

CONTECComissão de Normalização
Técnica**SC-17**

Tubulação

**Projeto Mecânico de
Tubulações Industriais**

1ª Emenda

Esta é a 1ª Emenda da PETROBRAS N-0057 REV. H e se destina a modificar o seu texto nas partes indicadas a seguir:

NOTA 1 A nova página com a alteração efetuada está colocada na posição correspondente.

NOTA 2 A página emendada, com a indicação da data da emenda, está colocada no final da norma, em ordem cronológica, e não devem ser utilizada(s).

CONTEÚDO DA 1ª EMENDA - 07/2019

- Subseção 7.2.3

Alteração de texto.

- Subseção 9.1

Alteração de texto.

- Figura 3

Inclusão de figura.

- Tabela 12

Exclusão de tabela.

Projeto Mecânico de Tubulações Industriais

Procedimento

Esta Norma substitui e cancela a sua revisão anterior.

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. A Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma é a responsável pela adoção e aplicação das suas seções, subseções e enumerações.

Requisito Técnico: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada: Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pela Unidade da PETROBRAS usuária desta Norma. É caracterizada por verbos de caráter não impositivo. É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o seu aprimoramento, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, a seção, subseção e enumeração a ser revisada, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. - PETROBRAS, de aplicação interna na PETROBRAS e Subsidiárias, devendo ser usada pelos seus fornecedores de bens e serviços, conveniados ou similares conforme as condições estabelecidas em Licitação, Contrato, Convênio ou similar.

A utilização desta Norma por outras empresas/entidades/órgãos governamentais e pessoas físicas é de responsabilidade exclusiva dos próprios usuários".

Apresentação

As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho - GT (formados por Técnicos Colaboradores especialistas da Companhia e de suas Subsidiárias), são comentadas pelas Unidades da Companhia e por suas Subsidiárias, são aprovadas pelas Subcomissões Autoras - SC (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando as Unidades da Companhia e as Subsidiárias) e homologadas pelo Núcleo Executivo (formado pelos representantes das Unidades da Companhia e das Subsidiárias). Uma Norma Técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As Normas Técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a Norma Técnica PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as Normas Técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

Sumário

1	Escopo.....	6
2	Referências Normativas	6
3	Termos e Definições.....	9
4	Condições Gerais	13
4.1	Responsabilidades da Projetista.....	13
4.2	Apresentação do Projeto.....	13
4.3	Campos de Aplicação	13
4.4	Materiais	14
4.5	Critérios de Cálculo	16
4.6	Identificação de Tubulações	16
4.7	Coordenadas e Elevações	16
4.8	Isolamento Térmico.....	16
4.9	Aquecimento Externo.....	16
4.10	Fabricação e Montagem	16
5	Requisitos de Cálculo Mecânico de Tubulações	16
5.1	Cálculos Contemplados por esta Norma	16
5.2	Cálculo da Espessura de Parede.....	17
5.3	Cálculo do Vão Entre Suportes.....	19
5.4	Análise de Tensões Estáticas (Cálculo de Flexibilidade)	19
5.5	Análise Dinâmica de Tubulações.....	22
5.6	Cálculo dos Esforços Sobre os Suportes	26
6	Disposição Geral das Tubulações.....	27
7	Arranjo de Tubulações Conectadas a Equipamentos.....	30
7.1	Condições Gerais.....	30
7.2	Tubulações Ligadas a Bombas.....	31
7.3	Tubulações Ligadas a Turbinas	33
7.4	Tubulações Ligadas a Vasos	33
7.5	Tubulações Ligadas a Permutadores de Calor.....	34
7.6	Tubulações Ligadas a Compressores.....	34

8 Requisitos para TPD em Serviços Críticos ou Perigosos	35
8.1 Requisitos para TPD de Processo	35
8.2 Requisitos para TPD dos Sistemas Auxiliares de Bombas de Produto.....	36
8.3 Requisitos para TPDs de Sistemas de Instrumentação e Controle.....	40
8.3.1 Requisitos para as Tomadas de Impulso para Instrumentos	40
8.3.2 Tubulações de PSVs.....	41
9 Válvulas	41
9.1 Considerações Gerais.....	41
9.2 Válvulas de Segurança e de Alívio	43-A
9.3 Válvulas de Controle	44
10 Juntas de Expansão	45
11 Sistemas de Purga para Tubulações e Equipamentos	45
12 Suportes, Apoios e Restrições de Tubulação	46
13 Diversos.....	47
Anexo A - Figuras	49
Anexo B - Tabelas de Vãos Máximos entre Suportes	68
Anexo C - Alívio Contra a Pressurização Devido á Expansão Hidráulica do Produto.....	82
Anexo D - Seleção de Linhas para Análise Dinâmica.....	86
Anexo E - Requisitos Suplementares para Projeto Mecânico de Tubulações Ligadas a Compressores Alternativos.....	87
Anexo F - Padrões de Suportes para Tubulações de Pequeno Diâmetro Conectadas a Equipamentos e Tubulações Sujeitas a Vibração.....	88
Anexo G - Critério para Determinação de Tensão Admissível para Análise de Fadiga em Tubulações de Processo	91

Figuras

Figura 1 - Suportes do Tipo Trava Vertical ("Hold Down").....	25
Figura 2 - Esquema Para Tomadas de Impulso de Instrumentação.....	41
Figura 3 - Arranjos de Duplo Bloqueio	43
Figura 4 - Detalhe Típico para Arranjo de PSV	44
Figura A.1 - Tubulações em Tubovias	49
Figura A.2 - Arranjo Esquemático de uma Unidade.....	53

Figura A.3 - Posicionamento de Furos de Flanges.....	54
Figura A.4 - Arranjos Típicos de Linhas de Sucção de Bombas.....	55
Figura A.5 - Arranjo Típico de Tubulação em Bombas	57
Figura A.6 - Aquecimento de Bomba Reserva.....	58
Figura A.7 - Arranjo Típico da Tubulação	60
Figura A.8 - Espaçamento entre Tubos	62
Figura A.9 - Espaçamento entre Tubos e Vasos	63
Figura A.10 - Arranjos Típicos de Tubulações em Compressores	64
Figura A.11 - Afastamentos Mínimos para Linhas de Sucção de Compressores de Ar.....	65
Figura A.12 - Arranjo Típico de Válvulas de Controle.....	66
Figura A.13 - Isométrico da Instalação de Purgadores em Equipamentos.....	67
Figura F.1 - Desenho Esquemático de Suportação de Drenos e Suspiros Paralelos as Linhas Principais Sujeitas a Vibração Utilizando Braçadeira	88
Figura F.2 - Desenho Esquemático de Suportação de Drenos e Suspiros Paralelos as Linhas Principais Sujeitas a Vibração Utilizando Reforço Integral.....	88
Figura F.3 - Detalhe Típico de Suportação de Drenos e Suspiros em Linhas Sujeitas a Vibração	89
Figura F.4 - Desenho Esquemático de Suportação de Drenos e Suspiros Transversais às Linhas Principais Sujeitas à Vibração	89
Figura F.5 - Desenho Esquemático de Suportação de Ramais Verticais em Linhas Sujeitas à Vibração.....	90

Tabelas

Tabela 1 - Campos de Aplicação para Normas e Códigos de Tubulação	14
Tabela 2 - Temperatura Limite do Material	15
Tabela 3 - Espessuras Mínimas Estruturais de Parede de Tubulações	18
Tabela 4 - Sistemas que Devem ter a Análise de Flexibilidade Realizada Utilizando Métodos Computacionais.....	19
Tabela 5 - Temperaturas de Metal para Projeto Mecânico de Linhas Sujeitas a Limpeza com Vapor	20
Tabela 6 - Fator de Simultaneidade em Função do Número de Tubos.....	27
Tabela 7 - Dimensionamento das Válvulas.....	32
Tabela 8 - Materiais para Tubo de Condução.....	38
Tabela 9 - Limite de Espessura para Tubo de Condução - Linhas de Vapor	38
Tabela 10 - Limite de Espessura para Tubo de Condução - Água de Resfriamento	39
Tabela 11 - Limite de Espessura para Tubo de Condução - Óleo de Lubrificação	40



Tabela B.1 - Vãos Máximos entre Suportes de Tubulação ("On Site") - Flecha : 6 mm, Espessura de Corrosão: 1,6 mm (Continuação).....	71
Tabela B.2 - Vãos Máximos entre Suportes de Tubulação ("On Site") - Flecha : 6 mm, Espessura de Corrosão: 3,2 mm.....	73
Tabela B.3 - Vãos Máximos entre Suportes de Tubulação ("On Site") - Flecha : 25 mm, Espessura de Corrosão: 1,6 mm.....	76
Tabela B.4 - Vãos Máximos entre Suportes de Tubulação ("Off Site") - Flecha : 25 mm, Espessura de Corrosão: 3,2 mm.....	79
Tabela C.1 - Fator de Correção para o Efeito da Temperatura	85
Tabela G.1 - Tensões Admissíveis para Análise de Fadiga de Tubulações Sujeitas a Vibração (Nota 1).....	92

1 Escopo

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis para a execução do projeto mecânico de tubulações industriais em unidades industriais, incluindo os critérios básicos aplicáveis aos diversos cálculos do projeto mecânico de tubulações e compreendendo instalações de exploração e produção em instalações terrestres, áreas de utilidades e de processo, parques de armazenamento, bases de armazenamento, pier e terminais (incluindo estações de bombeamento, compressão e medição, estações de tratamento de efluentes) em áreas fora de refinarias, utilizando como referência as ASME [B31.1](#), ASME [B31.3](#), ABNT [NBR 15280-1](#) e ABNT [NBR 12712](#), além da ISO [15649](#), onde aplicável e em conformidade com 4.3.

1.2 Esta Norma não se aplica a tubulações que pertençam a sistemas de instrumentação e controle, sistemas de despejos sanitários, sistemas de drenagem industrial, sistemas de caldeiras de vapor. Também não se aplica a instalações marítimas, oleodutos e gasodutos, tubulações pertencentes a equipamentos fornecidos pelo sistema de pacote (compactos), exceto se definido de forma diferente pela PETROBRAS.

1.3 Esta Norma somente se aplica às tubulações de aços-carbono, liga ou inoxidável.

1.4 Esta Norma se aplica a projetos para a PETROBRAS, iniciados a partir da data de sua edição.

1.5 Esta Norma contém Requisitos Técnicos e Práticas Recomendadas.

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 dos referidos documentos.

[NR-13](#) - Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações;

PETROBRAS [N-42](#) - Projeto de Sistema de Aquecimento Externo de Tubulação, Equipamento e Instrumentação, com Vapor;

PETROBRAS [N-58](#) - Símbolos Gráficos para Fluxogramas de Processo e de Engenharia;

PETROBRAS [N-59](#) - Símbolos Gráficos para Desenhos de Tubulação;

PETROBRAS [N-76](#) - Materiais de Tubulação para Instalações de Refino e Transporte;

PETROBRAS [N-108](#) - Suspiros e Drenos para Tubulações e Equipamentos;

PETROBRAS [N-115](#) - Fabricação e Montagem de Tubulações Metálicas;

PETROBRAS [N-116](#) - Sistemas de Purga de Vapor em Tubulações e Equipamentos;

PETROBRAS [N-118](#) - Filtro Temporário e Filtro Gaveta para Tubulação;

PETROBRAS [N-120](#) - Peças de Inserção entre Flanges;

PETROBRAS [N-250](#) - Montagem de Isolamento Térmico a Alta Temperatura;

PETROBRAS [N-464](#) - Construção, Montagem e Condicionamento de Duto Terrestre;

PETROBRAS [N-550](#) - Projeto de Isolamento Térmico a Alta Temperatura;

PETROBRAS [N-553](#) - Bombas Centrífugas para as Indústrias Petroquímica, de Gás Natural e de Petróleo;

PETROBRAS [N-894](#) - Projeto de Isolamento Térmico a Baixa Temperatura;

PETROBRAS [N-896](#) - Montagem de Isolamento Térmico a Baixa Temperatura;

PETROBRAS [N-1522](#) - Identificação de Tubulações Industriais;

PETROBRAS [N-1645](#) - Critérios de Segurança para Projeto de Instalações Fixas de Armazenamento de Gás Liquefeito de Petróleo;

PETROBRAS [N-1674](#) - Projeto de Arranjo de Instalações Industriais Terrestres de Petróleo, Derivados, Gás Natural e Álcool;

PETROBRAS [N-1692](#) - Apresentação de Projetos de Tubulação;

PETROBRAS [N-1693](#) - Diretrizes para Elaboração de Material de Tubulação para Instalações de Refino e Transporte;

PETROBRAS [N-1756](#) - Projeto e Aplicação de Proteção Passiva Contra Fogo em Instalações Terrestres;

PETROBRAS [N-1758](#) - Suporte, Apoio e Restrição para Tubulação;

PETROBRAS [N-1882](#) - Critérios para Elaboração de Projetos de Instrumentação;

PETROBRAS [N-1931](#) - Material de Tubulação para Instrumentação;

PETROBRAS [N-2163](#) - Soldagem e Trepanação em Equipamentos, Tubulações Industriais e Dutos em Operação;

PETROBRAS [N-2546](#) - Critérios para Utilização de Válvulas Esfera Testada a Fogo ("Fire Tested Type");

PETROBRAS [N-2791](#) - Detalhes de Instalação de Instrumentos ao Processo;

ABNT [NBR 5580](#) - Tubos de Aço-carbono para Usos Comuns na Condução de Fluidos - Especificação;

ABNT [NBR 5590](#) - Tubos de Aço-carbono com ou sem Solda Longitudinal, Pretos ou Galvanizados - Especificação;

ABNT [NBR 12712](#) - Projeto de Sistemas de Transmissão e Distribuição de Gás Combustível;

ABNT [NBR 15280-1](#) - Dutos Terrestres, Parte 1: Projeto;

ABNT [NBR 15280-2](#) - Dutos Terrestres, Parte 2: Construção e Montagem;

ISO [15649](#) - Petroleum and Natural Gas Industries - Piping;

API [RP 551](#) - Process Measurement Instrumentation;

API [RP 553](#) - Refinery Valves and Accessories for Control and Safety Instrumented Systems;

API [RP 686](#) - Recommended Practice for Machinery Installation and Installation Design;

API [RP 688](#) - Pulsation and Vibration Control in Positive Displacement Machinery Systems for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industry Services;

API [SPEC 5L](#) - Specification for Line Pipe;

API [STD 520 Part I](#) - Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices Part I - Sizing and Selection;

API [STD 520 Part II](#) - Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices Part II - Installation;

API [STD 521](#) - Pressure-Relieving and Depressuring Systems;

API [STD 526](#) - Flanged Steel Pressure-relief Valves;

API [STD 610](#) - Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries;

API [STD 611](#) - General-Purpose Steam Turbines for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services;

API [STD 612](#) - Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries - Steam Turbines - Special-Purpose Applications;

API [STD 614](#) - Lubrication, Shaft-Sealing, and Oil-Control Systems and Auxiliaries;

API [STD 617](#) - Axial and Centrifugal Compressors and Expander-Compressors;

API [STD 618](#) - Reciprocating Compressors for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services;

API [STD 682](#) - Pumps - Shaft Sealing Systems for Centrifugal and Rotary Pumps;

ASME [B31.1](#) - Power Piping;

ASME [B31.3](#) - Process Piping;

ASME [B31.4](#) - Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries;

ASME [B31.8](#) - Gas Transmission and Distribution Piping Systems;

ASME [B36.10M](#) - Welded and Seamless Wrought Steel Pipe;

ASME [B36.19M](#) - Stainless Steel Pipe;

ASME [BPVC Section VIII Division 1](#) - Boiler and Pressure Vessel Code - Section VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels - Division 1;

ASME [BPVC Section VIII Division 2](#) - Boiler and Pressure Vessel Code - Section VIII - Rules for Construction of Pressure Vessels - Division 2: Alternative Rules;

ASME [BPVC Section III 1 APPENDICES](#) - Rules for Construction of Nuclear Facility Components;

ASME [OM - Division 2 - Part 3](#) - Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants;

ASTM [A36/A36M](#) - Standard Specification for Carbon Structural Steel;

ASTM [A106/A106M](#) - Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service;

BSI [PD 8010-1](#) - Pipeline Systems- Part 1: Steel Pipelines on Land - Code of Practice;

EJMA STD - Standards of the Expansion Joint Manufacturers Association;

3 Termos e Definições

Para os efeitos deste documento aplicam-se os seguintes termos e definições.

3.1

ABNT

Associação Brasileira de Normas Técnicas

3.2

API

"American Petroleum Institute"

3.3

ASME

"American Society of Mechanical Engineers"

3.4

ASTM

"American Society for Testing and Materials"

3.5

CCT

Conexões a com pressão para tubo ("tubing")

3.6

Conexão de Pequeno Diâmetro (CPD)

são consideradas conexões de pequeno diâmetro, todas as conexões que apresentem diâmetro nominal igual ou inferior a NPS 1 1/2 (ver 3.30)

3.7

Dispositivo Contra Bloqueio Inadvertido (DCBI)

meio utilizado para evitar que bloqueios inadvertidos impeçam a atuação de dispositivos de segurança

3.8

dreno testemunho

utilizado entre válvulas de bloqueio para verificar sua estanqueidade

3.9

ES

Solda de Encaixe

3.10

FD

Folha de Dados

3.10

GLP

Gás Liquefeito de Petróleo

3.11**HRC ("Hardness Rockwell C")**

Escala de dureza Rockwell C

3.12**ISO**

International Organization for Standardization

3.13**local seguro**

região na qual é admissível a descarga de gases inflamáveis ou tóxicos. Para suspiros, conforme PETROBRAS [N-1674](#). Para drenos, conforme PETROBRAS [N-1645](#)

3.14**NEMA**

"National Electrical Manufacturers Association"

3.15**NPS**

"Nominal Pipe Size"

3.16**passagem de tubulação**

termo genérico para referenciar faixa destinada ao encaminhamento de tubulações, tais como pontes de tubulação, tubovias e trincheiras

3.17**PIs ("Pressure Indicator")**

dispositivos indicadores de pressão

3.18**plantas de arranjo**

para fins de aplicação desta Norma são também aplicáveis todos os termos relativos as plantas de arranjo definidos na PETROBRAS [N-1674](#)

3.19**ponte de tubulação ("pipe rack")**

passagem de tubulações onde a elevação dos tubos é superior em mais de 1 m aos greides das áreas adjacentes

3.20**produtos quentes**

fluidos com temperatura acima de 60 °C

3.21**produtos frios**

fluidos com temperatura abaixo ou igual a 60 °C

3.22**projeto mecânico**

conjunto de atividades de engenharia e o seu produto destinados a apresentar informações necessárias e suficientes para adquirir, construir, operar e manter os sistemas de tubulações de instalações petrolíferas. O conjunto de informações fornecidas pelo projeto é constituído dos documentos listados na PETROBRAS [N-1692](#)

NOTA Projeto mecânico e projeto de detalhamento de tubulações devem ser considerados sinônimos para fins desta Norma.

3.23**(PSA) “Purification System Adsorber”**

sistema de unidades de purificação de hidrogênio

3.24**PSV (“Pressure Safety Valve”)**

termo utilizado, de forma genérica, como sinônimo de válvula de segurança, válvula de alívio e válvula de segurança e alívio

3.25**reparo**

qualquer intervenção que vise estabelecer a operacionalidade após falha ou corrigir não conformidades com relação ao projeto original

3.26**serviços críticos ou perigosos**

para fins desta Norma, entende-se como serviços críticos ou perigosos aqueles em que há perigo de explosão, autoignição, fogo e/ou toxidade ambiental, nos casos de vazamentos. As enumerações a seguir, são exemplos de sistemas de tubulação nestas condições, mas não limitados a estes sistemas de tubo:

- a) linhas conduzindo fluidos com concentração de H_2S superior a 3 % em peso;
- b) linhas com fluidos em pressão parcial de H_2 superior a 441 kPa (4,5 kgf/cm²);
- c) linhas de solução Dietanolamina (DEA), Monoetanolamina (MEA) ou soda cáustica, contaminadas ou não;
- d) linhas com fluidos líquidos inflamáveis em temperatura de operação igual ou superior a temperatura de “flash” ou de autoignição;
- e) linhas de gás inflamável: gás residual de processo, GLP, gás combustível, gás natural e gás para tocha;
- f) linhas com produto tóxico “categoria M” da ASME [B31.3](#);
- g) linhas de hidrocarbonetos e produtos químicos conectadas a máquinas alternativas;
- h) linhas de hidrocarbonetos e produtos químicos com elevado nível de vibração;
- i) linhas de hidrocarbonetos e produtos químicos, em temperatura de trabalho superior a 260 °C ou pressão de trabalho superior a 2 000 kPa (20 kgf/cm²);
- j) linhas de hidrocarbonetos e produtos químicos com sobre espessura de corrosão ou erosão acima de 3,2 mm;
- k) linhas de hidrocarbonetos e produtos químicos sujeitas a corrosão sob tensão;
- l) linhas de hidrocarbonetos e produtos químicos que atingem temperaturas abaixo de 0 °C, em caso de vazamento, devido à depressurização súbita à pressão atmosférica.

3.27**sistema de tubulação**

conjunto de tubulações usadas para conduzir fluidos, interligadas entre si e/ou a equipamentos estáticos ou dinâmicos e sujeitas às mesmas condições de projeto (temperatura e pressão)

3.28**taxa de corrosão**

número que indica a perda de espessura da tubulação ocorrida em determinado período de tempo em um ponto ou conjunto de pontos de controle e expressa em mm/ano

3.29**TIs (“Temperature Indicator”)**

dispositivos indicadores de temperatura

3.30**trincheira**

passagem de tubulações em forma de canaleta, onde a elevação dos tubos é inferior ao grade das áreas adjacentes, com largura máxima de 2 m, construído em concreto armado, podendo possuir ou não cobertura

3.31**tubovia**

passagem de tubulações onde a elevação dos tubos é inferior, igual ou até 1 m acima dos grades das áreas adjacentes

3.32**tubulação**

conjunto de tubos e acessórios (válvulas, flanges, curvas, conexões etc.) destinados ao transporte de fluidos de processo ou de utilidades

3.33**Tubulações de Pequeno Diâmetro (TPD)**

tubulações de instalações industriais de diâmetro nominal igual ou inferior a NPS 1 1/2; compreendendo as linhas de processo, linhas auxiliares de máquinas e tomadas de impulso para instrumentação

3.34**tubulações de processo (linha “on site”)**

tubulações que interligam sistemas de tubulação ou equipamentos no espaço físico definido pelas unidades de processo, normalmente delimitado pelo limite da bateria

3.35**tubulações de transferência (linhas “off-site”)**

tubulações que interligam sistemas de tubulação ou equipamentos no espaço físico fora das unidades de processo

3.36**tubulações de utilidades**

tubulações que transportam fluidos auxiliares, necessários ao processo e armazenamento

4 Condições Gerais

4.1 Responsabilidades da Projetista

4.1.1 A projetista deve sempre assumir a total responsabilidade sobre o projeto e elaborar desenhos detalhados, cálculos e todos os demais documentos que constituem o projeto. É de exclusiva responsabilidade da projetista a estrita observância de todas as prescrições aplicáveis desta Norma, bem como de todas as disposições legais que possam afetar o projeto mecânico de tubulações industriais. Devem também ser seguidas pela projetista todas as exigências das normas específicas para cada uma das unidades industriais citadas em 1.1.

4.1.2 Com base nos requisitos da [NR-13](#), o profissional habilitado deve definir a extensão e a abrangência das linhas e sistemas de tubulação enquadradas na [NR-13](#). Este enquadramento deve ser realizado por sistema de tubulação, devendo considerar as tubulações e linhas que conduzem o mesmo fluido de processo, possuem o mesmo material e estão sujeitas a taxas de corrosão semelhantes. Esta classificação deve ser realizada pela CONTRATADA com apoio e orientação da PETROBRAS durante o projeto de detalhamento.

4.1.3 Para parques de armazenamento de GLP, devem ser consideradas adicionalmente as prescrições da PETROBRAS [N-1645](#).

4.1.4 A liberação ou aceitação, total ou parcial, do projeto por parte da PETROBRAS em nada diminui a responsabilidade da projetista pelo projeto.

4.2 Apresentação do Projeto

O projeto deve ser apresentado como determinado pela PETROBRAS [N-1692](#).

4.3 Campos de Aplicação

Os campos de aplicação das normas de projeto, cálculo, especificação de material e montagem de tubulações industriais devem estar conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Campos de Aplicação para Normas e Códigos de Tubulação

Instalação Objeto	Refinarias e Unidades de processamento terrestres	Áreas reservadas em refinarias ou plantas de processo para instalação de dutos	Bases, terminais e estações, exceto braços de carregamento	Linha tronco de dutos
Projeto e Cálculo	Esta Norma	Esta Norma (Ver Nota) ABNT NBR 15280-1 (oleoduto) ABNT NBR 12712 (gasoduto)	Esta Norma	ABNT NBR 15280-1 (oleoduto) ABNT NBR 12712 (gasoduto)
Material	PETROBRAS N-76	PETROBRAS N-76 (Ver Nota) ABNT NBR 15280-1 (oleoduto) ABNT NBR 12712 (gasoduto)	PETROBRAS N-76	ABNT NBR 15280-1 (oleoduto) ABNT NBR 12712 (gasoduto)
Montagem	PETROBRAS N-115	PETROBRAS N-115 (Ver Nota) PETROBRAS N-464	PETROBRAS N-115	PETROBRAS N-464
Norma ASME	ASME B31.3	ASME B31.3 ASME B31.4 (oleoduto) ASME B31.8 (gasoduto)	ASME B31.3 ASME B31.4 (oleoduto) ASME B31.8 (gasoduto)	ASME B31.4 (oleoduto) ASME B31.8 (gasoduto)
NOTA Utilizada quando aplicada ASME B31.3 .				

4.4 Materiais

4.4.1 Devem ser adotadas no projeto, as padronizações de material de tubulação, da PETROBRAS [N-76](#), cujas abrangências devem estar definidas na PETROBRAS [N-1693](#). A responsabilidade pela seleção das padronizações de material de tubulação é de responsabilidade da projetista.

4.4.2 Para os serviços não cobertos por nenhuma das padronizações de material de tubulação, citadas em 4.4.1, a projetista deve preparar padronizações de material utilizando o formulário padronizado pela PETROBRAS [N-1693](#) devendo ser preenchidos todos os espaços que forem aplicáveis. Para elaboração destas padronizações devem-se seguir as recomendações da PETROBRAS [N-1693](#).

4.4.3 Os materiais das padronizações preparadas pela projetista devem ser os que constam nas normas ISO, ABNT, ASTM, ASME e API. Somente devem ser utilizados materiais de acordo com outras normas com autorização da PETROBRAS.

4.4.4 Para temperaturas de operação superiores a 15 °C devem ser consideradas as recomendações constantes da Tabela 2. Em serviços corrosivos, os limites de temperatura devem ser estabelecidos para cada caso.

Tabela 2 - Temperatura Limite do Material

Material	Temperatura limite (°C)	
	Resistência mecânica (ver Nota 1)	Oxidação superficial (ver Nota 2)
Aços-Carbono de Qualidade Estrutural (ASTM A36/A36M)	150	530
Aços-Carbono Não Acalmados (Materiais Qualificados) (ABNT NBR 5580 , ABNT NBR 5590 , API SPEC 5L) (ver Nota 4)	400	530
Aços-Carbono Acalmados, com Si (ASTM A106/A106M) (ver Nota 4)	450	530
Aços-Liga 1/2 Mo	500	530
Aços-Liga 1 1/4 Cr - 1/2 Mo	530	550
Aços-Liga 2 1/4 Cr - 1 Mo	530	570
Aços-Liga 5 Cr - 1/2 Mo	530	600
Aços Inoxidáveis 405, 410	480	700
Aços Inoxidáveis 304, 316 (ver Nota 3)	600	800
Aços Inoxidáveis 304L, 316L	400	800
Aços Inoxidáveis 310	600	1 100
NOTA 1 Os limites de resistência mecânica ocorrem nas temperaturas máximas para as quais o material ainda apresenta resistência aceitável para a aplicação. NOTA 2 Os limites de oxidação superficial ocorrem nas temperaturas acima das quais o material começa a sofrer uma oxidação superficial muito intensa; esses limites não devem ser ultrapassados para serviço contínuo em nenhum caso. NOTA 3 Para temperaturas de projeto superiores a 550 °C, recomenda-se o uso de aços inoxidáveis tipo "H". [Prática Recomendada] NOTA 4 Exposição prolongada acima de 427 °C pode gerar grafitação no aço carbono.		

4.4.5 Para temperaturas de operação inferiores a 15 °C consultar a PETROBRAS [N-1693](#).

4.4.6 Para qualquer tubulação de processo, o menor diâmetro nominal é NPS 1.

NOTA Permitem-se tubulações com diâmetro mínimo NPS 1/2, para tomadas de flanges de orifícios, utilidades e para linhas auxiliares de máquinas (bombas). **[Prática Recomendada]**

4.4.7 Deve ser evitado o uso de tubulações com os seguintes diâmetros nominais: NPS 1 1/4, NPS 3 1/2 e NPS 5. Permitem-se pequenos trechos de tubo ou acessório, para conectar diretamente em equipamentos. O diâmetro nominal NPS 2 1/2 deve ser usado somente para sistemas de água de incêndio.

4.4.8 As espessuras de paredes dos tubos de aço devem ter os valores padronizados pelas ASME [B36.10M](#) e ASME [B36.19M](#), constantes das PETROBRAS [N-76](#) e [N-1693](#).

4.4.9 Para evitar dificuldades na aquisição de válvulas, flanges ou conexões, recomenda-se evitar o uso de tubulações de NPS 22. **[Prática Recomendada]**

4.5 Critérios de Cálculo

Os cálculos mecânicos do projeto de tubulações devem obedecer aos critérios da Seção 5 desta Norma.

4.6 Identificação de Tubulações

Todas as tubulações devem receber um código de identificação de acordo com a PETROBRAS [N-1522](#), exceto se definido de forma diferente pela PETROBRAS. A identificação de cada tubulação deve figurar obrigatoriamente, em destaque, em todos os desenhos (tais como: fluxogramas, plantas e isométricos), listas, folhas de dados e demais documentos do projeto nas quais a referida tubulação aparecer ou estiver citada.

4.7 Coordenadas e Elevações

4.7.1 Todas as construções, equipamentos e tubulações, bem como arruamentos, limites de terreno, limites de área e quaisquer outras informações relevantes de situação devem ser locados nos desenhos por coordenadas referidas a um sistema de dois eixos ortogonais denominados “Norte-Sul de Projeto” e “Leste-Oeste de Projeto”. Nos projetos de ampliação de unidades existentes deve ser utilizado o mesmo sistema de coordenadas do projeto inicial.

4.7.2 Salvo indicação em contrário, as elevações básicas de pisos, bases de equipamentos e estruturas devem estar de acordo com a PETROBRAS [N-1674](#).

4.8 Isolamento Térmico

4.8.1 O projeto e a instalação do isolamento térmico de tubulação devem obedecer às PETROBRAS [N-250](#), [N-550](#), [N-894](#) e [N-896](#).

4.8.2 As tubulações com isolamento térmico devem ser indicadas conforme as PETROBRAS [N-58](#) e [N-59](#), na Folha de Dados de tubulação e nos documentos de projeto necessários.

4.9 Aquecimento Externo

O projeto para aquecimento externo de tubulações deve ser conforme a PETROBRAS [N-42](#).

4.10 Fabricação e Montagem

A fabricação e a montagem de tubulações devem estar de acordo com a PETROBRAS [N-115](#).

5 Requisitos de Cálculo Mecânico de Tubulações

5.1 Cálculos Contemplados por esta Norma

5.1.1 Os seguintes cálculos de tubulação, considerados como elemento mecânico, estão abrangidos por esta Norma:

- a) cálculo da espessura de parede;
- b) cálculo do vão entre suportes;

- c) cálculo de flexibilidade, juntas de expansão e suportes não rígidos;
- d) cálculo dos esforços sobre os suportes.

5.1.2 Nos projetos de tubulação em que sejam necessários outros cálculos mecânicos, não abrangidos por esta Norma, como, por exemplo, efeitos dinâmicos (tais como: impacto, vento, terremoto, vibração, reações de descarga e choques hidráulicos), sua execução deve ser feita de acordo com a prática da projetista e submetidos à aprovação da PETROBRAS.

5.1.3 As tubulações ligadas a bombas alternativas ou compressores alternativos devem ser submetidas à análise dinâmica, cuja execução deve ser feita por métodos computacionais, com programas previamente aprovados pela PETROBRAS.

5.2 Cálculo da Espessura de Parede

5.2.1 Devem ser calculadas as espessuras das tubulações não cobertas ou não definidas pelas padronizações de material de tubulação da PETROBRAS [N-76](#). As espessuras das conexões devem estar de acordo com o tubo de diâmetro correspondente.

5.2.2 O cálculo da espessura de parede de tubulações, em função da pressão interna ou externa, deve ser feito como exigido pelas ASME [B31.1](#), [B31.3](#), ABNT [NBR 15280-1](#) e ABNT [NBR 12712](#), conforme o campo de aplicação de cada norma.

5.2.3 Considerações Específicas

5.2.3.1 Os valores da pressão de projeto e da temperatura de projeto, usados para o cálculo da espessura de parede, devem ser como determinados pelas normas ASME citadas no 5.2.2, em função das condições de operação da tubulação.

5.2.3.2 No projeto deve ser definida a conveniência de se estabelecer a temperatura máxima de operação como um valor maior do que aquele que o fluido atinge nas condições normais de operação.

5.2.3.3 Para as tubulações sujeitas a efeitos dinâmicos deve ser observado o descrito no 5.1.2 desta Norma.

5.2.3.4 As tubulações de grande diâmetro ($NPS > 48$) e de parede fina (relação $D/e > 100$), devem ser analisadas quanto à resistência ao colapso pela pressão atmosférica, caso haja formação eventual de vácuo na tubulação.

5.2.3.5 Todas as tubulações com pressão de operação inferior à atmosférica devem ser calculadas para vácuo total.

5.2.4 Deve ser considerada uma sobre espessura mínima de 1,6 mm aplicável a todos os tubos de aço-carbono e aço de baixa liga, exceto nos serviços para os quais a corrosão e a erosão forem reconhecidamente nulas ou desprezíveis, ou quando houver um revestimento interno adequado. Valores maiores que 1,6 mm devem ser adotados quando condições mais severas de trabalho da tubulação justificarem, técnica e economicamente, este procedimento. No caso de ligações roscadas deve ser adicionado, ainda, a este valor, uma sobre espessura para compensar o entalhe das roscas. Este valor deve ser igual ao raio externo do tubo menos o raio mínimo de rosca na extremidade do tubo. As sobre espessuras devem ser baseadas no tempo mínimo de vida útil de 20 anos para aço-carbono, aço-liga e aço inoxidável, exceto quando for especificado um tempo diferente. Para instalações de produção deve ser considerado um tempo mínimo de vida útil de 25 anos.

5.2.5 Na seleção da espessura comercial do tubo devem ser consideradas as tolerâncias inerentes aos processos de fabricação.

5.2.6 Para tubos de aço-carbono, aço liga e aço inoxidável, calculados conforme ASME B31.1 e B31.3, devem ser consideradas as espessuras mínimas estruturais de parede descritas na Tabela 3. Para tubulações calculadas conforme ABNT NBR 15280-1 e NBR 12712, devem ser consideradas as espessuras mínimas definidas nestas normas. Critérios complementares devem ser considerados para definição da espessura de parede, tais como corrosão e tubulações de pequeno diâmetro em serviço crítico.

Tabela 3 - Espessuras Mínimas Estruturais de Parede de Tubulações

NPS		Aço-carbono e aço-liga	Aço inoxidável
1/2 a 1 1/2	Serviços classe 125 e Utilidades (Água, Ar, Vapor) na classe 150	Sch 80	Sch 40S
1 a 1 1/2	Linhas de Processo Utilidades nas classes 300 e acima	Sch 160	Sch 80S
2	Serviços classe 125	Sch 40	Sch 40S
	Linhas de Processo e Utilidades	Sch 80	Sch 40S
3 a 6		Sch 40	Sch 40S
8 a 10		0,250"	Sch 40S
12 a 26		0,250"	0,250"
28 a 30		0,312"	0,250"
32 a 42		0,375"	0,250"

5.2.7 As espessuras de parede dos tubos utilizados em linhas aquecidas por camisa de vapor ("steam jacket") devem ser calculadas observando-se condições de pressões interna e externa a que estiverem solicitadas independentemente uma da outra e as sobre espessuras de corrosão externa e interna.

5.2.8 O cálculo de componentes de tubulação não padronizados deve ser executado de acordo com os ASME B31.1 e B31.3, ABNT NBR 15280-1 e NBR 12712, onde aplicável, conforme 4.3 desta Norma.

5.3 Cálculo do Vão Entre Suportes

Aplicável para as tubulações dentro do escopo dos códigos ASME B31.1 e B31.3. Os vãos máximos são os apresentados nas Tabelas do Anexo B, que são válidas para tubulações de qualquer tipo de aço-carbono, com o mínimo de resistência estrutural do tubo API 5L Gr. B. No próprio Anexo B são apresentadas as expressões válidas para outros materiais metálicos.

5.4 Análise de Tensões Estáticas (Cálculo de Flexibilidade)

5.4.1 O cálculo de flexibilidade devido às dilatações (ou contrações) térmicas, aos movimentos dos pontos extremos da tubulação, ou à combinação desses efeitos, deve ser realizado como exigido pelas ASME B31.1 e B31.3, ABNT NBR 15280-1 e NBR 12712, onde aplicável.

5.4.2 Esse cálculo é obrigatório para todas as tubulações, exceto nos seguintes casos:

- casos de dispensa previstos nas ASME B31.1 e B31.3, ABNT NBR 15280-1 e NBR 12712;
- tubulações com temperatura máxima de operação entre 5 °C e 40 °C, não expostas ao sol e não sujeitas à limpeza com vapor ("steam out").

5.4.3 O cálculo de flexibilidade deve ser feito pelos seguintes métodos:

- método analítico geral;
- métodos gráficos reconhecidos, desde que a tubulação em questão enquadre-se exatamente dentro do campo estrito de aplicação do gráfico.

NOTA 1 Devem ser adotados programas de computador previamente aprovados pela PETROBRAS.

NOTA 2 Outros métodos podem ser admitidos desde que previamente aprovados pela PETROBRAS.

5.4.4 Os sistemas listados na Tabela 4 devem ser submetidos ao cálculo de flexibilidade utilizando métodos computacionais.

Tabela 4 - Sistemas que Devem ter a Análise de Flexibilidade Realizada Utilizando Métodos Computacionais

Sistemas	Temperatura (°C)	NPS											
		≤11/2	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	≥ 20
Tanques de armazenamento	Qualquer												
Resfriadores a ar	Qualquer												
Rotodinâmicos	Qualquer												
Geral	>260												
	≥ 205 e < 260												
	≥ 150 e < 205												
	≥ 90 e < 150												
	≥ 40 e < 150												
	≥ 5 e < 40												
	< 5												

5.4.5 A análise deve contemplar todas as condições de carregamento possíveis e aplicáveis, tais como: projeto, operação normal, teste hidrostático, limpeza com vapor, descarga de PSV, vapor de aquecimento, vento, entre outros.

5.4.6 Para cálculo de flexibilidade de linhas com temperatura acima de 40 °C devem ser considerados os critérios do código de projeto aplicável. Para determinação dos ranges de tensão devem ser consideradas as temperaturas descritas abaixo, associadas ao valor da pressão atuante simultaneamente:

- a) temperatura de projeto;
- b) temperatura de operação;
- c) temperatura do vapor de aquecimento, no caso de tubulação com aquecimento com vapor ("steam tracing");
- d) 60 °C: para todas as tubulações não isoladas expostas ao sol.
- e) temperaturas eventuais, tais como: anormalidades operacionais, emergência, limpeza com vapor ("steam out"), descoqueamentos de fornos ("steam air decoking");

NOTA Nos casos mais críticos, recomenda-se calcular com maior precisão a distribuição de temperatura ao longo da tubulação em análise. **[Prática Recomendada]**

5.4.6.1 Incursões de temperatura por curto período, de tubulações de processo (ASME B31.3), devem ser analisadas segundo os critérios do apêndice V do ASME B31.3.

5.4.6.2 Outros valores de temperatura possíveis, mas não listados nas enumerações anteriores, devem ser considerados, necessariamente, como casos de análise.

5.4.6.3 Para linhas conectadas a máquinas alternativas devem ser utilizadas temperaturas realistas evitando margens excessivas para determinação de temperatura de projeto.

5.4.6.4 No caso de limpeza com vapor ("steam out") considerar as condições estabelecidas na Tabela 5.

Tabela 5 - Temperaturas de Metal para Projeto Mecânico de Linhas Sujas a Limpeza com Vapor

	Vapor de baixa		Vapor de média	
	T (°C)	P (kgf/cm ²)	T (°C)	P (kgf/cm ²)
Linha não isolada	80	0,5	170	2,5
Linha isolada	130	0,5	200	2,5
Interno de Válvula	130	-	200	-
Equipamentos não isolados	70	-	160	-
Equipamentos isolados	130	-	200	-
NOTA 1 Dados válidos para análise de flexibilidade. NOTA 2 Para determinação das temperaturas de metal foram consideradas as seguintes condições: vapor de baixa T = 130 °C a 150 °C e P = 2 a 3 kgf/cm ² ; vapor de média T = 200 °C a 250 °C e P = 10 a 12,5 kgf/cm ² . NOTA 3 Para condições de vapor diferentes deve ser avaliada a temperatura de metal.				

5.4.7 Para as linhas frias ($< 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), além da verificação do 5.4.6, devem ser consideradas as incursões acima da temperatura de referência para cálculo do range máximo de tensões, tais como: temperaturas de operação acima da ambiente e temperatura ambiente máxima com o tubo fora de operação.

5.4.8 O cálculo de flexibilidade para condição de limpeza com vapor deve ser realizado considerando a tubulação totalmente conectada aos equipamentos.

5.4.9 A flexibilidade das tubulações deve ser conseguida por traçado não retilíneo adequado, devendo-se evitar o emprego de juntas de expansão (ou outros dispositivos equivalentes), bem como o pré-tensionamento ("cold spring"). O uso de qualquer um desses recursos só é permitido quando não houver outra solução técnica aceitável, devendo, em cada caso, a projetista apresentar justificativa do seu emprego para aprovação da PETROBRAS.

5.4.10 Quando a relação entre o diâmetro e a espessura da tubulação (D/e) for superior a 100 ou quando forem utilizados componentes de tubulação cujos coeficientes de intensificação de tensões não estiverem contemplados no apêndice D do ASME B31.1 e do ASME B31.3, deve ser realizada análise de tensões complementar conforme ASME Section VIII div. 2, utilizando o método dos elementos finitos. As condições de contorno (forças ou deslocamentos) para essa análise devem ser obtidas do modelo global de flexibilidade, devendo-se garantir que as mesmas não induzam a erros de simulação do modelo de elementos finitos. As memórias de cálculos devem ser submetidas à aprovação da PETROBRAS.

5.4.11 O cálculo de flexibilidade deve incluir, obrigatoriamente, a determinação de todos os esforços exercidos pela tubulação sobre os pontos fixos (ancoragem e pontos extremos da tubulação), bem como sobre todos os dispositivos existentes de restrição de movimento (tais como: batentes, guias longitudinais, transversais ou mistas). Deve ser considerado para restrições não lineares (que atuem em um só sentido, ou com folga) a real condição de contato de modo a não mascarar os resultados.

5.4.12 Devem, obrigatoriamente, ser considerados, para o cálculo de flexibilidade, os movimentos impostos à tubulação (exemplos: bocais de torres e vasos), considerando-se as diversas alternativas relativas a esses movimentos, inclusive condições de partida, parada e de operação, como por exemplo, fechamento de válvulas, criando condições alternativas distintas de temperatura entre trechos de tubulação.

5.4.13 Quando for necessário o emprego de juntas de expansão, estas devem estar calculadas de acordo com a EJMA STD. A projetista deve, obrigatoriamente, considerar os esforços devidos à reação pela pressão interna em regime permanente e transiente, à rigidez dos foles, às mudanças de direção e ao atrito nos suportes sobre os pontos de restrição adjacentes (tais como: ancoragens e bocais). Deve-se evitar juntas de expansão com limites de pressão inferiores aos da classe de pressão dos demais acessórios de tubulação.

5.4.14 Suportes de mola ou outros suportes móveis devem ser utilizados quando a instalação de apoios rígidos não for possível, em função dos movimentos previstos nos pontos de apoio.

5.4.14.1 O cálculo das cargas e movimentos para seleção ou dimensionamento desses suportes deve ser baseado no método analítico geral ou cálculo computacional, para garantir maior precisão.

5.4.14.2 Quando as soluções de projeto requererem procedimentos especiais de montagem ou teste, estes procedimentos têm de ser informados pela projetista em nota nos isométricos de tubulação ou em documento específico (memorial descritivo). Estes procedimentos ocorrem frequentemente nos casos em que as condições de teste, partida ou limpeza com vapor (regime transitório) forem muito diferentes das condições normais de operação (regime permanente).

5.4.14.3 Suportes de carga constante devem ser utilizados quando:

- a) a variação de carga dos suportes resultar em esforços além dos aceitáveis sobre os equipamentos;
- b) os suportes de mola de carga variável não atenderem aos requisitos de carga e deslocamento;
- c) sistemas de tubulação muito complexos, com diversas condições e ciclos de operação.

5.4.14.4 Suporte do tipo contrapeso só pode ser utilizado mediante aprovação prévia da PETROBRAS.

5.4.15 Para os valores máximos admissíveis dos esforços sobre os bocais dos equipamentos ligados às tubulações deve ser adotado o seguinte critério:

- a) para bombas, turbinas a vapor e compressores cujo projeto e construção obedeçam exatamente ao exigido pelas API [STD 610](#), [STD 611](#), [STD 612](#) e [STD 617](#), respectivamente: valores máximos ou critérios admitidos pelas referidas normas;
- b) para bombas, turbinas a vapor, compressores e outras não incluídas em a), recomenda-se que sejam obtidos do fabricante da máquina os valores dos esforços máximos admissíveis sobre os bocais, sendo essa providência indispensável para todos os tipos de compressores e para bombas e turbinas de grande porte; quando não for possível obter dados confiáveis, podem ser adotados como orientação os valores fornecidos pelas API citadas em a); **[Prática Recomendada]**
- c) para equipamentos de caldeiraria e válvulas especiais em tubulações de grande diâmetro, devem ser verificadas as tensões nos bocais ou nas extremidades e corpo de válvulas, através de métodos analíticos reconhecidos ou pelo método dos elementos finitos, aprovados pela PETROBRAS e em conformidade com as normas de projeto do equipamento.

NOTA Em casos especiais devem ser solicitados os esforços máximos admissíveis do fornecedor do equipamento.

5.4.16 Para tubulações em serviço crítico operando em alta temperatura e/ou elevado número de ciclos operacionais, ou sempre que solicitado pelas especificações de serviço da PETROBRAS, devem ser verificados os esforços nas ligações flangeadas conforme ASME [BPVC Section VIII - Division 1](#). Exemplos de linhas que se enquadram nessa condição: linhas de transferência forno-torre em unidades de destilação atmosférica e vácuo; linhas de topo e fundo de tambores de coque; linhas de gás de combustão e linhas de topo de vasos separadores de unidades de craqueamento.

5.4.17 Linhas de pequeno diâmetro (NPS 2 e menores) conectadas a equipamentos e tubulações sujeitos a grandes deslocamentos no ponto de conexão devem ser verificadas e projetadas para absorver esses deslocamentos atendendo aos limites dos códigos de B31 correspondentes.

5.5 Análise Dinâmica de Tubulações

5.5.1 É adotada a metodologia de análise dinâmica de tubulações conforme publicação do “Energy Institute: Guidelines for the Avoidance of Vibration Induced Fatigue Failure in Process Pipework”.

5.5.2 A seleção das tubulações a serem submetidas a análise dinâmica deve seguir o procedimento apresentado no Anexo D. Os seguintes sistemas de tubulação devem necessariamente ser submetidos à análise dinâmica:

- a) sistema de tubulações conectadas a bombas alternativas ou compressores alternativos (ver normas aplicáveis das respectivas máquinas);
- b) sistema de tubulações conectadas à PSV's que possuam variação de pressão maior ou igual a 10 kg/cm² ou diâmetro nominal maior ou igual a NPS 8;
- c) sistemas de tubulação com válvulas redutoras de pressão com ΔP elevado;
- d) sistema de tubulações onde existe ou pode existir fluxo bifásico;
- e) "header" de vapor, que durante o processo de partida estejam sujeitas a golpe de aríete ou martelo hidráulico;
- f) linhas transportando líquidos, sujeitas a golpe de aríete;
- g) linhas submetidas a abertura e fechamento repentino de válvulas;
- h) linhas de terminais ou estações de bombeamento de oleodutos com previsão de parada repentina das bombas;
- i) linhas ligadas a torres de resfriamento com previsão de parada repentina das bombas;
- j) tubulações verticais submetidas a cargas importantes de vento;
- k) tubulações submetidas a fluxo pulsante (ex. linha de "flare" entre vaso de "blow-down" e vaso de selagem);
- l) linhas de transferência (ver 5.5.7);
- m) sistemas de bombas de vácuo.

5.5.3 Antes da elaboração do projeto mecânico, averiguar a adequação dos dados do projeto de processo e operacionais, procurando eliminar fontes de excitação do sistema, tais como:

- a) velocidade de fluxo excessiva no interior do tubo;
- b) vaporização de líquido em regiões de baixa pressão. Conferir os dados das válvulas de controle, válvulas de alívio, válvulas redutoras de pressão e placas de orifício, como pressão disponível a jusante e perda de carga;
- c) escoamento pistonado;
- d) vaporização na saída de fornos;
- e) cavitação;
- f) injeção excessiva de vapor ou ar de aceleração;
- g) risco de vibração causada pela existência de trechos longos de derivações sem fluxo ("Dead Leg").

5.5.4 As linhas enquadradas conforme 5.5.2 devem ser submetidas à análise dinâmica modal para determinação dos modos de vibração e frequências naturais. Nesse caso a frequência natural mínima deve ser 4 Hz exceto nos casos previstos nos 5.5.6 e 5.5.7.

5.5.5 Em casos especiais em que a análise dinâmica modal e a fuga de frequências naturais críticas não sejam suficientes, devem ser realizadas análises dinâmicas adicionais à análise dinâmica modal, considerando apropriadamente os carregamentos dinâmicos atuantes. O tipo de análise dinâmica especializada (harmônica, história no tempo, espectral ou pulso dinâmico) deve ser selecionado em função da natureza do carregamento dinâmico e do sistema de tubulação. Como metodologia de análise consultar o Módulo T9 do "Guidelines for the Avoidance of Vibration Induced Fatigue Failure in Process Pipework do Energy Institute".

5.5.6 Os sistemas de tubulações conectados a compressores alternativos não devem ter frequências naturais próximas da frequência da máquina nem dos seus três primeiros harmônicos. As distâncias entre estas frequências devem obedecer às diretrizes estabelecidas pelo fabricante. Na falta destas diretrizes, adotar 20 % acima ou abaixo das frequências das máquinas e seus harmônicos. Além disso, devem ser considerados os requisitos específicos do Anexo E desta Norma e das API [STD 618](#) e API [RP 688](#).

5.5.7 Alguns sistemas de tubulação podem não atender o limite de frequência natural acima de 4 Hz, em função dos requisitos de flexibilidade (temperatura elevada, por exemplo). São exemplos às linhas de transferência forno-torre em unidades de destilação atmosférica e vácuo, linhas de topo e fundo de tambores de coque, linhas de gás de combustão e linhas de topo de vasos separadores de unidades de craqueamento catalítico. Caso o critério de frequência natural mínima não possa ser atendido, a solução proposta deve ser submetida à aprovação da PETROBRAS. Deve ser avaliada a necessidade de salvaguardas, como por exemplo, a instalação de sistemas de controle de amplitude de vibração, tais como amortecedores.

5.5.8 Os ramais de pequeno diâmetro de sistemas de tubulação sob risco de vibração [ver Anexo D e o 5.5.2 a) e c)] devem atender aos seguintes requisitos.

5.5.8.1 O traçado das tubulações de pequeno diâmetro deve ser o mais simples possível, minimizando comprimento e mudanças de direção.

5.5.8.2 Suportes dos ramais de pequeno diâmetro devem obrigatoriamente conectar as massas, como válvulas e flanges, à tubulação principal. Tais suportes têm como função tornar o movimento da referida massa, solidário ao movimento da tubulação principal, evitando vibração em oposição de fase e amplificação de movimentos. No Anexo F são apresentadas algumas configurações típicas. Quando na fase de projeto deve ser avaliado o uso de suportes fixados por soldas ao invés de braçadeiras.

NOTA Não é recomendável restringir o movimento através do uso de suportes fixados ao piso ou estruturas próximas. **[Prática Recomendada]**

5.5.8.3 Os suportes das tubulações de pequeno diâmetro devem ser fixados a esses ramais a jusante da primeira válvula de bloqueio.

5.5.8.4 Os suportes devem restringir movimento em pelo menos dois planos.

NOTA São exemplos de ramais de pequeno diâmetro: drenos, respiros, tomadas de instrumentação e linhas de contorno ("by-pass").

5.5.9 Condições Específicas a Considerar em Análise Dinâmica de Tubulações

5.5.9.1 Se existirem suportes e restrições de movimento com não linearidades, tais como apoios simples, atrito, folgas em guias, batentes entre outros, a projetista deve considerar na análise dinâmica o status compatível com a situação obtida por cálculo dos citados suportes e restrições na condição de operação. No caso de guias e restrições deve-se especificar a folga mínima adequada que minimize vibrações. Uma das alternativas para eliminar folgas de montagem é o uso de calços ("shim-plates"). Deve-se avaliar a conveniência do uso de placas de borracha amortecedora no ponto de contato entre o tubo e restrição, respeitando-se os limites de temperatura. Neste caso a dureza mínima da borracha deve ser 80 shore A.

5.5.9.2 Sempre que restrições, tais como guias ou travas, sejam consideradas necessárias para fins de aumento da rigidez e das frequências naturais do sistema de tubulação, folgas, inserção de materiais resilientes, suportes tipo trava vertical ("hold down"), ou a rigidez da restrição devem ser devidamente especificadas pelo projetista nos documentos de projeto, de modo que a função da restrição na minimização das vibrações seja garantida. Exemplos de suportes do tipo trava vertical são apresentados na Figura 1. Suportes ou restrições que não estejam em contato na condição de operação não devem ser considerados na análise dinâmica do sistema de tubulação.,

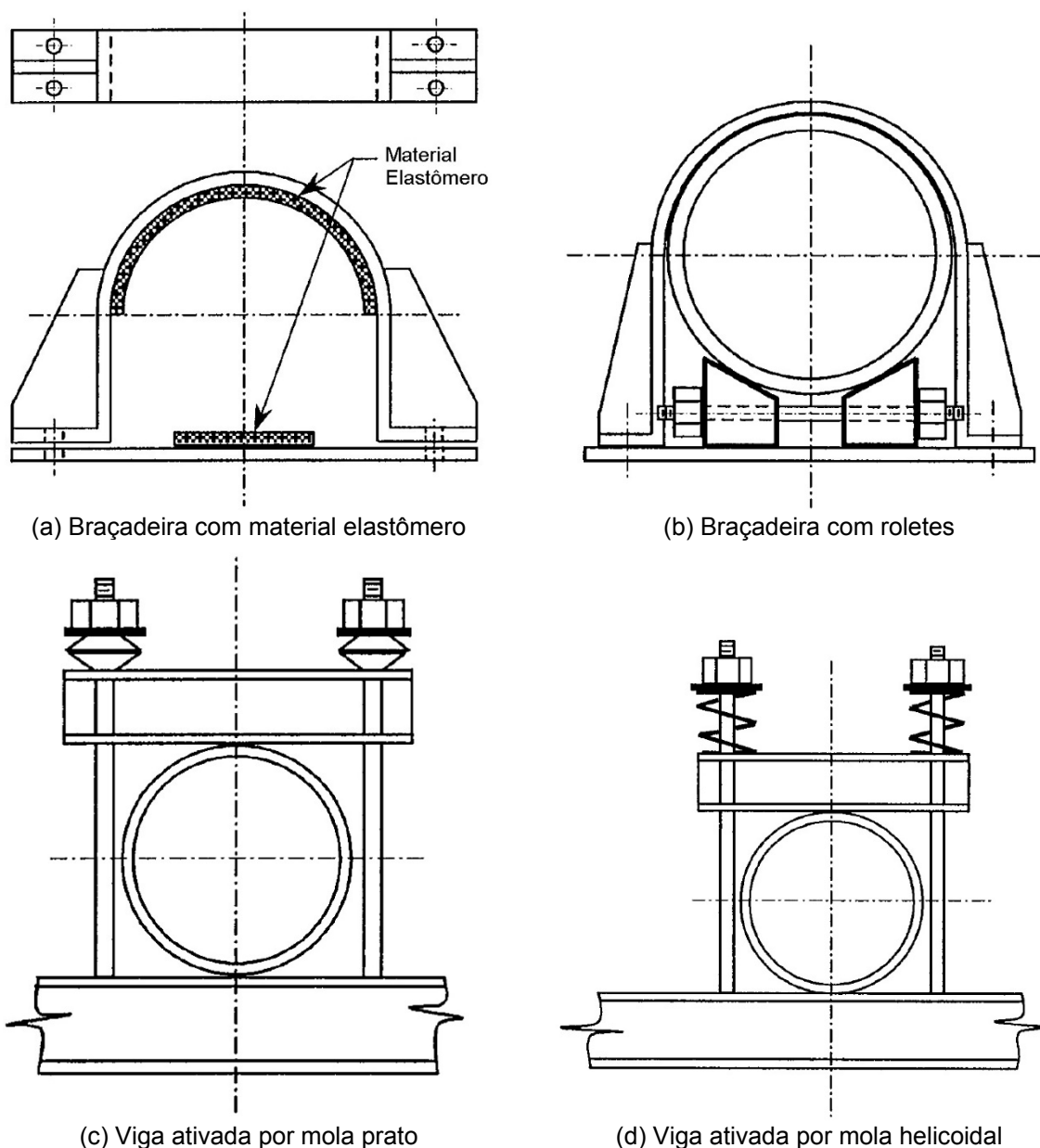


Figura 1 - Suportes do Tipo Trava Vertical ("Hold Down")

5.5.9.3 Sempre que a rigidez e a massa dos suportes de tubulação interferirem nas características dinâmicas dos sistemas (frequências e modos naturais de vibração) devem ser representadas no modelo de cálculo, seja pela inclusão da rigidez nos pontos de suportação, seja pelo acoplamento do modelo estrutural e de tubulação.

5.5.9.4 Quando for realizada análise dinâmica de tubulações para avaliação do risco de falha por fadiga nas tubulações, as tensões obtidas no cálculo devem atender aos limites estabelecidos no Anexo G.

5.5.10 Recomendações Gerais para Tubulações Sujeitas a Vibrações

5.5.10.1 Evitar derivações do tipo boca de lobo.

5.5.10.2 Utilizar penetração total para as soldas de clipes, suportes, bocais e outros dispositivos. Não utilizar soldas de filete.

5.5.10.3 Não soldar os suportes ou dispositivos de restrição da vibração diretamente à parede da tubulação. Usar almofada.

5.5.10.4 Onde aplicável, usar suportes especiais, reguláveis, com tecido de borracha amortecedora. Ver exemplos na Figura 1.

5.5.10.5 Recomenda-se instalar suportes perto de grandes massas e descontinuidades de tubulação como curvas e mudanças de direção. **[Prática Recomendada]**

5.5.10.6 Minimizar dentro do possível o uso de curvas e mudanças de direção.

5.5.10.7 Suportes de tubulação sujeitas a vibrações não devem ser instaladas em estruturas de plataformas de acesso, devendo preferencialmente ser instaladas como estruturas independentes transferindo as cargas dinâmicas diretamente ao solo ou a estruturas projetadas para absorver tais carregamentos.

5.6 Cálculo dos Esforços Sobre os Suportes

5.6.1 Para o cálculo dos pesos e das forças de atrito e de ancoragem atuantes sobre os suportes de tubulação, devem ser consideradas as cargas especificadas no B.5.1 do Anexo B e 5.4.11 desta Norma, relativas a todas as tubulações que estejam no suporte em questão. No caso de suportes para várias tubulações, não é necessário considerar o peso somado de todas as tubulações cheias d'água (situação de teste hidrostático), bastando, a critério da projetista, considerar o peso da água em algumas tubulações que possam ser testadas simultaneamente, considerando as demais vazias ou o peso de todas as tubulações cheias do fluido de operação, o que for maior. Este critério deve ser submetido à aprovação da PETROBRAS. A sobrecarga de 2 000 N, referida no B.5.1 do Anexo B, deve ser considerada como uma para cada suporte e não para cada tubulação no mesmo suporte.

5.6.2 Para o cálculo simplificado dos pesos nos suportes pode-se admitir como atuando em cada suporte, metade do peso total das tubulações e acessórios existentes no vão compreendido entre dois suportes consecutivos. No caso de suportes para um grande número de tubos, pode-se admitir que os pesos estejam distribuídos uniformemente em todo o comprimento do suporte, desde que as diferenças entre os pesos dos tubos não sejam muito grandes. Essas condições simplificativas de cálculo não podem ser adotadas para o cálculo de pesos em suportes de molas e contrapesos.

5.6.3 Devem ser calculadas as forças de atritos em todos os suportes em que possa haver movimento do tubo (ou dos tubos) em relação ao suporte nas tubulações com diâmetro nominal maior que NPS 3. Para o movimento de aço sobre aço deve ser considerado um coeficiente de atrito de 0,3. Deve ser evitado o uso de contato aço com aço em ambientes salinos. Quando necessário podem ser utilizados outros materiais como o Politetrafluoretileno (PTFE) ou grafite, para redução dos coeficientes de atrito, conforme dados dos fabricantes, mediante aprovação prévia da PETROBRAS. Para o movimento de aço inoxidável sobre PTFE deve ser considerado um coeficiente de atrito de 0,1. Em qualquer caso, as forças de atrito devem ser consideradas como agindo em ambos os sentidos. Quando o tubo tiver deslocamento lateral sobre o suporte, a força de atrito proveniente desse deslocamento deve também ser considerada.

5.6.4 Para o cálculo do esforço horizontal resultante devido à força de atrito de várias tubulações apoiadas no mesmo suporte, considerar um fator de simultaneidade em função do número de tubos, conforme indicado na Tabela 6.

Tabela 6 - Fator de Simultaneidade em Função do Número de Tubos

Número de tubos	1 a 3	4 a 7	Mais que 7
Fator de simultaneidade	1,00	0,75	0,5

5.6.5 Nos pontos de restrições de tubulações (ancoragem, guias e travas) tem-se a ação simultânea das reações devidas às dilatações térmicas e às reações de atrito consequentes das forças de atrito desenvolvidas nos suportes próximos à ancoragem considerada. Recomenda-se o seguinte procedimento para o cálculo da ação conjunta dessas reações: **[Prática Recomendada]**

- calcular a reação devida às dilatações, em cada restrição, sem o efeito do atrito nos suportes;
- calcular a reação devida às dilatações em cada restrição, com o efeito do atrito nos suportes;
- considerar o caso mais crítico dentre os acima;
- no caso da b) resultar na condição mais crítica, pode-se considerar o critério da projetista, que o atrito esteja atuando em 70 % dos suportes simultaneamente.

5.6.6 Para o dimensionamento dos suportes, apoios e restrições devem ser considerados, ainda, os esforços devidos ao vento.

5.6.7 Em linhas operando em temperaturas acima de 250 °C, deve ser efetuada análise de tensões localizadas nas atracações dos suportes levando em consideração o gradiente térmico ao longo destes suportes.

5.6.8 Para tubulações sujeitas a temperaturas eventuais mais elevadas que as de operação normal, resultantes de transientes operacionais ou de manutenção, tais como: lavagem com vapor ("steam out"), reações exotérmicas fortuitas e outros, a solução de suportação deve levar em consideração o caráter eventual destas condições transitórias, segurança operacional e custos. Preferencialmente, deve-se optar por adotar a solução do regime permanente, indicando-se no projeto, por meio de notas específicas nas plantas, desenhos e outros documentos, se algum procedimento complementar precisa ser adotado (por exemplo: suportação provisória ou suportação especial) devendo tal procedimento complementar ser submetido à aprovação da PETROBRAS.

6 Disposição Geral das Tubulações

6.1 O arranjo das tubulações deve ser o mais econômico, levando-se em conta as necessidades de processo, montagem, operação, segurança e facilidades de manutenção. Deve ser prevista a possibilidade de ampliação futura nos arranjos de tubulação, reservando-se espaço para esse fim.

6.2 Como regra geral, as tubulações devem ser instaladas acima do nível do solo.

6.2.1 Em terminais, parques de armazenamento e bases de provimento, permitem-se o uso de tubulações enterradas. A projetista deve avaliar o autobenefício desta solução, levando também em consideração os requisitos de segurança.

6.2.2 Em refinarias, unidades de processamento em geral e em indústrias petroquímicas, permitem-se tubulações enterradas somente para drenagem e para linhas de incêndio dentro de unidades de processo.

6.2.3 Tubulações com isolamento térmico ou com aquecimento, em princípio não devem ser enterradas. Caso seja imprescindível, devem ser tomados cuidados quanto à preservação do aquecimento, garantindo a integridade do isolamento e permitindo a dilatação térmica.

6.3 A altura mínima, acima do solo ou de um piso, para qualquer tubulação não subterrânea, dentro ou fora de áreas de processo, deve ser de, no mínimo, 300 mm, medidos a partir de geratriz inferior externa dos tubos. Essa altura deve ser sempre aumentada, quando necessário, para a instalação de acessórios na parte inferior dos tubos, como, por exemplo, botas para recolhimento de condensado e drenos com válvulas.

6.4 Devem ser evitadas as tubulações dentro de canaletas. Permite-se esse tipo de construção para linhas de drenagem, de água de resfriamento e de despejos, dentro de unidades de processo, e para linhas de sucção de máquinas, quando não houver alternativa viável.

6.5 As tubulações devem formar grupos paralelos, com a mesma elevação de geratriz externa inferior dos tubos (elevação de fundo). Esses grupos paralelos devem, sempre que possível, ter uma direção ortogonal de projeto (Norte-Sul ou Leste-Oeste), ou a direção vertical. As tubulações que trabalham em temperatura elevada devem ficar externamente no grupo de tubos paralelos e na maior elevação da tubovia para facilitar a colocação das curvas de expansão. Os tubos mais pesados devem ficar na menor elevação da ponte de tubulação ("pipe-rack") e mais próximos das colunas da ponte de tubulação. Grupos de tubulações horizontais paralelos devem ter elevações diferentes para direções diferentes. As tubulações que tenham derivações para diversas unidades ou para equipamentos de um lado ou de outro de uma tubovia central devem, preferencialmente, ficar no centro da tubovia. Por razões econômicas, tubos de grandes diâmetros ou com materiais especiais podem ter tratamento diferente do anteriormente descrito (ver Figura A.2.3, referências 4 e 6).

6.6 Dentro de áreas de processo, a maior parte possível das tubulações deve ser instalada sobre pontes de tubulação, como mostra a Figura A.2. Quando previsto tráfego de veículos, essas tubovias devem ter uma altura tal que permita um arranjo de tubulação com espaços livres mínimos de 4,5 m de altura por 3 m de largura. Quando for previsto tráfego somente de pessoas, a altura pode ser reduzida para 3 m e a largura 1 m. Quando estiver previsto o trânsito de equipamentos de movimentação ou elevação de cargas os espaços sob as tubovias devem ser adequados a esses equipamentos. Permitem-se trechos de tubulação a pequena altura do piso, desde que não obstruam as vias de tráfego de veículos e pessoas. Por razões de processo ou econômicas, permitem-se tubulações instaladas a grandes alturas convenientemente suportadas, ligando diretamente equipamentos entre si.

6.7 As tubulações de interligação, fora de áreas de processo, devem ser instaladas sobre suportes a pequena altura do piso. Havendo cruzamento com ruas ou avenidas, as tubulações devem ser instaladas em trincheiras (tubovias) permitindo a passagem de veículos em pontilhões, por cima das tubulações conforme mostra a Figura A.1. Em casos especiais pode ser analisada a não colocação de trincheira (travessias de linhas de incêndio ou linhas solitárias). A profundidade da trincheira deve ser a mínima possível, suficiente para:

- a) permitir a construção dos pontilhões;
- b) permitir que uma derivação do tubo de maior diâmetro possa passar por baixo da rua;
- c) deixar uma folga suficiente para permitir a entrada de pessoas por baixo dos pontilhões, para a inspeção e pintura das tubulações.

6.8 As tubulações sobre tubovias elevadas devem ser dispostas de tal forma, que as linhas de pequeno diâmetro fiquem entre duas linhas de grandes diâmetros, permitindo que as primeiras se apoiem nas últimas (suportes “caronas”) e reduzindo assim a necessidade de suportes intermediários.

6.9 Todas as tubulações elevadas devem ser projetadas de forma que não obstruam o acesso para pessoas. As tubulações não devem ser apoiadas sobre plataformas ou passadiços.

6.10 Devem ser sempre reservados espaços nos suportes elevados de tubulação (pontes de tubulação), para a passagem de dutos de instrumentação e cabos elétricos. Esses espaços, em princípio, são os seguintes (ver Figura A.2.3, referência 8):

- a) 800 mm x 300 mm - espaço total para dutos de instrumentação elétrica;
- b) 1 000 mm x 300 mm - interligações aéreas elétricas para iluminação e alimentação de cargas.

6.10.1 Prever, nas tubovias em geral, espaço de 25 % da sua largura para ampliação futura.
[Prática Recomendada]

6.10.2 Para cada projeto e para cada caso as dimensões finais das tubovias devem ser aprovadas pela PETROBRAS.

6.11 O espaçamento entre tubulações paralelas deve ter, no mínimo, os valores dados na Figura A.8.1. Para cruzamentos á 45° utilizar a Figura A.8.2. Em ambos os casos, deve-se levar em conta os deslocamentos que as tubulações possam ter em consequência das dilatações térmicas.

6.12 No caminhamento das tubulações deve ser prestada especial atenção aos casos em que haja alguma exigência de processo, tais como: declividade constante, ausência de pontos altos e mínimo de perda de carga.

6.13 O arranjo de toda tubulação deve ser feito prevendo-se acesso rápido e seguro aos equipamentos, válvulas e instrumentos, tanto para a manutenção como para operação (ver Figura A.2.3 referência 13). As tubulações e suportes devem ser locados de forma a permitirem a fácil desmontagem e retirada de todas as peças que forem desmontáveis.

6.14 Sempre que possível todos os bocais de descarga de grupos de bombas devem estar no mesmo alinhamento.

6.15 As curvas de expansão devem ser colocadas em elevação superior à tubulação (espaciais), exceto quando não for permitido por motivo de processo (linhas com declive constante, fluxo em duas fases e algumas linhas de sucção de bombas). Devem ser evitadas as curvas de expansão no plano vertical.

6.16 Todas as tomadas de utilidades, óleo de lavagem e “flushing”, bem como as linhas de válvulas de segurança devem ser instaladas no topo da linha-tronco.

6.17 As mudanças de direção devem obedecer aos requisitos apresentados em 6.17.1 a 6.17.4.

6.17.1 As mudanças de direção das tubulações devem ser feitas com o uso de curvas, joelhos, tês, cruzetas ou podem ser feitas por curvamento do próprio tubo. O uso de tê flangeado deve ser minimizado.

6.17.2 O curvamento dos tubos deve ser feito segundo os requisitos da PETROBRAS [N-115](#).

6.17.3 Em unidades de processo, as curvas em gomos devem ser projetadas segundo os códigos ASME [B31.1](#) e ASME [B31.3](#). Em terminais ou estações, o cálculo deve seguir a ABNT [NBR 15280-1](#) ou ABNT [NBR 12712](#), onde aplicável.

6.17.4 Em todos os casos acima, quando a curva não for a de raio longo, deve ser indicado nos desenhos qual foi a curva usada.

6.18 O emprego de flanges deve ser minimizado, permitindo-se normalmente apenas para ligações a válvulas, vasos, tanques, bombas ou outros equipamentos. Podem ser flangeadas as tubulações que necessitem de desmontagem frequente para limpeza ou inspeção e as tubulações com revestimento interno.

6.19 As tubulações com isolamento térmico devem obrigatoriamente ser providas de patins ou berços (ver 12.7.3), para a proteção do isolamento térmico, qualquer que seja o material, o diâmetro ou o serviço da tubulação (ver Figura A.2.3, referência 7).

6.20 Todos os flanges devem ser colocados de forma que a vertical ou as linhas Norte-Sul de projeto passem pelo meio do intervalo entre dois furos (ver Figura A.3).

6.21 Recomenda-se que, para tubulações de diâmetros iguais ou superiores a NPS 30, conduzindo líquido ou sujeitas a esforços dinâmicos ou ainda cuja perda de carga seja crítica, as derivações sejam feitas a 45° com o sentido de fluxo. **[Prática Recomendada]**

6.22 Curvas de expansão devem ter traçado em dois planos, de modo a permitir a locação de tubos adjacentes. No caso de linhas com caimento constante, linhas que não possam ter pontos altos, linhas de tocha, linhas sujeitas a formação de bolsões de líquido ou vapor, entre outros, o traçado das curvas de expansão devem ser no plano horizontal.

7 Arranjo de Tubulações Conectadas a Equipamentos

7.1 Condições Gerais

7.1.1 Nas tubulações de entrada de qualquer máquina (tais como bombas, turbinas e compressores) deve ser previsto um filtro temporário, de acordo com a PETROBRAS [N-118](#), exceto quando houver um filtro permanente na tubulação. A instalação do filtro temporário deve ser de forma que permita a sua fácil colocação e retirada.

7.1.2 As forças e os momentos causados pela tubulação sobre os bocais de qualquer máquina (devido à dilatação térmica, peso próprio ou de qualquer outra origem), devem ficar abaixo dos limites admissíveis fornecidos pelos fabricantes dessas máquinas. Os valores dados nas API [STD 610](#), API [STD 611](#), API [STD 612](#) e API [STD 617](#) podem ser tomados com uma indicação preliminar, devendo-se observar, entretanto, que a utilização dessas normas só é possível para as máquinas projetadas e construídas de acordo com todas as exigências dessas mesmas normas.