

LUÍS FERNANDO LIMAS FRAGA

VERIFICAÇÃO DE ADEQUAÇÃO DO PROJETO DE UMA TUBULAÇÃO DE  
INCÊNDIO DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO CONFORME AS NORMAS DA  
PETROBRAS

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller

Porto Alegre  
2010



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

VERIFICAÇÃO DE ADEQUAÇÃO DO PROJETO DE UMA TUBULAÇÃO DE  
INCÊNDIO DE UMA REFINARIA DE PETRÓLEO CONFORME AS NORMAS DA  
PETROBRAS

LUÍS FERNANDO LIMAS FRAGA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**ENGENHEIRO(A) MECÂNICO(A)**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Paulo Otto Beyer  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

***BANCA EXAMINADORA:***

Prof. Dr. BARDO E. JOSEFF BODMANN  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. PEDRO BARBOSA MELLO  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. SÉRGIO LUIZ FREY  
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre  
2010

Em memória de meu pai,  
*Hézio José Lopes Fraga.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha mãe *Clacy*, a meu pai *Hézio (in memoriam)*, a minha irmã e segunda mãe *Nena*, ao meu cunhado e segundo pai *Paulo*, aos meus irmãos *Nato* e *Nico* pelo amor, pela dedicação, pelos conselhos, pelo apoio e pela confiança.

Aos meus sobrinhos *Bruno*, *Brenda* e a meu afilhado *Lucas* pelos inúmeros momentos de alegria.

À minha futura esposa *Valesca* pela paciência e amor dedicados.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Sergio Viçosa Möller* pelo apoio, paciência, alegria e, principalmente, pelos conhecimentos passados com entusiasmo nesse período.

Ao professor *Francis H. R. França* pelos ensinamentos em sala de aula, pela confiança e pela pontualidade dos quais levarei sempre comigo.

À funcionária da Biblioteca *Vera Lúcia Fagundes Longaray* pelas conversas e por sua pronta disposição em ajudar.

Aos colegas de AeroDesign Minuano UFRGS, principalmente *Eng. Valtur V. Abade* e *Eng. Vitor W. Alves* pela amizade e companheirismo.

Ao *Eng. Luiz. V. Castilho* pelos ensinamentos e por ter me mostrado o caminho dos *Guerreiros do Coração*.

Aos *Guerreiros do Coração* pelos lindos momentos de minha vida em que tive o privilégio de compartilhar. Sou eternamente honrado por fazer parte de maravilhoso grupo de homens.

Ao sr. *Plínio* e Dona *Angelina* por terem confiado em mim todos estes anos.

Aos meus chefes *Eng. Wilmar Collovini* e *Francisco Polisseni* pela oportunidade, confiança, amizade e pelo aprendizado de vida.

Este trabalho contou com apoio da seguinte entidade:

- Empresa Estrutural Serviços Industriais Ltda.

“Se você acha que pode ou que não pode fazer algo,  
de qualquer maneira você está certo.”

*Henry Ford*

**FRAGA, L.F.L. Verificação de Adequação do Projeto de uma Tubulação de Incêndio de uma Refinaria de Petróleo Conforme as Normas da PETROBRAS.** 2010. 24 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **RESUMO**

O objeto de estudo deste trabalho é a verificação de adequação do projeto de uma tubulação projetada para fornecer água doce a um sistema de hidrantes e a um “Canhão Monitor” a ser utilizado no combate a incêndios no parque de bombas “D” situado dentro de uma refinaria de petróleo que faz parte do complexo de empresas da PETROBRAS, utilizando para isto as normas desta e as normas a que ela faz referência tais como ASME.B.31.3. Foram feitos cálculos conforme a literatura técnica e após comparados com os requisitos exigidos pela norma PETROBRAS. O levantamento dos dados foi feito durante o período de estágio obrigatório do autor que durou aproximadamente quatro meses.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tubulação de Incêndio, Petróleo, Normas PETROBRAS, Norma ASME.B31.3.

**FRAGA, L.F.L. Verification of Suitability of Design of a Pipeline Fire in a Petroleum Refinery According to PETROBRAS Standards.** 2010. 24 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

#### **ABSTRACT**

The object of this paper is the verification of the adequacy of a pipeline fire designed to provide fresh water to a hydrant system and a "Cannon Monitor" to be used in fire combat in the pumps park "D" located within a oil refinery complex that is part of the company PETROBRAS, using the standards of this and the standards that it references such as ASME.B.31.3. Calculations were made according to the technical literature and further compared with the standard requirements demanded by PETROBRAS. The survey was done during the probationary period required of the author that lasted about four months.

**KEYWORDS:** Pipeline Fire, Petroleum, PETROBRAS Standards, ASME.B31.3 Standards.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.2 - Croqui simplificado do sistema .....	3
Figura 5.2.5 - (a) Croqui do sistema; (b) Simplificação; (c) Esforços .....	7
Figura A.1 - Isométrico proposto .....	15
Figura B.1 – Exemplos de ramificações “boca de lobo” .....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 9.1 - Comparação dos dados: Tubulação principal .....	11
Tabela 9.2 - Comparação dos dados: Tubulação secundária.....	11
Tabela 9.3 - Especificação dos materiais .....	12
Tabela A.1- Tabela de espessura de Tubos .....	16
Tabela A.2- Tabela para seleção de ramificações .....	16
Tabela A.3- Vãos máximos entre suportes de tubulação.....	17
Tabela A.4- Tabela de pesos de tubos .....	17
Tabela A.5- Tabela das distâncias entre tubos .....	18
Tabela A.6- Seleção de tubos de condução de aço-carbono.....	18
Tabela A.7 - Seleção de materiais .....	19
Tabela A.8 - Normas dimensionais para válvulas Figuras .....	19
Tabela A.9 - Materiais para flanges de tubulação .....	19
Tabela A.10 - Padronização dos flanges de aço-carbono .....	19
Tabela A.11 - Seleção de juntas de vedação .....	20

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
AFO	Aço forjado
AFU	Aço fundido
ANSI	American National Standards Institute
API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSI	British Standards Institute
FFU	Ferro fundido
ISO	International Organization for Standardization
N/A	Não aplicável
REC	Redução concêntrica
STD	Standard
TIP	Típico
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
XS	Extra Strong
XXS	Double extra strong

## LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área [m <sup>2</sup> ]
C	Margem para corrosão [mm]
d	Diâmetro interno [pol]
D	Diâmetro externo [pol]
D <sub>p</sub>	Diâmetro da tubulação principal [m]
D <sub>s</sub>	Diâmetro da tubulação secundária [m]
e	Dilatação unitária [mm/m]
E	Coefficiente de solda; Módulo de elasticidade do material [N/A; MPa]
E <sub>c</sub>	Módulo de elasticidade do aço-carbono [MPa]
I	Momento de inércia [cm <sup>4</sup> ]
L	Comprimento da tubulação para cálculo simplificado [m]
L <sub>s</sub>	Distância máxima entre apoios [m]
P	Pressão interna de projeto [psi]
P <sub>a</sub>	Peso da água [N/m]
P <sub>t</sub>	Peso do tubo [N/m]
q	Carregamento [N/m]
Q	Vazão [m <sup>3</sup> /s]
S	Tensão na tubulação para o cálculo de flexibilidade [MPa]
S <sub>a</sub>	Tensão admissível para esforços de dilatação [psi]
S <sub>c</sub>	Tensão admissível na temperatura ambiente [psi]
S <sub>h</sub>	Tensão admissível a 60°C [psi]
t	Espessura da parede do tubo [mm]
V	Volume; Velocidade do escoamento [m <sup>3</sup> ; m/s]
V <sub>p</sub>	Velocidade do escoamento na tubulação principal [m/s]
Y	Coefficiente de redução [N/A]
δ	Flecha máxima [mm]
Ø	Diâmetro [pol; mm; m]
#	Classe; Libras [N/A; psi]
ρ	Densidade [kg/m <sup>3</sup> ]

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
2.1 Normas PETROBRAS.....	2
3. CONCEITOS BÁSICOS.....	2
3.1 Fogo – A reação química da combustão .....	2
3.2 Métodos de extinção do fogo.....	2
3.2.1 Extinção por retirada do calor (Resfriamento).....	2
4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	3
5. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	3
5.1 Cálculo da Tubulação Secundária.....	4
5.1.1 Cálculo do diâmetro .....	4
5.1.2 Cálculo da espessura das paredes.....	4
5.1.3 Cálculo dos pesos .....	5
5.1.4 Cálculo dos vãos máximos .....	5
5.1.5 Cálculo da flexibilidade .....	6
5.1.6 Cálculo da distância entre tubos .....	6
5.2 Cálculo da Tubulação Primária.....	6
5.2.1 Cálculo do diâmetro .....	6
5.2.2 Cálculo da espessura das paredes .....	6
5.2.3 Cálculo dos pesos .....	6
5.2.4 Cálculo dos vãos máximos .....	7
5.2.5 Cálculo da flexibilidade .....	7
5.2.6 Cálculo da distância entre tubos .....	8

6. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS .....	8
6.1 Tubos.....	9
6.2 Válvulas .....	9
6.3 Flanges .....	9
6.4 Juntas.....	10
6.5 Derivações.....	10
7. ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS .....	10
7.1 Ensaio visual de solda .....	10
7.2 Ensaio por líquido penetrante .....	10
7.3 Ensaio de ultrassom .....	10
8. PINTURA.....	10
8.1 Preparação da superfície .....	11
8.2 Tintas de fundo e acabamento.....	11
9. RESULTADOS E ANÁLISE.....	11
10. CONCLUSÕES .....	12
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	13
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	14
APÊNDICES – Isométrico proposto.....	15
ANEXOS.....	16
ANEXO A - Tabelas .....	16
ANEXO B – Figura B.1 .....	20

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de petróleo vem aumentando nas últimas décadas impulsionado pela crescente demanda de combustíveis e principalmente de seus derivados poliméricos.

Recentemente a PETROBRAS anunciou ter encontrado reservas de petróleo no Brasil no chamado Pré-Sal. Esta descoberta está movimentando toda uma cadeia produtiva para conseguir suprir, num espaço muito curto de tempo, as necessidades de mão-de-obra especializada para extrair e refinar o petróleo.

Entretanto, serão necessárias ampliações nas instalações das refinarias existentes ou, ainda, a construção novas unidades para conseguir absorver este excedente. Para isto, serão necessários profissionais com experiência em cálculos estruturais e nas normas da PETROBRAS. Neste contexto, o cálculo da rede de incêndio é de vital importância para se ter segurança no caso de acidentes. Um sistema mal dimensionado pode acarretar prejuízos imensuráveis.

Um incêndio pode destruir em poucas horas um valioso patrimônio, em cuja construção e crescimento foram investidos muito esforço e recursos econômicos, deixando a coletividade privada dos serviços e bens produzidos pelo estabelecimento atingido por este sinistro. O incêndio poderá atingir também as vidas dos ocupantes dos prédios, das equipes de emergência e terceiros. Num incêndio, além das perdas diretas, noticiadas pela imprensa e avaliadas em reais há outras perdas ditas indiretas, tão ou mais importantes como, por exemplo: Deficiências nos valores segurados gerando indenizações insuficientes; lucros cessantes, perda de mercados e de campanhas de publicidade; perdas para a comunidade no que tange a campanhas de racionamentos em virtude da diminuição da produção; perdas de vidas gerando, nos familiares e amigos, revoltas e distúrbios emocionais e psicológicos. (Hanssen, 2010).

O levantamento dos dados foi feito numa refinaria de petróleo durante o período de estágio obrigatório do autor que durou aproximadamente quatro meses do qual o mesmo vivenciou o dia-a-dia de um canteiro de obras.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem muitos códigos e normas, de diversos países, regulando o projeto, a fabricação, a montagem e utilização de tubulações industriais para as mais diversas finalidades, detalhando materiais, condições de trabalho, procedimentos de cálculo etc., bem como padronizando dimensões de tubos, válvulas e conexões de tubulação.

As principais normas e códigos de uso corrente sobre tubulações industriais são as seguintes:

- *American Standard Code for Pressure Piping - ANSI.B.31* - Código Geral sobre tubulações industriais, anteriormente denominado ASA.B.31 e USAS.B.31. O código ANSI.B.31 é separado em três divisões (B.31.1, B.31.2 e B.31.3), mas será utilizada neste trabalho somente a ANSI.B.31.3 *Chemical Plant and Petroleum Refinery Piping* que trata das tubulações em indústrias químicas e petroquímicas, refinarias e outras instalações petrolíferas. A norma ANSI.B.31.3 era parte integrante do *American Standard Code for Pressure Piping*, mas, a partir de 1959 tem sido publicada em separado, sendo reeditada a cada três anos e revisada duas vezes ao ano. A partir de 1980, essa norma foi adotada pela *American Society Mechanical Engineers* – passando a ter o prefixo ANSI/ASME.

- *American Society for Testing and Materials – ASTM A 53, ASTM A 105, ASTM A 106, ASTM A 216, ASTM B62* - Especifica materiais, abrangendo materiais para tubos válvulas, conexões, parafusos, juntas, materiais de isolamento, tintas, eletrodos etc.

- *American Society of Mechanical Engineers – ANSI/ASME.B.31.3, ANSI/ASME.B.16.5*
- Normas que especificam tipos, dimensões, classes de pressão nominal, materiais de construção, processos de fabricação etc.
- *American Petroleum Institute – API 602* - Normas americanas do setor petrolífero.

## **2.1 Normas PETROBRAS**

A PETROBRAS é a 18º maior empresa do mundo e a 7º no setor de petróleo e gás (Fonte: [www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br), acesso em Jun/2010). Mas estas colocações foram conseguidas com muito empenho e um controle de qualidade impecável, onde existem normas rigorosas a serem seguidas para qualquer atividade que se queira desenvolver dentro da empresa, seja nas plataformas off-shore de extração de petróleo, nas refinarias e até mesmo nos escritórios.

As normas são constantemente revisadas para manterem-se atualizadas. A maior parte das exigências feitas nas normas PETROBRAS é baseada em normas internacionais tais como ANSI/ASME B31.3( The American Society of Mechanical Engineers, Process Piping), API Standard 602 ( American Petroleum Institute, Compact Steel Gate Valves), mas também se utiliza das normas brasileiras tal como a ABNT NBR 5425 (Guia para Inspeção por Amostragem no Controle e Certificação de Qualidade).

## **3. CONCEITOS BÁSICOS**

### **3.1 Fogo – A reação química da combustão**

Segundo Hanssen (2010), combustão é uma reação química exotérmica, de oxidação rápida, que emite radiação eletromagnética nas faixas do infravermelho e do visível. Desse modo, o fogo pode ser entendido como uma entidade gasosa emissora de radiação e decorrente da combustão cujos reagentes são o combustível e o oxigênio do ar (comburente), reação esta que se processa com liberação de calor (calor de combustão) e luz (chama visível).

A reação química da combustão se inicia se houver uma energia de ativação (energia de iniciação) e se mantém à custa do calor (energia) liberado pela própria reação.

Juntando estes três elementos essenciais da combustão: Combustível, Calor e Comburente temos o chamado Triângulo da Combustão. Se for incluída a reação química para manter o processo, o triângulo se torna o chamado Tetraedro do Fogo.

### **3.2 Métodos de extinção do fogo**

Partindo do princípio de que, para haver fogo, são necessários o combustível, comburente e o calor, formando o triângulo do fogo ou, mais modernamente, o quadrado ou tetraedro do fogo, quando já se admite a ocorrência de uma reação em cadeia, para se extinguir o fogo, basta retirar um desses elementos.

Com a retirada de um dos elementos do fogo, têm-se os seguintes métodos de extinção: extinção por retirada do material, por abafamento, por resfriamento e extinção química.

#### **3.2.1 Extinção por retirada do calor (Resfriamento)**

Este método consiste na diminuição da temperatura e eliminação do calor, até que o combustível não gere mais gases ou vapores e se apague.

Como agente extintor a água age, principalmente, por resfriamento e abafamento, conforme seu estado físico. No estado líquido em um jato compacto ela age por resfriamento

e no estado gasoso ela age por abafamento, reduzindo a taxa de oxigênio e, conseqüentemente, sua inflamabilidade. (Brentano, 2004).

#### 4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O objeto de estudo deste trabalho é a verificação de adequação do projeto de uma tubulação projetada para fornecer água doce a um sistema de hidrantes e a um “Canhão Monitor” a ser utilizado no combate a incêndios no parque de bombas “D” situado dentro de uma refinaria de petróleo que faz parte do complexo de empresas da PETROBRAS, utilizando para isto as normas desta.

Esta tubulação ligará o Canhão Monitor e os hidrantes outras duas tubulações, ambas fornecendo água doce de um reservatório situado dentro da refinaria. Esta configuração é mostrada simplificada na figura 4.2.

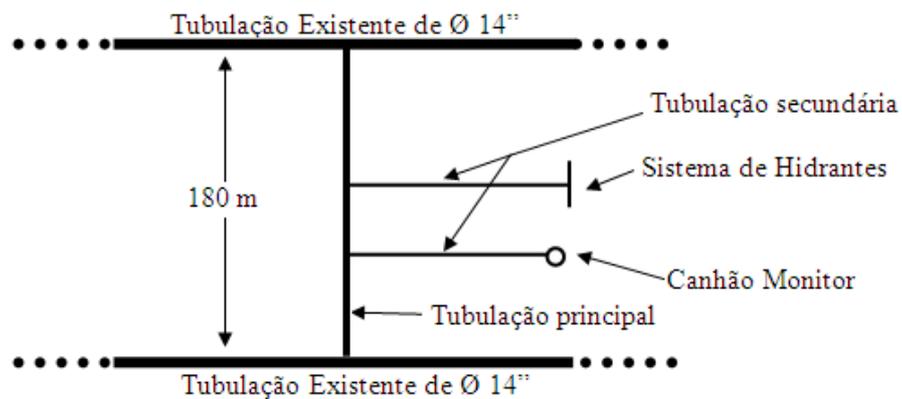


Figura 4.2. Croqui simplificado do sistema

Este sistema de incêndio deverá fornecer água com uma vazão mínima de 2000 l/min (120 m<sup>3</sup>/h) a uma pressão de no mínimo 7 kgf/cm<sup>2</sup> (700 kPa) para o canhão e para os hidrantes separadamente. Não serão abordados neste trabalho os procedimentos de soldas, pois estas já estavam concluídas quando o autor iniciou o estágio e por isso, não se tem os respectivos dados para serem comparados.

#### 5. METODOLOGIA DE CÁLCULO

O projeto de uma tubulação é uma parte importante do projeto global de uma instalação industrial. Nas indústrias de processo, o projeto de tubulações chega a atingir 45 a 60% do total de homens-hora gastos em todo o projeto global. A rede de tubulações abrange também, neste caso, toda ou quase toda área do terreno da indústria. Em um projeto de tubulação costumam ser sempre feitos os seguintes cálculos:

- Dimensionamento do diâmetro de cada tubulação.
- Cálculo da flexibilidade para verificar se cada trecho de tubulação é capaz de absorver, por meio de flexões e torções nos seus diversos lados, o efeito combinado das dilatações e movimentos dos pontos extremos da tubulação. Esses cálculos podem ser dispensados em alguns casos excepcionais.
- Cálculo de pesos, forças de atrito, esforços de ancoragem, reações das juntas de expansão, e demais cargas que a rede de tubulações esteja fazendo ou possa fazer sobre cada suporte.
- Cálculo da espessura de parede dos tubos.
- Cálculo dos vãos máximos entre suportes.

Conforme as normas PETROBRAS N-1673 “Critérios de Cálculo Mecânico de Tubulação”, N-115 “Fabricação e Montagem de Tubulações Metálicas” e N-57 “Projeto Mecânico de Tubulações Industriais” foram feitos os cálculos de dimensionamento da tubulação principal e secundária tomando-se por base os requisitos de projeto. Utilizou-se um conceito bem conhecido pelos engenheiros de campo que é “Atacar o problema pela fonte” isto é, lançou-se mão da engenharia reversa nestes cálculos, iniciando pela pressão e vazão exigidos no canhão e hidrantes seguindo pela tubulação secundária e terminando na tubulação primária.

## 5.1 Cálculo da Tubulação Secundária

### 5.1.1 Cálculo do diâmetro

O cálculo do diâmetro da tubulação secundária será feito em função da velocidade do fluido, portanto, toma-se o valor da vazão requerida e toma-se o valor da velocidade econômica do escoamento da água doce para instalações industriais, que segundo Telles (1997) fica em torno de 2 m/s a 3 m/s. Adotando-se os valores de vazão 0,033 m<sup>3</sup>/s e o menor valor para a velocidade econômica.

$$V = \frac{Q}{A} \quad \rightarrow \quad D_s = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}} \quad (1)$$

Onde:

- Q é a vazão (m<sup>3</sup>/s)
- V é a velocidade do escoamento (m/s).
- A é a área da seção transversal do tubo (m<sup>2</sup>).
- D<sub>s</sub> é o diâmetro do tubo secundário (m).

Aplicando-se a fórmula 1 :

Logo D<sub>s</sub> = 6” (0,14567 m)

### 5.1.2 Cálculo da espessura das paredes

A norma ANSI/ASME.B.31 estabelece, para o cálculo da espessura mínima de tubos sujeitos à pressão interna, as seguintes fórmulas, equivalentes entre si :

$$t = \frac{P \times D}{2 \times (S_h \times E + P \times Y)} + C \quad \text{ou} \quad t = \frac{P \times d}{2 \times (S_h \times E + P \times Y - P)} + C \quad (2)$$

Onde:

- P é a pressão interna de projeto (psi).
- D é o diâmetro externo do tubo (pol).
- d é o diâmetro interno do tubo (pol).
- S<sub>h</sub> é a tensão admissível do material na temperatura de projeto (psi).
- E é o coeficiente de eficiência de solda, válido para o caso dos tubos com costura. Para os tubos sem costura E = 1,0.
- Y é o coeficiente de redução de acordo com o material e a temperatura do tubo.
- C é a soma das margens para corrosão, erosão e abertura de roscas e de chanfros (pol).

Para tubos de aço carbono e temperaturas de até 485°C (905°F), a norma ANSI/ASME.B.31.3 adota  $Y=0,4$  e  $S_h = 86.724,4$  kPa(12.350psi), a PETROBRAS adota  $C=1,3\text{mm}$  (0,05118”) e  $P=2.746,8\text{kPa}$  (391,15psi).

Aplicando-se a fórmula 2, com  $E=1,0$ ;  $d=6''$  e todas as unidades no sistema inglês, se tem:

$$t = 4,05 \text{ mm (0,1591'')}$$

Entretanto, a norma PETROBRAS estabelece uma espessura mínima para as tubulações devendo-se adotar sempre a de maior valor. Neste caso, a tubulação é de  $\text{Ø}6''$  e a exigência é que se use a série (Schedule) 40. Conforme a tabela A.1 do anexo, a espessura de parede do tubo será de 7,11 mm.

### 5.1.3 Cálculo dos pesos

O peso do tubo, conforme a tabela A.4 do anexo é  $P_t = 28,2 \times 9,81$  (N/m) se tem então:

$$q = P_t + P_a \quad (3)$$

$$P_a = V \times \rho \quad (4)$$

Onde:

- q é o carregamento a que a tubulação está solicitada (N/m).
  - $P_a$  é o peso da água (N/m).
  - $P_t$  é o peso do tubo (N/m).
  - V é o volume da água dentro do tubo ( $V = 0,0182414\text{m}^3$ ).
  - $\rho$  é a densidade da água doce (arbitrada  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )
- Logo  $q = 455,57 \text{ N/m}$

### 5.1.4 Cálculo dos vãos máximos

Segundo Telles (1997) o cálculo do vão máximo é regido pela fórmula 5:

$$L_s = \sqrt[4]{\frac{\delta \times E \times I}{600 \times q}} \quad (5)$$

Onde:

- $\delta$  é a flecha máxima.
- $L_s$  é a distância máxima entre apoios (m).
- E é o módulo de elasticidade do material (MPa).
- I é o momento de inércia da seção transversal do tubo ( $\text{cm}^4$ ).
- q é o carregamento a que a tubulação está solicitada (N/m).

Em áreas de processo, a flecha máxima admitida ( $\delta$ ) é 10 mm para tubulações de 4” ou maiores. Fazendo-se os cálculos com  $E = 2 \times 10^5$  MPa, e obtém-se:

$$L_s = 9,6 \text{ m}$$

Entretanto, a norma N-46 padroniza os vãos máximos entre suportes de tubos de aço sem revestimento interno, em trechos retos, dentro e fora dos limites de unidades de processo. Conforme a tabela A.3 do anexo, o vão máximo é de 8,2 m, contudo, a montagem da tubulação foi feita em suportes já existentes onde o comprimento máximo dos vãos é de 5,66 m, estando, portanto, dentro dos limites de aceitabilidade por ser inferior.

### 5.1.5 Cálculo da flexibilidade

O cálculo da flexibilidade pode ser dispensado em função desta ser de pequeno comprimento e sua dilatação ser muito baixa conforme a norma.

### 5.1.6 Cálculo da distância entre tubos

A distância entre tubos é uma padronização de arranjo estabelecida pela PETROBRAS. Na tabela A.5 do anexo pode se ver que a distância entre centros de um tubo para o outro deve ser de 320 mm.

## 5.2 Cálculo da Tubulação Primária

### 5.2.1 Cálculo do diâmetro

Aplicando-se a fórmula 6 para uma vazão duas vezes maior pois são dois tubos de Ø6" para se alimentar se tem:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \times 2 \times Q}{\pi \times V}} \quad (6)$$

Onde:

-  $D_p$  = diâmetro da tubulação principal (m)

Portanto  $D_p = 0,31932$  m (8")

Mas como a PETROBRAS já dispunha da tubulação e esta era de Ø10" optou-se, por razões econômicas, utilizá-lo. Contudo a velocidade do escoamento mudou e o novo valor deve ser calculado utilizando-se a fórmula 7, portanto:

$$V_p = \frac{Q}{A} \quad (7)$$

Onde  $V_p$  é a velocidade do escoamento na tubulação principal. Utilizando-se a fórmula 7 se tem  $V_p = 1,31$  m/s.

### 5.2.2 Cálculo da espessura das paredes

Da mesma forma que se calculou a espessura da parede da tubulação secundária, procede-se para a tubulação principal, mas agora utilizando  $d = 10''$  e a fórmula 2:

$$t = 5,7 \text{ mm } (0,2237'')$$

Contudo, a espessura mínima para o diâmetro de Ø10" é também especificado pela série (Schedule) 40. Conforme a tabela A.1 do anexo, a espessura da parede do tubo será de 9,27mm.

### 5.2.3 Cálculo dos pesos

O peso do tubo, conforme a tabela A.6 do anexo é  $P_t = 60,2 \times 9,81$  (N/m),  $V = 0,05067\text{m}^3$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  e utilizando as fórmulas 3 e 4 se tem:

$$q = 1.087,63 \text{ N/m}$$

### 5.2.4 Cálculo dos vãos máximos

Da mesma forma que se calculou o vão máximo da tubulação secundária, procede-se com a tubulação principal, mas agora com de Ø10". Onde  $I = 2.175,4 \text{ cm}^4$  e utilizando a fórmula 5, tem-se :  $L = 9,03 \text{ m}$

Conforme a tabela A.3 do anexo o vão máximo é de 10,2 m, contudo, a montagem da tubulação foi feita em suportes já existentes onde o comprimento dos vãos é de 6 m, estando, portanto, dentro dos limites de aceitabilidade por ser inferior.

### 5.2.5 Cálculo da flexibilidade

Em virtude do aquecimento da tubulação, a mesma dilata devendo-se verificar a necessidade de se construir uma curva de expansão que está representada no croqui da figura 5.2.5(a) e para isto será utilizado o método da viga em balanço guiada.

Segundo Telles (1997) o método da viga em balanço guiada (Guided-cantilever Method) é um método aproximado para o cálculo das tensões internas e dos esforços de reação nos extremos de uma tubulação. No estabelecimento deste método, foram feitas algumas hipóteses simplificativas:

- Não há deformações ou rotações nos ângulos.
- Não são levadas em consideração as torções.

Em virtude destas simplificações, os resultados obtidos são conservativos, isto é, são sempre superiores aos reais, pois os sistemas são mais flexíveis do que o considerado nas hipóteses acima.

Na tubulação principal existem duas curvas de expansão e estas deverão responder, cada uma, por metade da flexibilidade da tubulação. Os cálculos foram feitos baseados na norma ANSI/ASME.B31.3. para uma das curvas. Foi feita, ainda a simplificação mostrada na figura 5.2.5(b) e 5.2.5(c).

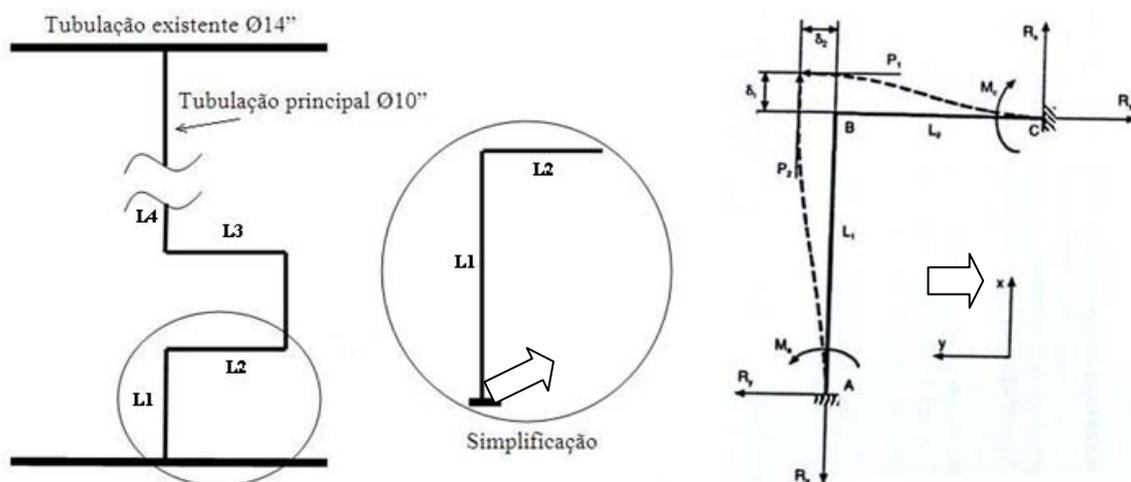


Figura 5.2.5- (a) Croqui do sistema; (b) Simplificação; (c) Esforços.

Procede-se o cálculo para cada metade da curva e, como elas estão simplesmente apoiadas, faz-se a média das tensões encontradas. Conforme a norma, segue-se os cálculos com as fórmulas 8 e 9:

$$S_1 = \frac{3 \times E_c \times D \times e \times L_2}{L_1^2} = \frac{K \times L_2}{L_1^2} \quad S_2 = \frac{3 \times E_c \times D \times e \times L_1}{L_2^2} = \frac{K \times L_1}{L_2^2} \quad (8 \text{ e } 9)$$

Onde :

- $S_1$  é a tensão no tubo  $L_1$  (MPa).

- $S_2$  é a tensão no tubo  $L_2$  (MPa).

- $E_c$  é o módulo de elasticidade do aço-carbono na temperatura ambiente. ( $2 \times 10^5$ MPa)

-  $L_1$  e  $L_2$  são os comprimentos do tubos da metade da curva de expansão.(m)

- “ e ” é a dilatação unitária com o valor de 0,72 mm/m.

Para que o sistema seja considerado como trecho de flexibilidade suficiente, deve-se ter:

$$\frac{K \times L_2}{L_1^2} \leq S_a \quad \text{e} \quad \frac{K \times L_1}{L_2^2} \leq S_a \quad (10 \text{ e } 11)$$

$$S_a = (1,25 \times S_c + 0,25 \times S_h) \quad (12)$$

Onde:

-  $S_a$  é a tensão admissível para esforços de dilatação (psi). Conforme a norma ANSI/ASME.B.31.3

-  $S_c$  e  $S_h$  são as tensões admissíveis (psi) na temperatura ambiente e  $60^\circ\text{C}$ , respectivamente.

Sendo  $S_c = 12,350$  psi (86,724 MPa),  $S_h = 12,052$  psi (84,631 MPa),  $L_1 = 35,48$  m,  $L_2 = 5,68$  m e utilizando-se as fórmulas 8,9, 10, 11 e 12, tem-se para a parte inferior da curva:

$S_a = 18,450.5$  psi (129,632 MPa)

$S_1 = 583,07$  KPa e  $S_2 = 128,381$  Mpa

Assumindo  $L_4 = 38$  m e  $L_3 = 5,68$  m, tem-se para a parte superior da curva:

$S_3 = 139,1$  Mpa e  $S_4 = 115,93$  KPa

$S_{\text{médio}} = 133,74$  MPa

A média dos valores de  $S_2$  e  $S_3$  é o valor  $S_{\text{médio}}$  que é 3,1 % maior que o valor aceitável, entretanto, como já explicado, este método tende a majorar os valores das tensões calculadas, estando, contudo, dentro dos limites aceitáveis de 5%, conforme a norma.

## 5.2.6 Cálculo da distância entre tubos

Da mesma forma que se procedeu com a tubulação secundária, na tabela A.5 do anexo pode se ver que a distância entre centros da tubulação principal para as demais tubulações da tubovia deve ser de 570 mm, pois a tubulação que está ao lado da principal possui diâmetro de 14”.

## 6. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

A norma N-1693 “Critério para Padronização de Material de Tubulação” estabelece os critérios para padronização dos materiais de tubulação a serem usados nas classes de pressão 125, 150, 250, 300, 600, 900 e 1 500, nas instalações da PETROBRAS, compreendendo:

- Instalações terrestres e marítimas de perfuração e produção;
- Instalações de processo e utilidades em refinarias;
- Parques de armazenamento em refinarias;
- Estações de bombeamento, compressão e medição de oleodutos/gasodutos em refinarias;
- Tubovias dentro dos limites de refinarias;
- Drenagem industrial;

g) Oleodutos, gasodutos, bases de armazenamento e terminais (incluindo estações de bombeamento, compressão e medição, parques de armazenamento, estações de tratamento de efluentes) em áreas fora de refinaria.

## 6.1 Tubos

Os tubos de aço-carbono e aço-liga, nos diâmetros nominais até 80", devem atender à norma dimensional ASME B36.10, observando-se os seguintes critérios:

- a) Não devem ser adotados os diâmetros nominais de 1/8", 3/8", 1 1/4", 3 1/2", 5" e 7";
- b) O emprego de tubos com diâmetros nominais de 22", 28", 32", 34", 38", 40", 44" e 46", deve ser precedido de análise econômica, sujeito à aprovação da PETROBRAS;
- c) Tubos de 2 1/2" devem ser utilizados apenas em sistemas de combate a incêndio.

As espessuras de tubos para os diâmetros nominais até 10" devem ser designadas pela série ("schedule") ou pelas siglas correspondentes à indicação de parede (STD), (XS) e (XXS) ou pela espessura em polegadas quando necessário; para diâmetros nominais iguais ou superiores a 12" as espessuras devem, preferencialmente, ser designadas em polegadas.

Conforme a tabela A.6 do anexo deve ser usado um tubo padrão ASTM A53 Grau B com ou sem costura, mas pode-se usar ainda como alternativa o tubo padrão ASTM A 106 Grau B. Entretanto, o tubo utilizado na tubovia principal possui diâmetro de 10" de padrão API 5L sem costura Grau B, de série (Schedule) 40. Contudo, esta desconformidade do projeto em relação as normas da PETROBRAS se deu em função da mesma dispor desta tubulação e da decisão de se aproveitá-la.

## 6.2 Válvulas

Conforme a tabela A.7 do anexo, a válvula a ser utilizada para bloqueio de fornecimento de água das tubulações de 14" de diâmetro para a tubulação principal deve ser do tipo gaveta classe 150# com seu corpo fabricado com aço fundido padrão ASTM A 216 grau WCB que é um aço fundido que pode ser soldado e trabalhar em altas temperatura e seus internos fabricado com Bronze padrão ASTM B 62. Como alternativa para os internos de válvula podem ser aceita a especificação AISI equivalente. As válvulas dos suspiros (*vents*) e drenos são selecionadas conforme a tabela A.7 do anexo com diâmetro de Ø 3/4" classe 200# conforme a norma.

Conforme a tabela A.8 do anexo, o material do corpo e as extremidades da válvula de aço fundido devem seguir a ISO 10434 que é baseada na norma API STD 600.

## 6.3 Flanges

Para a seleção dos flanges, deve-se seguir as orientações da tabela A.9 do anexo e para tubos de aço-carbono padrão API 5L Grau B ou ASTM 106 Grau B, o material do flange deve ser padrão ASTM A 105 de aço forjado.

Os flanges devem ainda ser padronizados conforme a tabela A.10 do anexo na classe de pressão de 150#. Os flanges a serem utilizados na tubulação serão flanges de pescoço, pois segundo Telles (1997), "além de ser o tipo mais utilizado em tubulações, depois dos flanges integrais é o mais resistente, com melhor transmissão de esforços do flange para o tubo, que permite melhor aperto, e que dá origem a menores tensões residuais em consequência da soldagem e das diferenças de temperatura".

## **6.4 Juntas**

Conforme se pode verificar na tabela A.11 do anexo, a junta para classe de pressão 150# escolhida foi a de papelão hidráulico em Aramida por atender aos requisitos de pressão e de temperatura e dentre as apresentadas, a de menor custo.

## **6.5 Derivações**

O critério para a seleção do tipo de ramificação deve seguir a orientação da tabela A.2 do anexo. Conforme se pode verificar, as derivações da tubulação existente de Ø14” para a tubulação principal de Ø10” deve ser do tipo boca de lobo com reforço. As derivações da tubulação principal com a secundária de Ø6” deve ser do tipo boca de lobo sem a necessidade de se soldar reforços.

## **7. ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS**

Todas as soldas de tubulações, depois de completadas, devem ser submetidas a exames não-destrutivos para verificar a ocorrência de possíveis defeitos. A norma N-115 (FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE TUBULAÇÕES METÁLICAS) fixa as condições mínimas exigíveis para os ensaios não destrutivos. Estas condições são feitas em função do “P-number” que no caso do aço-carbono é 1. Para este P-number a norma designa uma classe de ensaios que para este caso é a classe II que exige os seguintes ensaios:

### **7.1 Ensaio visual de solda**

A norma exige o ensaio visual em 100% das soldas.

### **7.2 Ensaio por líquido penetrante**

A norma exige o ensaio por líquido penetrante em 10% das soldas “boca de lobo” e soldas em ângulo.

### **7.3 Ensaio de ultrassom**

A norma exige o ensaio por ultra-som em 10% das soldas circunferenciais e em 100% das soldas longitudinais.

## **8. PINTURA**

A norma N-442 (PINTURA EXTERNA DE TUBULAÇÕES EM INSTALAÇÕES TERRESTRES) tem por objetivo fixar o procedimento para a seleção do esquema de pintura externa de tubulações, inclusive flanges, válvulas, tês, reduções e demais acessórios, em instalações terrestres. A tubulação encontra-se classificada na condição 2 item 4.2 da norma, a saber: “Ambiente: seco ou úmido, contendo ou não gases derivados de enxofre, com ou sem salinidade. Tubulação de utilidades, de processo e de transferência, sem isolamento térmico. Temperatura de operação: da temperatura ambiente até 120 °C”.

## 8.1 Preparação da superfície

Quando a superfície for preparada manualmente esta recebe a designação ST3, isto é, o metal deve ter a superfície totalmente escovada sem vestígios de tintas, oleosidades ou oxidações. Para preparações com jato de granalhas, a superfície deverá ter a mesma aparência, mas com uma rugosidade em torno de 75µm e receberá a designação Sa 2 ½.

## 8.2 Tintas de fundo e acabamento

Aplica-se uma demão de tinta de fundo epóxi-fosfato de zinco de alta espessura, norma PETROBRAS N-2630, quando o acabamento for Sa2 ½. Quando o acabamento for ST3 aplica-se uma demão de tinta de fundo epóxi pigmentada com alumínio, conforme norma PETROBRAS N-2288. Em ambas, a espessura mínima de película seca deve ser de 100 µm.

Após a aplicação da tinta de fundo deve-se executar a pintura de acabamento com as cores estabelecidas pela norma PETROBRAS N-4 que neste caso é vermelho-segurança 1547. Deve ser aplicada 1 demão de tinta de poliuretano acrílico, conforme norma PETROBRAS N-2677, com espessura mínima de película seca de 70 µm por demão.

## 9. RESULTADOS E ANÁLISES

Após o estudo das normas e a execução dos cálculos, procedeu-se a verificação do que realmente foi executado em campo em relação ao que exige as normas da PETROBRAS. Os dados estão todos colocados nas tabelas 9.1, 9.2 e 9.3. O isométrico proposto pode ser visto na figura A.1 do apêndice.

Tabela 9.1 - Comparação dos dados: Tubulação principal

Descrição	Requerido	Executado	Observações
<b>Diâmetro</b>	8"	10"	Desconforme: Tubulação aproveitada
<b>Espessura de parede</b>	Schedule 40 8,18 mm	Schedule 40 9,27 mm	Conforme: Schedule 40 Ø10"
<b>Vãos entre suporte</b>	10,2 m	6 m	Conforme: Suporte existente
<b>Flexibilidade</b>	SIM	SIM	Conforme
<b>Distância lateral</b>	570 mm	580 mm	Conforme

Tabela 9.2 - Comparação dos dados: Tubulação secundária

Descrição	Requerido	Executado	Observações
<b>Diâmetro</b>	6"	6"	Conforme
<b>Espessura de parede</b>	Schedule 40 7,11 mm	Schedule 40 7,11 mm	Conforme
<b>Vãos entre suporte</b>	8,2 m	5,66 m	Conforme: Suporte existente
<b>Flexibilidade</b>	NÃO	SIM	Conforme: Adequação geométrica
<b>Distância lateral</b>	570 mm	6000 mm	Conforme

Tabela 9.3 - Especificação dos materiais

<b>Descrição</b>	<b>Requerido</b>	<b>Executado</b>	<b>Observações</b>
<b>Tubos</b>	ASTM A 53 Gr.B ASTM A106 Gr.B	API 5L	Desconforme: Tubulação aproveitada
<b>Válvulas 10"</b>	Gaveta ASTM A216	Gaveta ASTM A216	Conforme
<b>Válvulas 3/4"</b>	Gaveta ASTM B62	Gaveta ASTM B62	Conforme
<b>Flanges</b>	De pescoço ASTM A105	De pescoço ASTM A105	Conforme
<b>Derivações</b>	BL com reforço 10" BL sem reforço 6" e 3/4"	BL com reforço 10" BL sem reforço 6" e 3/4"	Conforme

## 10. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta um estudo de análise da aplicação das normas de projeto, fabricação e montagem de sistemas de tubulação executados dentro de refinarias da PETROBRAS.

O estudo foi totalmente embasado nas normas da PETROBRAS e em outras as quais esta faz referência, tais como ANSI/ASME, API, ASTM etc. Pode-se verificar o quão rigoroso é o processo de seleção de materiais e procedimentos na execução de um projeto.

A análise mostra que a utilização das normas é fundamental no desenvolvimento do projeto. Todas as atividades são desenvolvidas seguindo normas rigorosas.

Quando alguma atividade está desconforme com os procedimentos adotados pela norma, uma equipe qualificada analisa a desconformidade da atividade permitindo ou não sua realização ou ainda desenvolve um novo procedimento a ser adotado pela norma PETROBRAS.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

API STANDARD 602 SEVENTH EDITION, OCTOBER 1998.

ASME.B.31.3 -2006.

ASME B16.5 -2006.

N-4 Rev. E - USO DA COR EM INSTALAÇÃO TERRESTRE Out/1995

N-46 Rev. C - VÃOS MÁXIMOS ENTRE SUPORTES DE TUBULAÇÃO Dez/2001.

N-57 Rev. E - PROJETO MECÂNICO DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS Ago/2005.

N-59 Rev. D - SÍMBOLOS GRÁFICOS PARA DESENHOS DE TUBULAÇÃO Abr/2004.

N-76 Rev. F - MATERIAIS DE TUBULAÇÃO PARA INSTALAÇÕES DE REFINO E TRANSPORTE Dez/2004.

N-105 Rev. D - ESPAÇAMENTO ENTRE TUBOS Nov/2006.

N-108 Rev. C - SUSPIROS E DRENOS PARA TUBULAÇÕES E EQUIPAMENTOS Set/2003.

N-115 Rev. E - FABRICAÇÃO E MONTAGEM DE TUBULAÇÕES METÁLICAS Nov/2007.

N-0442 Rev. M - PINTURA EXTERNA DE TUBULAÇÕES EM INSTALAÇÕES TERRESTRES Nov/2005.

N-1673 Rev. E - CRITÉRIOS DE CÁLCULO MECÂNICO DE TUBULAÇÃO Jun/2004.

N-1693 Rev. E - CRITÉRIO PARA PADRONIZAÇÃO DE MATERIAL DE TUBULAÇÃO Set/2003.

N-2288 Rev. D - TINTA DE FUNDO EPOXI PIGMENTADA COM ALUMÍNIO Mai/2004.

N-2630 Rev.A - TINTA EPOXI - FOSFATO DE ZINCO DE ALTA ESPESSURA Mai/2005.

Telles, Pedro Carlos da S. **Tubulações industriais: materiais, projeto, montagem.** 9ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

Hanssen, Cláudio. **Proteção contra incêndios e explosões.** Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2010.

## **BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

N-1522 Rev. D - IDENTIFICAÇÃO DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS Jul/2005.

N-1692 Rev. B APRESENTAÇÃO DE PROJETOS DE DETALHAMENTO DE TUBULAÇÃO Fev/2004.

Möller, Sergio V. **Notas de aula da disciplina ENG 03195- Canalizações**. Departamento de Engenharia Mecânica, DEMEC/UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2010.

ABADE, V. V. **Estudo de um Sistema de Chuveiros Automáticos Contra Incêndio para o Prédio do Cinema da UFRGS – Sala Redenção**. 2009. 00f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

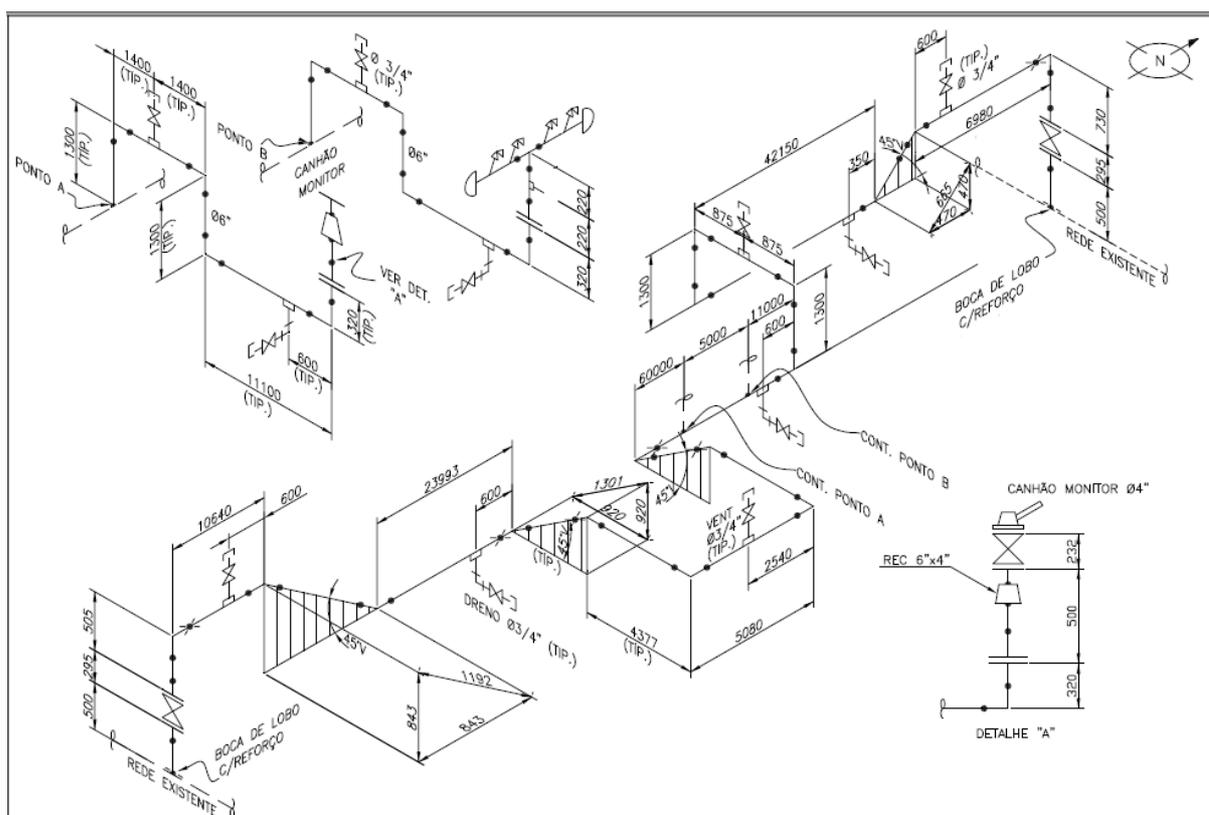
## APÊNDICE – ISOMÉTRICO PROPOSTO

A figura A.1 mostra a configuração final do sistema de incêndio. Os drenos foram dispostos na geratriz inferior da tubulação de cada trecho entre elevações e os suspiros (*vents*) foram dispostos na geratriz superior.

As linhas de 6" estão desenhadas fora do local para uma melhor visualização. No isométrico se pode ver a posição do canhão monitor, dos hidrantes, dos pontos de solda (Pontos pretos) e as respectivas dimensões em milímetros. As válvulas, tubulações e a redução são especificadas em polegadas conforme a norma.

A orientação em relação ao norte também configura item da norma, pois as tubulações percorrem direções sempre paralelas ou ortogonais entre si sempre orientadas por uma direção geográfica.

Figura A.1- Isométrico proposto para o sistema



# ANEXOS

## ANEXO A- TABELAS

Tabela A.1 - Tabela de espessura de Tubos (Apostila Estrutural, 2010)

ESPESSURA DE TUBOS ANSI B-36.10										
										
DIÂMETROS		ESPESSURA - PAREDE DE TUBO (mm) SCHEDULE - ESCALA								
Nominal	Externo (mm)	5	10	20	30	STD	40	Ext. For.	80	160
1/8"	10	-	1,24	-	-	1,73	1,73	2,41	2,41	-
1/4"	14	-	1,65	-	-	2,23	2,23	3,02	3,02	-
3/8"	17	-	1,65	-	-	2,31	2,31	3,20	3,20	-
1/2"	21	-	2,11	-	-	2,77	2,77	3,73	3,73	4,75
3/4"	27	1,65	2,11	-	-	2,87	2,87	3,91	3,91	5,54
1"	33	1,65	2,77	-	-	3,38	3,38	4,55	4,55	6,35
1.1/4"	42	1,65	2,77	-	-	3,56	3,56	4,85	4,85	6,35
1.1/2"	48	1,65	2,77	-	-	3,68	3,68	5,08	5,08	7,14
2"	60	1,65	2,77	-	-	3,91	3,91	5,54	5,54	8,71
2.1/2"	73	2,11	3,05	-	-	5,16	5,16	7,01	7,01	9,52
3"	89	2,11	3,05	-	-	5,49	5,49	7,62	7,62	11,12
3.1/2"	102	2,11	3,05	-	-	5,74	5,74	8,08	8,08	-
4"	114	2,11	3,05	-	-	6,02	6,02	8,56	8,56	13,49
5"	141	2,77	3,40	-	-	6,55	6,55	9,52	9,52	15,87
6"	168	2,77	3,40	-	-	7,11	7,11	10,97	10,97	18,24
8"	219	2,77	3,76	6,35	7,03	8,18	8,18	12,70	12,70	23,01
10"	273	3,40	4,19	6,35	7,80	9,27	9,27	12,70	15,06	28,57
12"	324	3,96	4,57	6,35	8,38	9,52	10,31	12,70	17,46	33,30
14"	356 (14")	-	6,35	7,92	9,52	9,52	11,12	12,70	19,06	35,71
16"	406 (16")	-	6,35	7,92	9,52	9,52	12,70	12,70	21,41	40,46
18"	457 (18")	-	6,35	7,92	11,12	9,52	14,27	12,70	22,08	45,24
20"	508 (20")	-	6,35	9,52	12,70	9,52	15,06	12,70	26,19	49,99
22"	559 (22")	-	6,35	-	-	9,52	-	12,70	-	-
24"	610 (24")	-	6,35	9,52	14,27	9,52	17,45	12,70	30,94	59,51
26"	660 (26")	-	-	-	-	9,52	-	12,70	-	-
30"	762 (30")	-	7,92	12,70	15,87	9,52	-	12,70	-	-
34"	864 (34")	-	-	-	-	9,52	-	12,70	-	-
36"	914 (36")	-	-	-	-	9,52	-	12,70	-	-
42"	1067 (42")	-	-	-	-	9,52	-	12,70	-	-

Tabela A.2 – Tabela para seleção de ramificações (N-1693 PETROBRAS)

TRONCO														
<2"	2"	3"	4"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	>24"	
TE	COLAR ROSQUEADO (VER NOTA 1) COLAR DE ENCAIXE (VER NOTA 1)			MEIA LUVA (VER NOTA 1)										<2"
				SEM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR BOCA DE LOBO				COM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR COLAR DE TOPO OU BOCA DE LOBO COM REFORÇO						2"
			SEM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR BOCA DE LOBO OU TE (VER NOTA 2)	COM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR BOCA DE LOBO COM REFORÇO OU COLAR DE TOPO OU TE (VER NOTA 2)				SEM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR BOCA DE LOBO OU TE (VER NOTA 2)						3"
				COM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR BOCA DE LOBO COM REFORÇO OU COLAR DE TOPO OU TE (VER NOTA 2)				COM NECESSIDADE DE REFORÇO: USAR COLAR DE TOPO OU BOCA DE LOBO COM REFORÇO OU TE (VER NOTA 2)						4"
														6"
														8"
														10"
														12"
														14"
														16"
														18"
														20"
														24"
														>24"

## ANEXO A- TABELAS

Tabela A.3 – Vãos máximos entre suportes de tubulação (N-46 PETROBRAS)

Diâmetro Nominal		SCH., ou ESP. em in	Tubo + Água m	Vãos Máximos (m)					
				Tubo + Água + Isolamento					
				°C 35 a 200		°C 201 a 330		°C 331 a 400	
mm	in	mm	Vão	mm	Vão	mm	Vão		
12	1/2	80	3,2	25	2,7	25	2,7	25	2,5
		160	3,2		2,8		2,8		2,6
19	3/4	80	3,5	63	2,4	63	2,2	63	1,9
		160	3,5		2,7		2,5		2,2
25	1	80	3,9	63	3,1	63	2,8	63	2,5
		160	4,0		3,2		3,1		2,7
40	1 1/2	80	4,7	63	3,9	63	3,8	63	3,3
		160	4,8		4,1		4,0		3,7
50	2	40	5,0	51	4,3	63	3,9	63	3,4
		80	5,2		4,6		4,4		3,9
80	3	40	6,1	51	5,6	63	5,4	63	4,8
		80	6,3		5,8		5,7		5,3
100	4	40	6,9	51	6,3	63	6,1	63	5,5
		80	7,1		6,7		6,5		6,2
150	6	40	8,2	51	7,7	63	7,5	76	6,6
		80	8,6		8,2		8,0		7,5
200	8	20	8,8	51	8,3	76	7,9	89	6,7
		40	9,2		8,8		8,5		7,4
250	10	20	9,5	63	9,0	89	8,2	102	7,0
		40	10,2		9,7		9,4		8,2
300	12	.250	10,0	63	9,5	89	8,6	102	7,4
		.500	11,4		10,9		10,6		9,7
350	14	.250	10,3	63	9,8	89	8,8	102	7,5
		.500	11,8		11,3		11,1		10,0
400	16	.250	10,6	63	10,0	102	8,9	102	7,7
		.500	12,4		11,9		11,6		10,4
450	18	.250	10,8	63	10,2	102	9,1	102	7,9
		.500	12,9		12,4		12,1		10,7
500	20	.250	10,9	63	10,4	102	9,3	114	8,0
		.500	13,4		12,9		12,6		10,9
600	24	.250	11,1	63	10,7	102	9,6	114	8,3
		.375	13,5		13,0		11,7		10,1
750	30	.500	14,3	63	13,8	114	13,2	126	11,4
		.250	11,3		10,9		9,8		8,5
		.375	13,9		13,5		12,1		10,5
		.500	15,3		14,9		13,8		11,9

Tabela A.4 - Tabela de pesos de tubos (Apostila Estrutural, 2010)

Diâm. Nominal (pol)	Diâmetro externo		Espessura da Parede		Peso		Identificação		
	pol / inch	mm	pol / inch	mm	lbs pé	kg m	std.	std X-S, XX-S	sched. n°
6"	6,625	168,3	0,188	4,8	12,89	19,2	5 L 5 LX	Std.	40
			0,219	5,6	14,97	22,3	5 L 5 LX		
			0,250	6,4	17,02	25,3	5 L 5 LX		
			0,280	7,1	18,97	28,2	5 L 5 LX		
			0,312	7,9	21,07	31,4	5 L 5 LX		
			0,344	8,7	23,06	34,3	5 L 5 LX		
			0,375	9,5	25,03	37,2	5 L 5 LX		
			0,432	11,0	28,57	42,5	5 L 5 LX		
			0,562	14,3	36,42	54,2	5 L		
			0,719	18,3	46,34	67,5			
			0,864	21,9	53,16	79,1			

Diâm. Nominal (pol)	Diâmetro externo		Espessura da Parede		Peso		Identificação		
	pol / inch	mm	pol / inch	mm	lbs pé	kg m	std.	std X-S, XX-S	sched. n°
10"	10,750	273,0	0,188	4,8	21,15	31,5	5 L 5 LX	Std.	20
			0,203	5,2	22,88	34,0	5 LX		
			0,219	5,6	24,60	36,6	5 L 5 LX		
			0,250	6,4	28,04	41,7	5 L 5 LX		
			0,279	7,1	31,20	46,4	5 L 5 LX		
			0,307	7,8	34,24	51,0	5 L 5 LX		
			0,344	8,7	38,20	56,8	5 L 5 LX		
			0,365	9,3	40,48	60,2	5 L 5 LX		
			0,438	11,1	48,19	71,7	5 L 5 LX		
			0,500	12,7	54,74	81,5	5 L 5 LX		
			0,594	15,1	64,40	95,8	5 L		
			0,719	18,3	77,00	115,0			
			0,844	21,4	89,27	133,0			
			1,000	25,4	104,13	155,0	XX-S		
			1,125	28,6	115,64	172,0			

## ANEXO A- TABELAS

Tabela A.5 – Tabela das distâncias entre tubos (Telles, 1997)

DIST "A"	DIÂMETROS NOMINAIS (POUNÇOS)	1	1 ½	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
450	24	550	570	570	600	620	650	670	700	720	750	770	800	820	850
400	20	500	520	520	520	550	570	600	620	650	670	700	720	750	
370	18	470	470	470	500	520	550	570	600	620	620	650	670		
350	16	450	450	450	470	470	500	520	570	600	600	620			
350	14	400	420	420	450	450	470	500	520	550	570				
300	12	370	400	400	400	420	450	470	500	520					
250	10	350	350	350	370	370	400	420	470						
250	8	320	320	320	350	350	370	400							
200	6	270	270	270	300	300	320								
200	4	250	250	250	270	270									
150	3	220	220	220	250										
150	2	170	200	200											
150	1 ½	170	170												
150	1	150													

OBS.: AS DIMENSÕES ESTÃO INDICADAS EM MILÍMETROS.  
 NOTAS: 1 — AS DISTÂNCIAS DA TABELA DEVERÃO SER AUMENTADAS NOS SEGUINTE CASOS:  
 A — QUANDO UM OU AMBOS OS TUBOS TIVEREM ISOLAMENTO TÉRMICO.  
 B — QUANDO EXISTIREM FLANGES COINCIDENTES EM TUBOS VIZINHOS.  
 C — QUANDO FOREM ESPERADOS GRANDES MOVIMENTOS LATERAIS.  
 2 — DISTÂNCIA "A" — DISTÂNCIA MÍNIMA DA LINHA DE CENTRO DE UM TUBO EXTREMO À EXTREMIDADE DO SUPORTE.

Tabela A.6- Seleção de tubos de condução de aço carbono (N-1693 PETROBRAS)

Aplicação Típica	Diâmetro Nominal	Especificação Básica	Alternativas
Uso exclusivo em tubulação de água	1/2" a 14"	ASTM A53 Gr. B	s/cost. ou c/cost. ASTM A 106 Gr. B
	16" e maiores	ASTM A53 Gr. B	c/cost. ASTM A 134 c/chapa ASTM A 283 Gr. C
			ASTM A 134 c/chapa ASTM A 285 Gr. C ASTM A 139 Gr. B
Uso com hidrocarbonetos ou vapor com temperatura até 400 °C (exceto para serviços com H <sub>2</sub> S)	1/2" a 14"	API 5L Gr. B PSL 2	s/cost. ou c/cost. (ver Nota) ASTM A 106 Gr. B
	16" e maiores	API 5L Gr. B PSL 2	c/cost. ASTM A 672 Gr. A55 Cl.12
Uso com hidrocarbonetos ou vapor com temperatura na faixa de 400 °C a 430 °C e para serviços com H <sub>2</sub> S e H <sub>2</sub>	1/2" a 14"	ASTM A 106 Gr. B	s/cost. -
	16" e maiores	ASTM A 672 Gr. B 60 Cl. 22	c/cost. ASTM A 106 Gr. B
Descarte e carregamento de catalisador limitado à temperatura de 430 °C	1/2" a 10"	ASTM A 106 Gr. B	s/cost. -

## ANEXO A- TABELAS

Tabela A.7 - Seleção de materiais (N-1693 PETROBRAS)

Diâmetro 1/2" - 1 1/2"		Bloqueio		Regulagem		Retenção	
		Gaveta		Globo		Portinhola/Pistão	
Aplicação	Classe	Corpo e Internos				Corpo e Internos	
Água	200	Bronze ASTM B 62				Bronze ASTM B 62	
	300	Bronze ASTM B 61				Bronze ASTM B 61	AFO ASTM A 182 Gr. F6a

Diâmetro 2" e Maiores		Bloqueio			Retenção		
		Gaveta			Globo/Portinhola		
Aplicação	Classe	Corpo	Internos		Corpo	Internos	
Água	125	FFU ASTM A 126 Cl. B	FFU ASTM A 126 Cl. B	Bronze ASTM B 62	FFU ASTM A 126 Cl. B	Bronze ASTM B 62	
	150	AFO ASTM A 216 Gr. WCB	Bronze ASTM B 62		AFO ASTM A 216 Gr. WCB	Bronze ASTM B 62	
	250	FFU ASTM A 126 Cl. B	Bronze ASTM B 61		FFU ASTM A 126 Cl. B	Bronze ASTM B 61	
	900	AFO ASTM A 216 Gr. WCB	AFO ASTM A 182 Gr. F6a/Steelite®		AFO ASTM A 216 Gr. WCB	AFO ASTM A 182 Gr. F6a/Steelite®	
	1500	AFO ASTM A 216 Gr. WCB	AFO ASTM A 182 Gr. F6a/Steelite®		AFO ASTM A 216 Gr. WCB	AFO ASTM A 182 Gr. F6a/Steelite®	

Tabela A.8- Normas dimensionais para válvulas (N-1693 PETROBRAS)

Tipo de Válvula	Material do Corpo e Extremidades da Válvula					
	Bronze	Ferro Fundido		Aço Fundido		Aço Forjado
	Rosca	Flange	"WAFER"	Flange	Solda de Topo	Encaixe de solda
Gaveta		MSS SP-70		ISO 10434 (ver Nota 1)		ISO 15781 (Ver Nota 2)
Globo	MSS SP-80	CEN EN 13789		BSI BS 1873		
Retenção		MSS SP-71	API STD 504	BSI BS 1888		

Tabela A.9 - Materiais para flanges de tubulação (N-1693 PETROBRAS)

Liga Básica	Material do Tubo	Material do Flange
Aço-Carbono	ASTM A 106 Gr. B	ASTM A 105
	ASTM A 153 Gr. B	
	API 5L Gr. B	
	ASTM A 672 Gr. B60	

Tabela A.10 - Padronização dos flanges de aço-carbono (N-1693 PETROBRAS)

Diâmetro Nominal	FLANGES DE AÇOS-CARBONO					
	CLASSES DE PRESSÃO					
	Norma ASME B16.1		Norma ASME B16.5			
	125	250	150 e 300	400 a 900	1 500	2 500
1" a 12"	Usar Flange ASME B16.5 Classe 150	Usar Flange ASME B16.5 Classe 300	ASME B16.5			
14" a 24"						
26" a 36"			ASME B16.47 Série A		Calculados pelo ASME BPVC Sec. VIII Divisão 1 Apêndice 2 (Ver Nota)	
42" a 60"	Usar Flange ASME B16.47 Série A	Usar Flange ASME B16.47 Série A	ASME B16.47 Série B			

## ANEXO A- TABELAS

Tabela A.11 - Seleção de juntas de vedação (N-1693 PETROBRAS)

Aplicação	Neoprene	Papelão Hidráulico em Aramida + NBR ASME B16.21	Metálica Espiralada em AISI 304 com Enchimento de Grafite Flexível ASME B16.20 (ver Notas 1, 2 e 3)	Anel Metálico ASME B16.20	Metálica Espiralada em "Monel" com enchimento de PTFE ASME B16.20
Água Vapor Ar Produtos Químicos Nitrogênio, CO <sub>2</sub> Espuma	Neoprene até 150# 0 ≤ T ≤ 100 °C	até 150# 0 ≤ T ≤ 150 °C	até 600# T ≤ 430 °C	a partir de 600#	—

## ANEXO B – FIGURA B.1

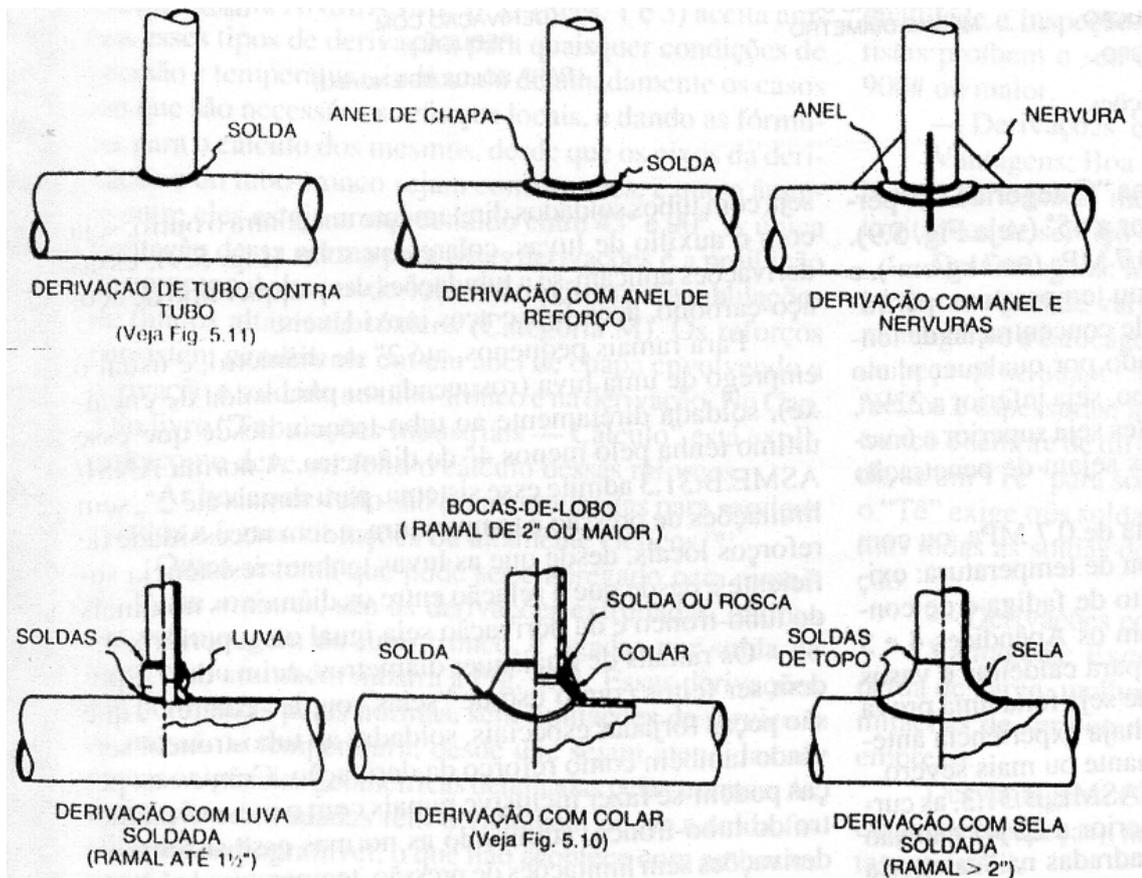


Figura B.1 – Exemplos de ramificações “boca de lobo” com e sem reforço. (Telles, 1997)