10 <sup>-1</sup>
°C (Celsius)	°K	1,000000 x 10 <sup>0</sup>
°F (Fahrenheit)	°K	5,555556 x 10 <sup>-1</sup>
°R (Rankine)	°K	5,55556 x 10 <sup>-1</sup>
Ângulo plano		
grau (°)	radiano (rad)	1,745329 x 10 <sup>-2</sup>
Força		
kgf	N	9,806650 x 10 <sup>0</sup>
lbf	N	4,448222 x 10 <sup>0</sup>
Momento (ou torque)		
kgf . m	N . m	9,806650 x 10 <sup>0</sup>
Lbf . in	N . m	-1 1,129848 x 10
Pressão (ou tensão)	14.111	·
kgf/cm <sup>2</sup>	kPa	9,806650 x 10 <sup>1</sup>
kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	9,806650 x 10 <sup>-2</sup>
lb/in <sup>2</sup>	kPa	6,894757 x 10 <sup>0</sup>
lb/in <sup>2</sup>	MPa	6,894757 x 10 <sup>-3</sup>
bar	kPa	1,000000 x 10 <sup>2</sup>
bária	kPa	1,000000 x 10 <sup>-4</sup>
atm	kPa	1,013250 x 10 <sup>2</sup>

Tabela B.1 (continuação)

Energia		
Btu	J	1,055056 x 10 <sup>3</sup>
cal	J	4,186800 x 10 <sup>0</sup>
lbf.ft	J	1,355818 x 10 <sup>0</sup>
Potência		
hp	W	2
cv	W	7,457000 x 10 <sub>2</sub> 7,354990 x 10

**B.2** Para converter um valor expresso numa das unidades de escala termométrica da primeira coluna da Tabela B.2, num valor expresso numa das unidades da segunda coluna, utilizar a fórmula correspondente da terceira coluna.

Tabela B.2 — Fatores de conversão

°F	°C	5 (°F - 32)/9
°C	°K	°C + 273,15
°F	°K	5 (°F - 32)/9 + 273,15
°R	°K	5 (°R)/9

- **B.3** A Tabela B.1 apresenta fatores de conversão para algumas grandezas expressas nas unidades dos sistemas inglês, físico (c.g.s) e técnico (m.kgf.s), para o Sistema Internacional (SI).
- **B.3.1** O sistema legal de unidades no Brasil é o Sistema Internacional cujas principais grandezas, fundamentais e derivadas, relativas à mecânica, com respectivas unidades, são:
- a) comprimento metro (m);
- b) massa quilograma (kg);
- c) tempo segundo (s);
- d) temperatura Kelvin (K);
- e) ângulo plano radiano (rad);
- f) força Newton (N);
- g) pressão Pascal (Pa);
- h) energia Joule (J);
- i) potência Watt (W).
- **B.3.2** Os fatores de conversão são apresentados em notação científica, ou seja, por um número real de 1 a 9 (inclusive) e pela potência de 10 que lhe é associada.
- **B.3.3** Para uma lista completa dos fatores de conversão, deve ser consultada a ABNT NBR 12230.

# Anexo C (informativo)

# Regras para projeto de derivações tubulares soldadas

# C.1 Geral

- **C.1.1** O reforço requerido a ser aplicado no tronco deve ser estabelecido pela "regra da equivalência de área". Esta regra determina que a área do reforço requerido na derivação deve ser igual ou superior à área correspondente ao furo feito no tronco para inserção do ramal.
- **C.1.2** A área de reforço requerido é definida em C.2. Quando a parede do tubo incluir uma sobreespessura para corrosão, esta deve ser descontada da espessura nominal de parede dos tubos do ramal e do tronco, para cálculo de A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>.
- **C.1.3** A área de metal para reforço da derivação deve ser a soma das seguintes áreas, todas situadas dentro dos limites da zona de reforço definida em C.1.4:
- a) área transversal remanescente no tronco, correspondente à espessura de parede excedente àquela necessária para resistir à pressão interna, considerando o disposto em C.1.2;
- área transversal remanescente no ramal, correspondente à espessura de parede excedente àquela necessária para resistir à pressão interna, considerando o disposto em C.1.2;
- c) área transversal dos cordões de solda;
- d) área transversal da chapa de reforço.
- **C.1.4** As áreas dos reforços são apresentadas na Figura C.1, onde estão os limites da zona de reforço, constituída por retângulo cujo comprimento é igual à distância "d" de cada lado da linha de centro do ramal e altura "L" igual a uma distância de 2,5 vezes a espessura de parede do tronco, medida a partir da superfície externa deste, não podendo ser superior a 2,5 vezes a espessura do ramal, medida a partir da superfície externa da chapa de reforço (caso existente).
- **C.1.5** Quando o material do ramal tiver tensão de escoamento inferior à do tronco, a área de reforço disponível no ramal deve ser calculada com uma redução proporcional à razão entre as respectivas tensões mínimas de escoamento especificadas, e só então computada como área de reforço. Nenhum crédito é dado, em termos de aumento de área de reforço, para materiais do ramal com tensão de escoamento superior à do tronco. Neste caso,

ránce deve ser calculada como se o material do ramal tivesse a mesma tensão de escoamento do material do

- **C.1.6** O material da chapa de reforço pode ter tensão de escoamento inferior à do material do tronco, desde que sua área de reforço seja calculada com uma redução proporcional à razão entre as respectivas tensões de escoamento, e só então computada como área de reforço. O material da chapa de reforço com tensão de escoamento superior à do material do tronco deve ser considerado, no cálculo do reforço, como tendo a mesma tensão de escoamento do tronco. O material da chapa de reforço deve ser compatível com os materiais dos tubos, com respeito à soldabilidade, tratamento térmico, corrosão galvânica e expansão térmica.
- **C.1.7** Quando os coxins ou as selas usados para o reforço cobrirem as soldas entre o ramal e o tronco, deve-se prever um pequeno furo na luva ou na sela para que haja a purga do gás de soldagem, purga do ar numa eventual operação de tratamento térmico da conexão, ou permitir a indicação de vazamento durante o ensaio hidrostático. Estes furos devem ser tamponados posteriormente ao ensaio de pressão da conexão, ou do sistema de tubulação, para evitar a corrosão na fresta, entre o duto e a chapa de reforço. Entretanto, não se pode usar um material de tamponamento que seja capaz de conter a pressão do fluido dentro da fresta.

- **C.1.8** A utilização de chapas de nervura não pode ser considerada como contribuinte para o reforço da conexão. No entanto, o uso de chapas de nervura não é proibido para propósitos outros que não os de reforço para pressão, tais como os de enrijecimento local. Deve-se atentar para o fato de que nas extremidades destes elementos estruturais há estados de tensões concentradas que podem anular o efeito do enrijecimento.
- **C.1.9** O ramal deve ser ligado por solda em toda a profundidade da parede do ramal, ou do tronco; o cordão de solda deve se estender por um comprimento W<sub>1</sub>, conforme mostrado nas Figuras C.2 e C.3. O uso de cordão de solda côncavo é preferível, pois minimiza a concentração de tensões na junção do ramal com o tronco conforme mostra a Figura C.4. A chapa de reforço deve ser ligada por solda aos tubos do tronco e do ramal, em toda a sua extensão; o cordão de solda deve se estender por um comprimento W<sub>2</sub> e W<sub>3</sub>, conforme mostrado na Figura C.3. O reforço com coxim ou sela deve ser feito conforme a Figura C.3.
- C.1.10 Quando a espessura da chapa de reforço é superior à espessura de parede do tronco, suas extremidades devem ser chanfradas a 45º para concordar com a extremidade do cordão de solda.
- **C.1.11** Luvas, selas e coxins de reforço devem ser perfeitamente ajustados às partes às quais devem ser soldados. As Figuras C.3 e C.5 ilustram algumas formas de reforço.
- **C.1.12** O exame e o eventual reparo das soldas entre o ramal e o tronco devem ser feitos antes da montagem dos reforços.
- C.1.13 Para um tronco com costura, recomenda-se que a solda longitudinal não seja interceptada pelo ramal.
- **C.1.14** As derivações com ramais formando ângulos inferiores a  $90^{\circ}$  com o tronco tornam-se progressivamente mais fracas à medida que o ângulo diminui. Deve ser previsto um reforço para este tipo de derivação, adotando o coeficiente de segurança (2 sen  $\beta$ ), a fim de majorar a área requerida para reforço (A).
- C.1.15 Consultar norma de fabricação dos tubos utilizados nas derivações soldadas para a obtenção da tensão mínima de escoamento especificada.

# C.2 Regras para o reforço de derivações tubulares soldadas (ver Figura C.1)

- C.2.1 Esta seção apresenta de modo compreensível, através de fórmulas, os requisitos gerais descritos em C.1.
- **C.2.2** A área de reforço requerida para  $85^{\circ} \le \beta \le 90^{\circ}$  é calculada de acordo com:

$$A_{req} = d \times e_d$$

- NOTA 1 Para o dimensionamento preconizado neste Anexo, d é o diâmetro do furo para fins de cálculo de reforço e não deve ser confundido com o diâmetro interno do ramal.
- NOTA 2 A espessura do tronco para resistir à pressão interna é calculada por:  $e_d = \frac{P \times DT}{2Sy_T \times F}$
- NOTA 3 A área de reforço requerida para  $\beta$  < 85° é calculada de acordo com:

$$A_{req} = d \times e_d (2 - sen \beta)$$

- NOTA 4 A espessura do ramal para resistir à pressão interna é calculada por:  $e_r = \frac{P \times DR}{2Sy_R \times F}$
- C.2.3 O diâmetro do furo é calculado por:

$$d = \frac{DR - 2(e_R - c)}{\text{sen}\beta}$$
, para encaixe tipo "não penetrante";

$$d = \frac{DR}{sen\beta}$$
, para encaixe tipo "penetrante";

C.2.4 A área disponível, qualquer que seja o ângulo para reforço, é calculada pela equação:

$$A_{disp} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_1 = d \times \left(e_D - e_d - c\right)$$

$$A_2 = 2L(e_R - e_r - c) \frac{1}{\operatorname{sen}\beta} \left( \frac{\operatorname{Sy}_R}{\operatorname{Sy}_D} \right)$$

onde

é o menor valor entre  $2,5(e_D-c)$  e  $2,5(e_R-c)+M$ ;

A<sub>3</sub> é a área total das seções transversais dos cordões de solda.

$$A_3 = W_1^2 + W_2^2$$

$$A_{_{4}} = (Q - DR) \times M \times \left(\frac{Sy_{C}}{Sy^{D}}\right)$$

onde

$$Q = 2 \times (d - W_2)$$

C.2.5 A condição de resistência é verificada através de:

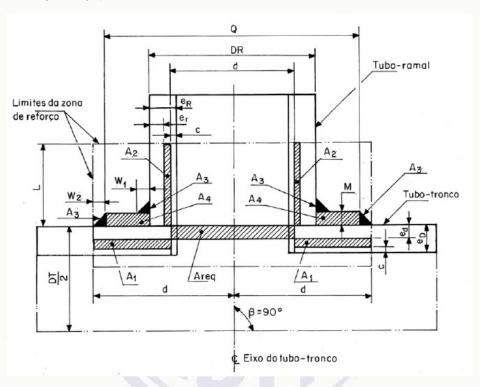
$$A_{disp} \ge A_{req}$$

# C.2.6 Requisitos especiais

Além dos requisitos gerais, apresentados em C.1.1 a C.1.15, as derivações devem preencher os requisitos especiais de que trata a Tabela C.1.

- C.3 Derivações múltiplas
   C.3.1 Quando duas ou mais derivações estão separadas entre si por uma distância entre centros inferior à soma de seus diâmetros internos (de modo que as zonas de reforço se superpõem), essas derivações devem ser reforçadas de acordo com C.1. A área do reforço combinado deve ser pelo menos igual à soma das áreas requeridas por cada uma das derivações consideradas separadamente. Em nenhum caso, uma seção reta (do ramal ou do tronco) pode ser considerada pertencente a mais de uma derivação ou ser avaliada mais de uma vez.
- C.3.2 Quando mais de duas derivações estiverem numa situação que requeiram um reforço combinado, a distância mínima entre centros de quaisquer duas dessas derivações deve ser a média de seus diâmetros externos. A área de reforço entre as derivações deve ser ao menos igual a 50 % da área total requerida para as duas derivações na seção reta considerada.
- C.3.3 Quando a distância entre centros de quaisquer das duas derivações é inferior a uma vez a média de seus diâmetros externos (conforme visto em C.3.2), não deve ser considerada a contribuição de nenhuma área do material de reforço entre essas duas derivações.

C.3.4 Qualquer grupo de derivações densamente concentradas, com qualquer tipo de arranjo, pode ser reforçado, de acordo com C.1, considerando-se todas as derivações como uma única, cujo diâmetro envolva todas as outras derivações do grupo.



# Legenda:

e<sub>D</sub> é a espessura nominal da parede do tronco;

e<sub>d</sub> é a espessura de parede do tronco, para resistir à pressão

 $e_{\text{R}}$  é a espessura nominal da parede do ramal;

e<sub>r</sub> é a espessura de parede do ramal, para resistir à pressão

F é o fator de projeto, conforme 4.6.1.2;

d é o diâmetro do furo para fins de cálculo de reforço no

Q é o comprimento da chapa de reforço, dentro da zona de

M é a espessura da chapa de reforço;

L é a dimensão da zona de reforço;

 $\beta$  é o menor ângulo medido entre os eixos do tronco e do ramal;

c é a sobreespessura para corrosão;

DT é diâmetro externo do tronco;

DR é o diâmetro externo do ramal;

A<sub>req</sub> é a área de reforço requerida;

Adis é a área de reforço disponível;  $A_1,\,A_2,\,A_3,\,A_4\,\,\text{são as áreas definidas em C.1.3};$ 

material do tronco;

 $W_1\,$  e  $W_2\,$ são comprimentos do cordão de solda;

Sy<sub>R</sub> é a tensão mínima de escoamento especificada do

material do ramal; Sy<sub>D</sub> é a tensão mínima de escoamento especificada do

Sy<sub>C</sub> é a tensão mínima de escoamento especificada do

material da chapa de reforço.

Figura C.2 — Corte transversal da derivação mostrando as dimensões usadas no cálculo (tipo não-penetrante)

# Tabela C.1 — Requisitos especiais

Faixa de variação	DR ×100 (%)		
$\frac{Sc}{Sy_D} \times 100 (\%)$	Menor que 25 %	De 25 % até menor que 50 %	Igual ou maior que 50 %
Menor que 25 %	а	а	b
De 25 % até menor que50 %	c, d	d	b, d
Igual ou maior que 50 %	c, e, f	f, g	f, h, i

#### onde

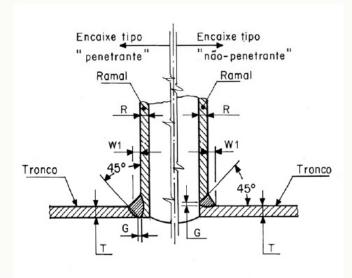
Sc é a tensão circunferencial correspondente à pressão de projeto, conforme calculada por 10.2.1;

Sy<sub>D</sub> é a tensão mínima de escoamento especificada do material do tronco;

DR é o diâmetro externo do ramal;

DT é o diâmetro externo do tronco.

- <sup>a</sup> reforço requerido apenas nos casos de pressão de operação superior a 7 kgf/cm<sup>2</sup>, tubos de parede fina ou cargas externas
- b Se for necessário reforço localizado e o diâmetro do ramal for tal que o reforço envolva mais de metade da circunferência do tronco, deve ser utilizado reforço integral ou tê forjado.
- <sup>c</sup> Não há necessidade de reforço para derivações (ramais) de DN até 2 pol.
- Utilizar reforço que satisfaça os requisitos gerais (ver C.2.1). 
  <sup>e</sup> Utilizar reforço integral, coxim ou sela.
- <sup>f</sup> As derivações com ou sem reforço devem ser executadas de acordo com as Figuras C.2, C.3, C.4 e C.5.
- <sup>9</sup> Utilizar tê forjado; na falta deste, o reforço da derivação deve ser do tipo integral, estendendo-se por toda a circunferência do tronco. São permitidos também reforços localizados dos tipos dos tipos coxim e sela.
- h Utilizar tê forjado; na falta deste, o reforço da derivação deve ser do tipo integral, estendendo-se por toda a circunferência do tronco. Coxim, sela parcial e outros tipos de reforços localizados são proibidos.
- Os cantos internos do furo acabado devem ser adoçados com um raio de curvatura de 3,2 mm. Quando o reforço integral com espessura superior ao tronco for soldado a este, as extremidades do reforço devem ser chanfradas até a espessura do tronco, para a execução de solda de filete.



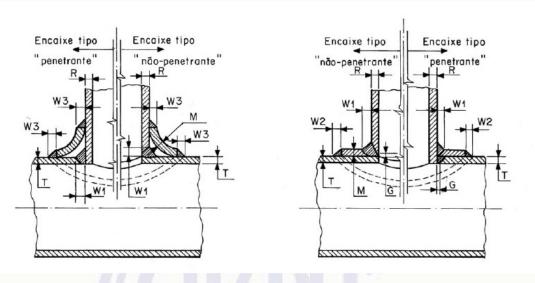
NOTA 1 Usar preferencialmente o encaixe tipo "não-penetrante"; como segunda opção, usar o encaixe tipo "penetrante".

NOTA 2 W1 = 3R/8 (mínimo), porém nunca inferior a 6,4 mm.

NOTA 3 G = 1,6 mm (mínimo), G + 3,2 mm (máximo), a menos que haja soldagem pela parte interna ou utilização do matajunta.

NOTA 4 Todas as soldas devem ter as pernas com a mesma dimensão e uma garganta teórica igual a 70 % da dimensão da perna.

Figura C.2 — Detalhes de solda para derivações sem reforço



a) Sela b) Coxim ou colar

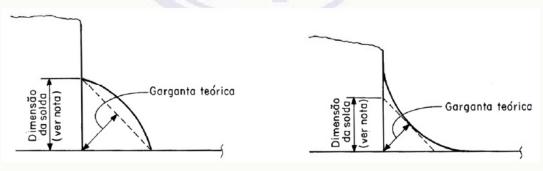
NOTA 1 Os reforços parciais sela ou coxim, quando usados, devem ser aplicados na derivação detalhada na Figura C.2.

NOTA 2 W2 = M/2 (mínimo), porém nunca inferior a 6,4 mm.

NOTA 3 W3 = M (mínimo), porém não-superior a T.

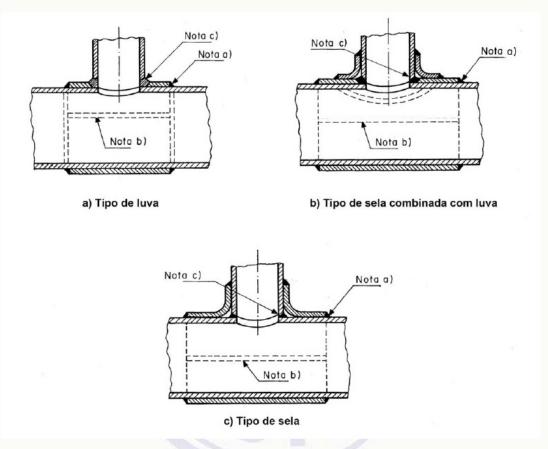
NOTA 4 Se M > T, a extremidade do reforço deve ser usinada para ficar com a espessura igual à do tronco.

Figura C.3 — Detalhes de solda para derivações com reforço parcial



NOTA A dimensão da solda em ângulo é definida pelo comprimento do lado do maior triângulo isósceles inscrito na seção transversal do filete de solda

Figura C.4 — Garganta teórica da solda



NOTA 1 A solda circunferencial (a) não necessita ter função estrutural, podendo ser apenas de vedação.

NOTA 2 A solda longitudinal (b), para fechamento do reforço integral, pode ser localizada em qualquer lugar da circunferência do tronco.

NOTA 3 Os detalhes em (c), de ligação do ramal ao tronco, nas derivações com reforço integral, foram feitos mostrando o encaixe tipo "não-penetrante".

Figura C.5 — Detalhes de solda para derivações com reforço integral

# Anexo D (informativo)

# Critérios de projeto para verificação da espessura de parede, em dutos submetidos à pressão externa

**D.1** A pressão externa de projeto deve ser calculada pela seguinte equação:

$$P_x^2 - \left[2k\sigma_y + \left(1 + \frac{f_0}{k}\right)P_{cr}\right]P_x + 2k\sigma_y P_{cr} = 0$$

Cuja menor raiz é a solução para o primeiro modo de instabilidade.

A condição de estabilidade é:

$$P_{\text{ext}} \leq \frac{P_{x}}{N}$$

onde

$$k \frac{e_x}{D}$$

$$e_x = e_{nom} (1 - \varphi)$$

$$P_{cr} = \left(\frac{2E}{1 - \mu^2}\right) k^3$$

onde

P<sub>ext</sub> é a pressão externa de projeto;

P<sub>x</sub> é a pressão crítica de colapso;

N é o coeficiente de segurança, em relação à pressão crítica de colapso;

E é o módulo de elasticidade do material do tubo;

 $e_x$  é a espessura mínima de parede do tubo para verificação da pressão de colapso;

e<sub>nom</sub> é a espessura nominal do tubo;

 $\varphi$  é a tolerância inferior de fabricação para a espessura de parede;

D é o diâmetro externo nominal do tubo;

 $\sigma_y$  é a tensão de escoamento do material do tubo;

 $\upsilon$  é a relação de Poisson para o aço;

 $f_0$  é a ovalização inicial;

 $P_{cr}$  é a pressão crítica de colapso para tubo perfeitamente circular.

NOTA 1 Utilizar SMYS como valor de  $\sigma_v$ .

NOTA 2 — A ovalização inicial  $f_0$  pode ser definida por quaisquer das expressões seguintes, todas equivalentes entre si:

$$f_0 = \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{2D} = \frac{D_{\text{max}}}{D} - 1 = 1 - \frac{D_{\text{min}}}{D}$$

onde

 $D_{max}$  é o diâmetro externo máximo do tubo ovalizado;

 $D_{min}$  é o diâmetro externo mínimo do tubo ovalizado;

D é o diâmetro externo nominal do tubo.

NOTA 3 A ovalização da seção transversal do tubo (elipsóide, normalmente com contorno muito próximo ao da circunferência), presente no produto e eventualmente amplificada por deformações plásticas decorrentes do transporte, empilhamento e manuseio inadequados dos tubos, deve ser considerada nos cálculos de colapso.

NOTA 4 Em travessias onde o duto não está continuamente assentado no leito do rio ou lago, a verificação de espessura para garantia da integridade deve ser feita por cálculos que levem em conta a flexão provocada pelo vão.

NOTA 5 O coeficiente de segurança N, aplicado à pressão crítica de colapso, para dutos continuamente assentes no leito do curso d'água ou lago, deve ser no mínimo igual a dois.

# Anexo E (informativo)

# Normas para tubos, válvulas, conexões, flanges, juntas e parafusos

# Tubos

ISO 3183/ API SPEC 5L, Specification for line pipe

ASTM A53, Standard specification for pipe, steel, black & hot-dipped, zinc-coated welded & seamless

ASTM A106, Standard specification for seamless carbon steel pipe for high-temperature service

ASTM A134, Standard specification for pipe, steel, electric-fusion (arc)-welded (sizes NPS 16 and over)

ASTM A135, Standard specification for electric-resistance-welded steel pipe

ASTM A139, Standard specification for electric-fusion (arc)-welded steel pipe (NPS 4 and over)

ASTM A381, Standard specification for metal-arc-welded steel pipe for use with high-pressure transmission systems

ASTM A671, Standard specification for electric-fusion-welded steel pipe for atmospheric and lower temperatures

ASTM A672, Standard specification for electric-fusion-welded steel pipe for high-pressure service at moderate temperatures

#### Válvulas

ISO 10434/API 600, Bolted bonnet steel gate valves for the petroleum, petrochemical and allied industries

ISO 14313/API 6D, Petroleum and natural gas industries - pipeline transportation systems - pipeline valves

ISO 15761/API 602, Steel gate, globe and check valves for sizes DN 100 and smaller, for the petroleum and natural gas industries

API 594, Wafer check valves

API 599, Steel plug valves, flanged or buttwelding ends

ASME B16.10, Face-to-face and end-to-end dimensions of ferrous valves

ASME B16.34, Valves, flanged and buttwelding end

ASTM A216, Steel castings, carbon, suitable for fusion welding, for high temperature service

# Conexões

ASME B16.9, Factory-made wrought steel butt- welding fittings

ASME B16.11, Forged steel fittings, socket welding and threaded

ASME B16.28, Wrought steel buttwelding short radius elbows and returns

ASTM A-234, Piping fittings of wrought carbon steel and alloy steel for moderate and elevated temperatures

# **ABNT NBR 15280-1:2009**

MSS SP 75, Specifications for High Test Wrought Buttwelding Fittings

MSS SP 83, Carbon Steel Pipe Unions, Socket-Welding and Threaded

MSS SP 95, Swage(d) Nipples and Bull Plugs

MSS SP 97, Integrally Reinforced Forged Branch Outlet Fittings

# **Flanges**

ASME B16.5, Pipe flanges and flanged fittings

MSS SP 44, Steel Pipeline Flanges

# Juntas

ASME B16.20, Ring-joint gaskets and grooves for steel pipe flanges

#### **Parafusos**

ASTM A-193, Alloy-steel and stainless steel bolting materials for high-temperature service

ASTM A-194, Carbon and alloy steel nuts for bolts for high-pressure and high-temperature service

# Geral

ASME B1.20.1, Pipe threads

ASTM A105, Standard specification for carbon steel forgings for piping applications

ASTM A694, Forgings, Carbon and Alloy Steel, for Pipe Flanges, Fittings, Valves, and Parts for High-Pressure Transmission

# Anexo F (informativo)

# Correspondência Inglês – Português para termos técnicos de tensões

Os critérios utilizados nesta Parte da ABNT NBR 15280 para o cálculo das tensões e para a análise de flexibilidade são os adotados pelo Código ASME B31. Dada a relevância dos conceitos do ASME B31 sobre tensões, que influenciaram profundamente as normas estrangeiras e, em particular, esta Norma Brasileira, apresentam-se a seguir os termos em português correspondentes aos do ASME e que serão úteis para a compreensão e aplicação das seções 4 e 10.

- "Combined expansion stress range" é a tensão combinada para o carregamento de temperatura ou, de forma reduzida e convencional, é a tensão de expansão térmica.
- "Allowable expansion stress range" é a tensão admissível para expansão térmica. "Allowable displacement stress range" tem o mesmo sentido de "Allowable expansion stress range".
- "Maximum computed stress value of the combined expansion stress range" é a tensão máxima de expansão térmica.
- "Resultant bending stress" é a tensão de flexão (longitudinal) resultante.
- "Torsional stress" é a tensão de cisalhamento por torção.
- "Net longitudinal stress" é a tensão longitudinal resultante (de compressão ou tração). Aplica-se exclusivamente para tubulações enterradas.
- "Equivalent tensile stress" é a tensão equivalente, segundo a teoria da tensão de cisalhamento máxima, resultante da combinação da tensão circunferencial de pressão ("hoop stress") com a tensão longitudinal resultante ("net longitudinal stress"). Aplica-se exclusivamente para tubulações enterradas.

"Basic allowable stress" é a tensão admissível básica.

# Anexo G (informativo)

# **Figuras**

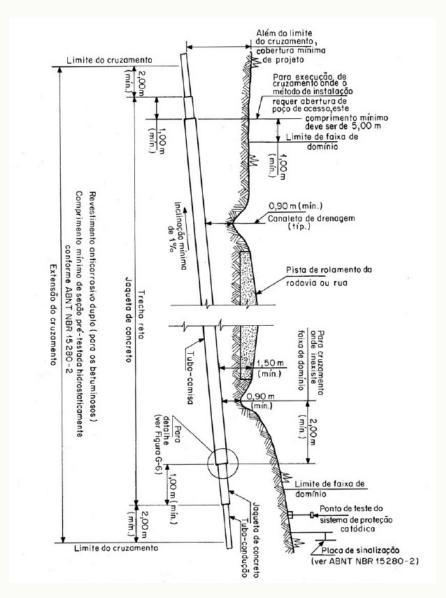


Figura G.1 — Rodovias, ruas e avenidas com tubo-camisa

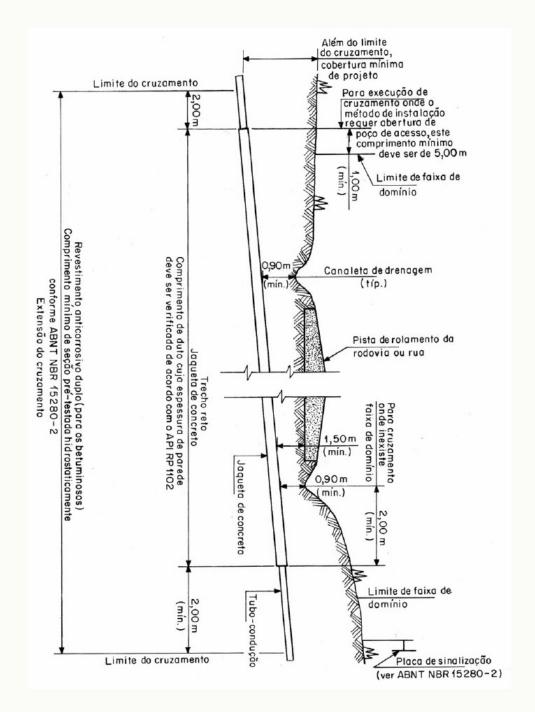


Figura G.2 — Rodovias, ruas e avenidas sem tubo-camisa

# Dimensões em milímetros

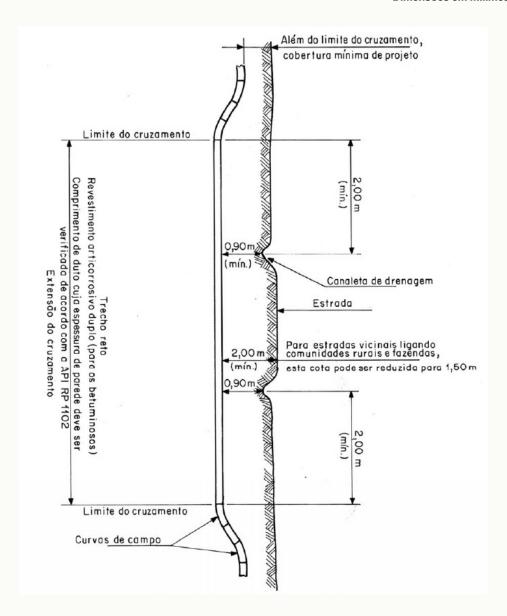


Figura G.3 — Estradas secundárias sem tubo-camisa

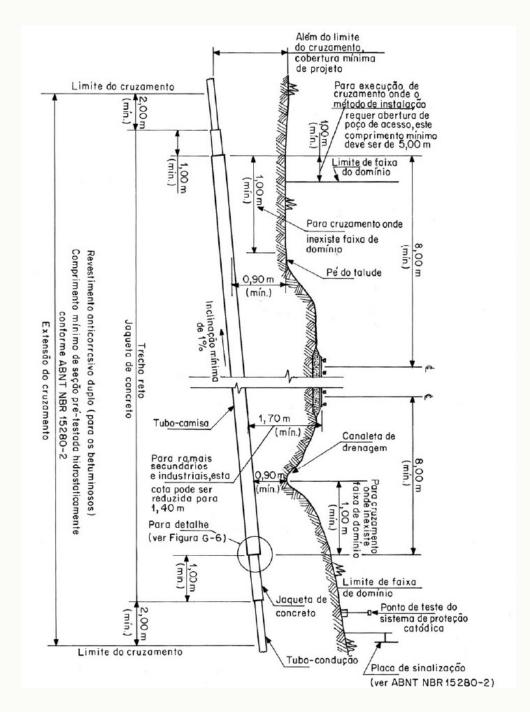


Figura G.4 — Ferrovia com tubo-camisa

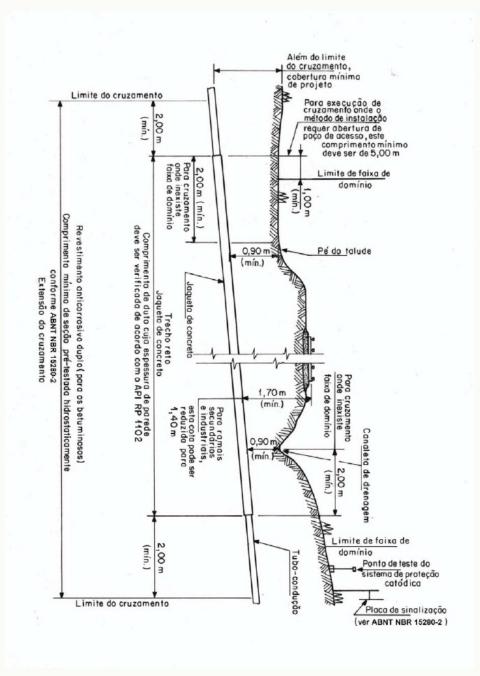
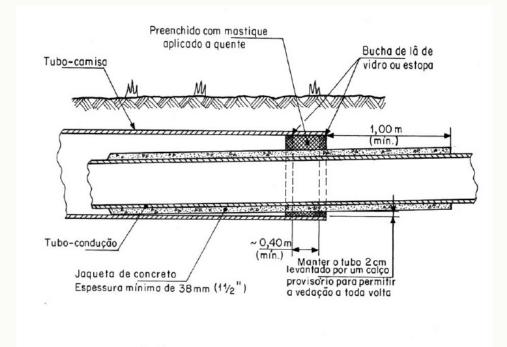
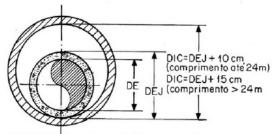


Figura G.5 — Ferrovia sem tubo-camisa

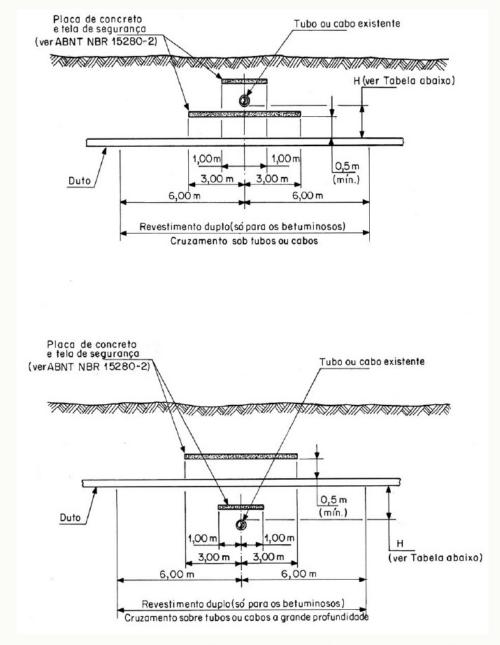




DE = Diâmetro externo do tubo-condução DEJ = Diâmetro externo da jaqueta de concreto DIC = Diâmetro interno mínimo do tubo-camisa

Espessuras mínimas de parede para tubos-camisa		
Tubo-camisa	Rodovias	Ferrovias
pol	pol	pol
10	0,365	0,365
12 a 24	0,375	0,375
26 a 30	0,375	0,406
32	0,375	0,438
34 e 36	0,375	0,469
38	0,375	0,500
40	0,375	0,562
42	0,375	0,562
44 e 46	0,438	0,594
48	0,438	0,625
52	0,438	0,688

Figura G.6 — Dimensões de tubo-camisa e detalhe de vedação das extremidades



Instalação existente	Duto categoria I e II	Outros dutos ou cabos
H (m)	0,8	0,6

Figura G.7 — Cruzamento com tubos ou cabos

Impresso por: PETROBRAS

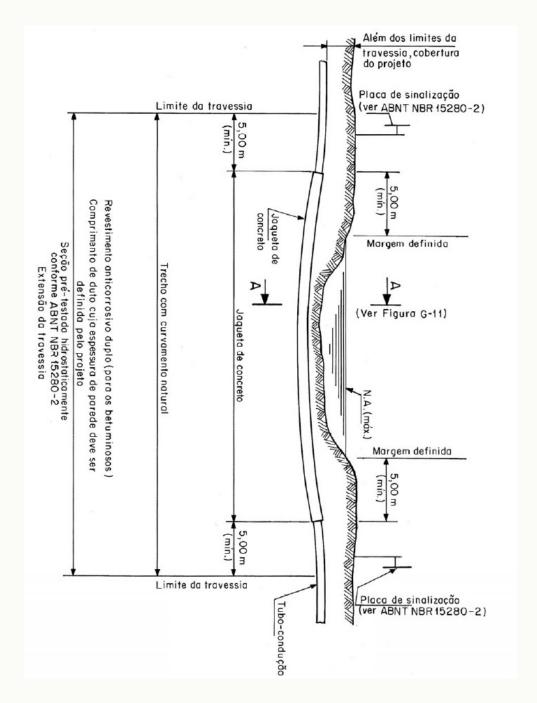


Figura G.8 — Travessia de rio com curvamento natural

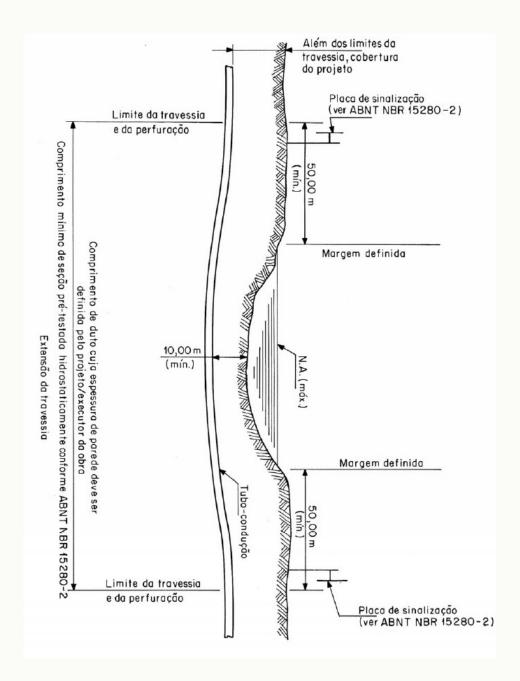


Figura G.9 — Travessia de rio com furo direcional

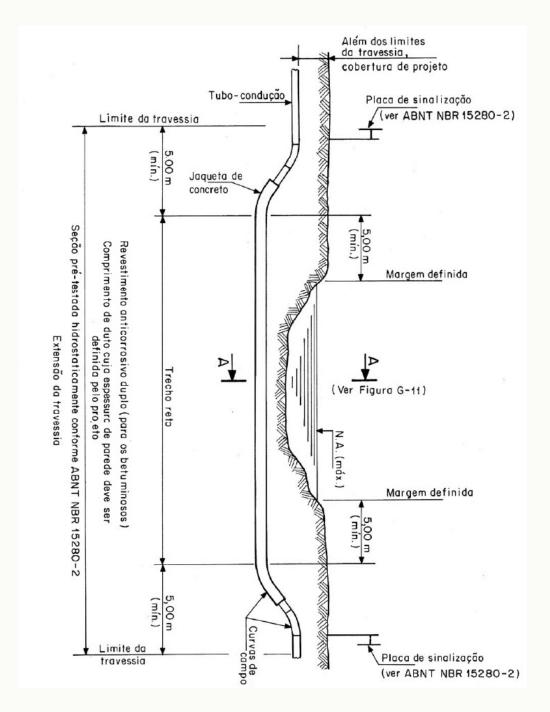


Figura G.10 — Travessia de rio com cavalote

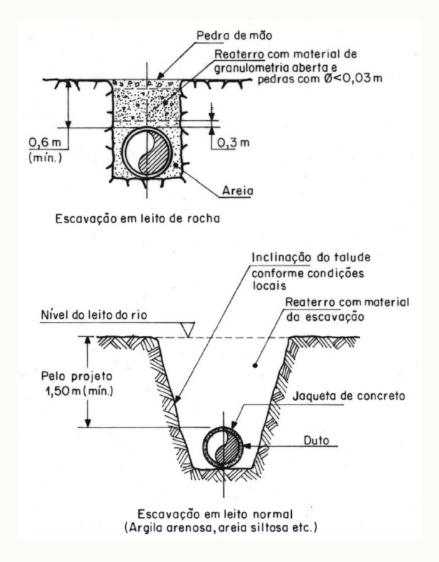


Figura G.11 — Seção "AA" na travessia de rio

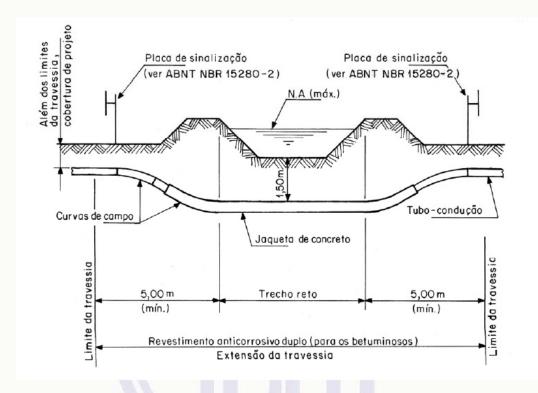


Figura G.12 — Travessia de canal de irrigação com cavalote