

ÍNDICE

<i>CAPÍTULOS E AUTORES</i>	iii
<i>LISTA DE TABELAS</i>	xvii
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	xix
<i>APRESENTAÇÃO(1)</i>	xxix
<i>APRESENTAÇÃO(2)</i>	xxxi
<i>PREFÁCIO</i>	xxxiii
1 - O CICLO DE VIDA DE UM EMPREENDIMENTO DE DUTOS	1.1
1.1 INTRODUÇÃO	1.1
1.2 HISTÓRICO	1.2
1.2.1 Os primeiros dutos	1.2
1.2.2 Histórico de dutos na Europa e Ásia	1.3
1.2.3 Dutos de Gás Natural	1.3
1.2.4 Evolução da tecnologia	1.3
1.2.5 Expansão do modal dutoviário	1.4
1.2.6 Dutos no Brasil	1.4
1.3 ETAPAS DO CICLO DE VIDA DE UM EMPREENDIMENTO DE DUTO	1.6
1.4 ETAPA DE ANÁLISE DAS OPORTUNIDADES - FEL 1	1.7
1.4.1 Fase FEL 1 aplicada a um empreendimento de duto	1.8
1.4.2 O Licenciamento Ambiental	1.9
1.4.3 Definição do traçado do duto	1.9
1.4.4 Definição do prazo de construção	1.10
1.4.5 Orçamento de um empreendimento de dutos	1.10
1.4.5.1 Tubulações	1.10
1.4.5.2 Construção e montagem do duto	1.11
1.4.5.3 Produto para enchimento da linha tronco	1.12
1.4.5.4 Custos de operação e manutenção	1.12
1.4.5.5 Custos com contrapartidas ambientais	1.12
1.4.5.6 Custos para atendimento a condicionantes da licença de operação	1.12
1.4.6 Análise de alternativas	1.13
1.5 FASE DE ENGENHARIA CONCEITUAL (FEL 2)	1.13
1.5.1 O Projeto Conceitual	1.13
1.5.2 Avaliação de Risco na Fase Conceitual	1.14
1.5.3 Plano do Projeto Preliminar	1.14
1.5.4 Fase FEL 2 aplicada a um empreendimento de duto	1.14
1.6 FASE DE ENGENHARIA BÁSICA – FEL 3	1.14
1.6.1 O Projeto Básico	1.15
1.6.2 Avaliação de Risco na Fase de Engenharia Básica	1.15
1.6.3 Plano de Projeto Final	1.16
1.7 ETAPA DE IMPLANTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO	1.16
1.7.1 O Projeto Executivo	1.16
1.7.2 Atividades típicas da etapa de implantação de um empreendimento de dutos	1.16
1.7.2.1 Fase de Construção e Montagem	1.16
1.7.2.2 Condicionamento e Comissionamento	1.16
1.8 ETAPAS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (O&M)	1.17
1.8.1 Fases anteriores à entrada em regime permanente de operação	1.17
1.8.2 Fase de operação em regime permanente	1.18
1.9 ETAPA DE DESATIVAÇÃO	1.19
1.9.1 Plano de desativação	1.19
1.9.2 Aprovação do órgão ambiental	1.19
1.9.3 Condições de manutenção de duto sem previsão de retornar à operação	1.19
1.9.4 Condição básica para retorno à operação	1.20
1.10 BIBLIOGRAFIA	1.20

2 - ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS E GASES EM DUTOS

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

- 2.1.1 Dimensões e Unidades
- 2.1.2 Fluido
 - 2.1.2.1 Viscosidade
- 2.1.3 Velocidade e Aceleração
- 2.1.4 Vazão Volumétrica e de Massa
- 2.1.5 Energia do Sistema
- 2.1.6 Relações de Estado
 - 2.1.6.1 Gases
 - 2.1.6.2 Líquidos
 - 2.1.6.3 Densidade Relativa

2.2 FUNDAMENTOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS

- 2.2.1 Distribuição de Pressão Hidrostática
- 2.2.2 Sistemas e Volumes de Controle
- 2.2.3 Relações Integrais para Volumes de Controle
 - 2.2.3.1 Conservação de Massa
 - 2.2.3.2 Conservação de Quantidade de Movimento Linear
 - 2.2.3.3 Conservação de Energia
- 2.2.4 A Equação de Bernoulli
 - 2.2.4.1 Linha Piezométrica e Linha de Energia

2.3 ESCOAMENTO VISCOZO EM DUTOS

- 2.3.1 escoamento Laminar (Hagen-Poiseuille)
- 2.3.2 escoamento Turbulento
 - 2.3.2.1 Fator de Atrito em Dutos Lisos e Rugosos
 - 2.3.2.2 Redução de Arraste pela Adição de Polímeros
 - 2.3.2.3 Rugosidade Absoluta - Oleodutos e Gasodutos
- 2.3.3 Perdas Localizadas
- 2.3.4 Expansão Súbita e Contração Súbita
- 2.3.5 Curvas
- 2.3.6 Entradas e Saídas

2.4 ESCOAMENTO DE LÍQUIDOS

- 2.4.1 Cálculo da Queda de Pressão
- 2.4.2 Cálculo da Vazão
- 2.4.3 Cálculo do Diâmetro
- 2.4.4 Sistema com Dutos Múltiplos
 - 2.4.4.1 Queda de Pressão para Dutos em Série
 - 2.4.4.2 Queda de Pressão para Dutos em Paralelo
- 2.4.5 escoamento Através de Orifícios
 - 2.4.5.1 Placa de Orifício
 - 2.4.5.2 Bocal
 - 2.4.5.3 Venturi

2.5 ESCOAMENTO DE GASES

- 2.5.1 escoamento Isentrópico em Venturis, Bocais e Orifícios
 - 2.5.1.1 Venturis e Bocais
 - 2.5.1.2 Placas de Orifício
 - 2.5.1.3 Condição Crítica no Bocal (*Choking*)
- 2.5.2 escoamento Isotérmico em Duto
 - 2.5.2.1 Equações Práticas para escoamento em Gasoduto
 - 2.5.2.2 Segmentação de Duto - Aumento de Vazão
 - 2.5.2.3 Energia Transportada pelo Gás
 - 2.5.2.4 Presença de Água e Formação de Hidratos em Gás Natural

2.6 O PROBLEMA TÉRMICO

- 2.6.1 Leis de Transferência de Calor - Condução e Convecção
 - 2.6.1.1 Condução
 - 2.6.1.2 Convecção
 - 2.6.1.3 Condução de Calor num Cilindro Composto
 - 2.6.1.4 Coeficiente de Troca de Calor
- 2.6.2 Transferência de Calor em Dutos

2.6.2.1 Distribuição de Temperatura e Efeito Joule-Thomson	2.35
2.6.2.2 Duto Enterrado	2.36
2.7 REFERÊNCIAS	2.38
3 - ANÁLISE DE TENSÕES EM DUTOS	3.1
3.1 O ESTADO DE TENSÃO	3.1
3.1.1 Tensões atuantes numa barra prismática	3.3
3.1.2 Tensões atuantes numa casca cilíndrica fina submetida à pressão interna	3.4
3.1.3 Tensões atuantes numa casca cilíndrica espessa submetida à pressão interna e externa	3.6
3.2 TENSÕES E PLANOS PRINCIPAIS	3.7
3.3 ESTADO PLANO DE TENSÕES	3.9
3.4 ANÁLISE DE DEFORMAÇÕES	3.12
3.5 RELAÇÕES ENTRE DEFORMAÇÕES E CAMPOS DE DESLOCAMENTOS	3.13
3.6 RELAÇÕES ENTRE TENSÕES E DEFORMAÇÕES	3.14
3.7 DEFORMAÇÕES NAS SUPERFÍCIES LIVRES DE COMPONENTES	3.17
3.8 CRITÉRIOS DE RESISTÊNCIA PARA A INTEGRIDADE ESTRUTURAL	3.18
3.8.1 Falhas estruturais sob condições estáticas	3.19
3.8.2 Critérios de resistência contra o escoamento	3.19
3.8.3 Exemplo: Aplicação dos critérios de Tresca e von Mises a um duto	3.20
3.9 INTRODUÇÃO À MECÂNICA DA FRATURA LINEAR ELÁSTICA	3.21
3.9.1 Estado de Tensão na Vizinhança da Trinca, MFLE	3.22
3.9.2 Fator de Intensificação de Tensão	3.22
3.9.3 Tenacidade à Fratura dos Materiais	3.24
3.9.4 Equação básica de projeto ou de adequação ao uso	3.24
3.9.5 Exemplo: Trinca passante em chapa tracionada e em duto sob pressão interna	3.24
3.9.6 Vazar antes de romper (“leak before break”)	3.25
3.9.7 Uso da mecânica da fratura elasto-plástica	3.26
3.10 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL	3.26
3.10.1 Fator de segurança	3.26
3.10.2 Probabilidade de falha	3.27
3.10.3 Probabilidade de falha de um duto com perda de espessura	3.28
3.10.4 Fator de resistência remanescente	3.29
3.10.5 Diagrama de avaliação de falha (FAD), ou “Failure Assessment Diagram”	3.30
3.11 REFERÊNCIAS	3.30
4 - AÇOS PARA DUTOS	4.1
4.1 INTRODUÇÃO	4.1
4.2 HISTÓRICO	4.2
4.2.1 Desenvolvimento dos Aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL)	4.3
4.2.2 A Norma API 5L [7]	4.4
4.3 ASPECTOS METALÚRGICOS FUNDAMENTAIS PARA COMPREENSÃO DA ESTRATÉGIA DO PROCESSAMENTO DOS AÇOS ARBL	4.5
4.3.1 Temperatura de transformação da austenita	4.6
4.3.2 Obtenção da austenita severamente deformada ao final da laminação	4.7
4.4 ASPECTOS METALÚRGICOS DO PROCESSAMENTO DOS AÇOS ARBL PARA APLICAÇÃO EM DUTOS	4.9
4.5 LAMINAÇÃO CONTROLADA	4.9
4.5.1 Processamento dos aços ARBL	4.11
4.5.1.1 Laminador de chapas grossas	4.11
4.5.1.2 Laminador de tiras a quente	4.12
4.5.1.3 Laminador Steckel	4.13
4.5.1.4 Laminador de placas finas e laminação direta	4.13
4.5.1.5 Processo de fabricação de tubos sem costura	4.14
4.6 SOLDABILIDADE	4.14
4.7 SUMÁRIO	4.17
4.8 REFERÊNCIAS	4.18
5 - PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DE TUBOS	5.1
5.1 INTRODUÇÃO	5.1

5.2	FABRICAÇÃO DE AÇOS PARA TUBOS	5.2
5.3	PRODUÇÃO DE CHAPAS	5.3
5.3.1	Lingotamento Contínuo de Placas	5.3
5.3.2	Laminação de Chapas	5.4
5.4	SEGMENTOS DE TUBOS PARA DUTOS – LINEPIPE	5.6
5.5	TUBOS COM COSTURA	5.9
5.5.1	Tubos UOE-SAW	5.9
5.5.2	Tubos Dobrados Continuamente e Soldados por Resistência Elétrica – ERW	5.14
5.5.3	Tubos com Costura Helicoidal Contínua	5.16
5.5.4	Tubos Prensados e Tubos Calandrados	5.17
5.6	TUBOS SEM COSTURA	5.18
5.6.1	Lingotamento Contínuo de Barras Circulares	5.19
5.6.2	Laminação de Perfuração	5.20
5.6.3	Laminação com Plugue	5.21
5.6.4	Laminação com Mandril	5.23
5.6.5	Laminação Peregrina	5.25
5.7	REVESTIMENTOS ANTICORROSIVOS	5.26
5.7.1	Preparação das Superfícies	5.26
5.7.2	Revestimento Interno	5.26
5.7.3	Revestimento Externo Por Epóxi em Pó	5.27
5.7.4	Revestimento Externo Por Material Termoplástico	5.27
5.7.5	Revestimentos Externos à Base de Betume e Alcatrão	5.28
5.8	REFERÊNCIAS	5.30
6	- CÓDIGOS E REGULAMENTOS	6.1
6.1	OS CÓDIGOS NA COMUNIDADE INTERNACIONAL	6.1
6.2	COMPARAÇÃO DE REQUISITOS DOS CÓDIGOS	6.3
6.2.1	Classes de Locação	6.3
6.2.2	Espaçamento entre Válvulas	6.4
6.2.3	Curvamento de Campo	6.4
6.2.4	Cobertura	6.4
6.2.5	Afastamento	6.6
6.2.6	Proteção contra Terceiros	6.7
6.2.7	Sinalização da Faixa	6.7
6.2.8	Ensaio Hidrostático de Campo	6.8
6.2.9	Defeitos Construtivos	6.9
6.2.10	Normas Referenciadas	6.10
6.3	LEGISLAÇÃO	6.11
7	- ESTUDO DE TRAÇADO	7.1
7.1	CARTOGRAFIA	7.1
7.1.1	Cartografia com imagem aplicada a dutos	7.1
7.1.2	Tipos de produtos cartográficos	7.1
7.1.3	Cartografia por aerolevanteamento	7.2
7.1.4	Cartografia por imageamento de satélites	7.2
7.1.5	Sistema de coordenada	7.2
7.1.6	Projeção cilíndrica transversa de Mercator (Secante)	7.2
7.1.7	Características básicas do sistema UTM (Secante)	7.2
7.1.8	Conceitos do sistema UTM (Secante)	7.2
7.1.9	Requisitos para a cartografia usada em faixas de dutos	7.3
7.1.10	Comparação entre a cartografia por aerolevanteamento e por imageamento de satélites	7.3
7.2	POSICIONAMENTO E GEOREFERENCIAMENTO – SISTEMA GPS	7.3
7.2.1	Aplicabilidade do GPS em faixas de dutos	7.4
7.2.2	Características do sistema GPS	7.4
7.2.3	Princípios de funcionamento do GPS	7.4
7.2.4	Variantes do sistema GPS – GPS simples, DGPS, GPS-RTK	7.4
7.2.5	Causas de imprecisão no sistema GPS	7.5
7.3	FASES DO ESTUDO DE TRAÇADO DE DUTOS TERRESTRES	7.5
7.3.1	Traçado Preliminar	7.5

7.3.2 Traçado Básico	7.5
7.3.3 Traçado Detalhado para projeto executivo	7.6
7.4 PRINCÍPIOS PARA DEFINIÇÃO DE FAIXAS DE DUTOS	7.7
7.4.1 Evitar sempre que possível a necessidade de supressão de matas nativas	7.7
7.4.2 Entre mata nativa e reflorestamento, preferir sempre reflorestamento	7.7
7.4.3 Entre reflorestamentos e silvicultura, preferir sempre silvicultura	7.7
7.4.4 Entre silvicultura e áreas de pastagem ou agricultura, preferir estas	7.7
7.4.5 Minimizar a movimentação de terra na fase de construção	7.7
7.4.6 Diretriz ou poligonal secundária com o menor comprimento possível	7.8
7.4.7 Minimizar a quantidade de interferências	7.8
7.4.8 Proximidade de estradas vicinais	7.8
7.4.9 Situar preferencialmente a lateral da faixa junto às divisas de propriedades	7.9
7.4.10 Evitar áreas de domínio público	7.9
7.4.11 Evitar local a faixa em locais de brejos, afloramentos, terrenos de baixa suportação, encostas e terrenos susceptíveis a deslizamentos	7.9
7.4.12 Cruzamentos em locais planos, sem afloramento, longe de habitações, ortogonais com o eixo da interferência	7.10
7.4.13 Travessias com cavalotes mais curtos e ortogonais aos leitos dos rios, em áreas sem erosão ou exploração mineral	7.10
7.4.14 Evitar locais com aglomerações de edificações	7.10
7.4.15 Considerar o comprimento desenvolvido	7.10
7.4.16 Reservas minerais, ambientais, indígenas e locais de capitação de �guas	7.10
7.4.17 Paralelismos com linhas de transmissão	7.10
7.5 BIBLIOGRAFIA	7.10
8 - ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO E DE COMPRESSÃO	8.1
8.1 FLUXO DE LÍQUIDO ATRAVÉS DA ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO	8.1
8.1.1 Considera�es básicas sobre as estações de bombeamento	8.1
8.1.2 Válvulas de entrada e auxiliares	8.2
8.1.3 Casa de amostragem	8.2
8.1.4 Medida�o da temperatura do líquido	8.3
8.1.5 Medida�o da massa específica	8.3
8.1.6 Medida�o da viscosidade do líquido	8.3
8.1.7 Queimador	8.3
8.1.8 Percurso pelas bombas	8.3
8.1.9 Descarga do líquido	8.4
8.1.10 Válvula de controle da pressão	8.4
8.1.11 Desvio da PCV	8.4
8.1.12 Válvula de retenção de descarga	8.4
8.1.13 Saída	8.4
8.2 BOMBAS	8.5
8.2.1 Válvula de sucção	8.5
8.2.2 Bombas da linha tronco	8.5
8.2.3 Motores elétricos	8.6
8.2.4 Motores dotados de variadores de velocidade	8.6
8.2.5 Válvula de descarga	8.7
8.3 CONFIGURAÇÕES DAS BOMBAS EM SÉRIE E EM PARALELO	8.7
8.3.1 Configurações em série	8.7
8.3.2 Configuração das bombas em paralelo	8.8
8.4 SISTEMAS AUXILIARES E DE SEGURANÇ�	8.10
8.4.1 Drenos	8.11
8.4.2 Tanque de �gua Oleosa	8.11
8.4.3 Subestação elétrica	8.11
8.4.4 Transformadores	8.11
8.4.5 Disjuntores	8.11
8.4.6 Válvula de alívio térmico	8.11
8.4.7 Medida�o de temperatura	8.11
8.4.8 Medida�o de Densidade	8.11
8.4.9 Detectores de Gás	8.11
8.4.10 Detectores de Incêndio	8.11

8.5 SISTEMAS DE CONTROLE EM ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO	8.11
8.6 ESTAÇÕES DE COMPRESSÃO	8.12
8.6.1 Introdução	8.12
9 - PROJETO MECÂNICO DE DUTOS TERRESTRES	9.1
9.1 INTRODUÇÃO	9.1
9.1.1 Algumas características do transporte de longa distância	9.1
9.1.2 Breve histórico do transporte de líquidos	9.1
9.1.3 O dimensionamento mecânico do duto e o projeto mecânico global	9.2
9.2 CONDIÇÕES E CRITÉRIOS DE PROJETO	9.2
9.2.1 Geral	9.3
9.2.2 Pressão	9.3
9.2.3 Temperatura	9.4
9.2.4 Peso próprio	9.4
9.2.5 Outros carregamentos	9.5
9.2.6 Combinação de cargas	9.5
9.2.7 Outras considerações	9.5
9.3 TUBOS E COMPONENTES DE TUBULAÇÃO	9.5
9.3.1 Tubos	9.5
9.3.2 Curvas de campo	9.6
9.3.3 Curvas em gomos	9.7
9.3.4 Curvas forjadas	9.7
9.3.5 Curvas por indução	9.7
9.3.6 Derivações boca-de-lobo	9.7
9.3.7 Flanges	9.8
9.3.8 Outros componentes	9.8
9.4 VÃO ENTRE SUPORTES	9.9
9.4.1 Geral	9.9
9.4.2 Cômputo das cargas	9.9
9.4.3 Critérios para projeto	9.10
9.4.4 Segurança no vão de projeto com o duto em operação	9.11
9.4.5 Projeto dos vãos e distribuição das linhas em uma tubovia	9.12
9.4.6 Vão para trechos com curvas	9.12
9.4.7 Vão para dutos de grande diâmetro	9.13
9.4.8 Padronização do vão máximo	9.13
9.5 SUPORTES	9.13
9.5.1 Geral	9.13
9.5.2 Tipos de Suportes	9.14
9.5.3 Cargas nos Suportes	9.14
9.5.4 Elementos metálicos de ligação entre o suporte e o duto	9.15
9.5.5 Materiais e tensões admissíveis	9.15
9.6 ESTABILIDADE À FLUTUAÇÃO	9.15
9.6.1 Geral	9.15
9.6.2 Meios de lastreamento e considerações de estabilidade nas argilas expansivas	9.16
9.6.3 Relações de peso e empuxo	9.16
9.7 DIMENSIONAMENTO PARA A PRESSÃO INTERNA E SELEÇÃO DA ESPESSURA	9.17
9.7.1 Breve histórico sobre o desenvolvimento das fórmulas para o cálculo da espessura	9.17
9.7.2 Importância econômica da seleção da espessura	9.18
9.7.3 Fórmulas para cálculo da espessura	9.18
9.7.4 Alguns comentários sobre as fórmulas de espessura	9.20
9.7.4.1 Geral	9.20
9.7.4.2 Comentários relativos ao caso (a)	9.21
9.7.4.3 Comentários relativos ao caso (b)	9.22
9.7.5 A influência da relação espessura-diâmetro na acurácia de algumas das equações	9.23
9.7.6 Seleção da espessura	9.24
9.7.6.1 Espessura em trechos retos	9.24
9.7.6.2 Espessura em curvas	9.25
9.7.6.3 Verificação da espessura de parede em trechos de cruzamentos e travessias	9.26
9.7.6.4 Valores mínimos de espessura para projeto	9.27

9.8 ANÁLISE DE FLEXIBILIDADE DE TUBULAÇÕES	9.28
9.8.1 Geral	9.28
9.8.2 Considerações	9.28
9.8.3 Métodos de análise	9.30
9.8.4 Critérios gerais para realização da análise de flexibilidade	9.30
9.8.5 Meios de prover flexibilidade	9.31
9.8.6 Resultados da análise	9.32
9.8.7 Abrangência da análise	9.32
9.8.8 Distinção entre os comportamentos das tubulações, aéreas e enterradas, com relação às tensões	9.32
9.8.9 Combinações de carregamentos	9.32
9.8.10 Cálculo das tensões para tubulações restringidas	9.33
9.8.11 Tensões admissíveis para sistemas restringidos	9.34
9.8.12 Cálculo das tensões para tubulações não-restringidas	9.34
9.8.13 Tensões admissíveis para sistemas não-restringidos	9.35
9.9 ENSAIO HIDROSTÁTICO	9.35
9.9.1 Geral	9.35
9.9.2 Pressões máxima e mínima de ensaio	9.36
9.9.3 Pressão máxima de operação admissível (PMOA)	9.36
9.10 BIBLIOGRAFIA	9.37
10 - CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE DUTOS TERRESTRES	10.1
10.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DA CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DE DUTOS	10.1
10.2 EVOLUÇÃO DA GESTÃO DE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO DE DUTOS NO BRASIL	10.1
10.3 EM QUE SE APÓIA A CONSTRUÇÃO DE DUTOS	10.2
10.4 CONSTRUÇÃO E MONTAGEM - PRINCIPAIS ATIVIDADES	10.3
10.4.1 Recebimento, inspeção e armazenamento de materiais	10.3
10.4.2 Projeto executivo	10.5
10.4.3 Locação e marcação da faixa de domínio e da pista	10.5
10.4.4 Abertura de pista	10.6
10.4.5 Transporte, distribuição e manuseio de tubos	10.7
10.4.6 Curvamento	10.9
10.4.7 Revestimento com concreto	10.11
10.4.8 Soldagem	10.12
10.4.9 Inspeção de soldagem	10.14
10.4.9.1 Para gasodutos	10.15
10.4.9.2 Para oleodutos	10.16
10.4.10 Revestimento externo anticorrosivo	10.16
10.4.11 Abertura e preparação da vala	10.17
10.4.12 Abaixamento e cobertura	10.20
10.4.13 Cruzamentos e travessias	10.22
10.4.14 Sinalização	10.26
10.4.15 Proteção e restauração da pista	10.27
10.4.16 Teste hidrostático	10.28
10.4.17 Inspeção dimensional interna do duto	10.31
10.4.18 Inspeções adicionais por “pig” ultra-sônico e inercial	10.31
10.4.19 Condicionamento	10.32
10.4.20 Inspeção do revestimento externo anticorrosivo após a cobertura	10.33
10.4.21 Emissão de documentação “conforme construído”	10.34
10.5 REQUISITOS GERAIS DE SEGURANÇA, MEIO AMBIENTE E SAÚDE	10.35
11 - OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE DUTOS	11.1
11.1 PROGRAMAÇÃO DAS OPERAÇÕES	11.1
11.2 EXECUÇÃO DA OPERAÇÃO	11.2
11.3 SISTEMAS DE DUTOS DE LÍQUIDOS	11.5
11.3.1 Polidutos	11.5
11.3.2 Programação	11.8
11.3.3 Execução das Operações	11.9
11.3.3.1 Recomendações Gerais	11.9

11.3.3.2 Operações de Corte e Sangria de Produtos	11.11
11.3.3.2.1 Operações de Corte	11.11
11.3.3.2.2 Operações de Sangria	11.12
11.4 SISTEMAS DE GASODUTOS	11.12
11.4.1 Programação	11.12
11.4.2 Execução das Operações	11.13
11.4.3 Tempo de Sobrevivência e Empacotamento	11.13
11.5 PASSAGEM DE RASPADORES	11.16
11.6 EFEITO “TUBO EM U”	11.16
11.7 BOLSÕES DE AR EM DUTOS	11.17
11.8 DEPÓSITO DE ÁGUA EM DUTOS	11.18
11.9 CONDICIONAMENTO E DESATIVAÇÃO DE DUTOS	11.19
11.9.1 Condicionamento	11.19
11.9.2 Desativação Permanente (abandono)	11.20
11.9.3 Desativação Temporária (hibernação)	11.20
11.9.4 Retorno de Dutos Hibernados à Operação	11.21
11.10 PERDAS NO TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS	11.21
11.11 GERENCIAMENTO DO FATOR HUMANO	11.23
11.12 REFERÊNCIAS	11.26
11.13 LEITURAS ADICIONAIS	11.26
12 - AUTOMAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO	12.1
12.1 PROCESSOS INDUSTRIAIS E SUA RELAÇÃO COM A AUTOMAÇÃO	12.1
12.2 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	12.2
12.3 PRINCIPAIS TIPOS DE SISTEMA DE AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO	12.3
12.3.1 SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System ou Sistema de Controle Supervisório e Aquisição de Dados)	12.3
12.3.2 SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído ou DCS-Digital Control System)	12.3
12.4 INSTRUMENTAÇÃO PRIMÁRIA	12.4
12.4.1 Indicadores	12.5
12.4.1.1 Indicadores de Pressão	12.5
12.4.1.2 Indicadores de Temperatura	12.6
12.4.1.3 Indicadores de Nível	12.7
12.4.1.4 Indicadores de Vazão	12.8
12.4.2 Chaves	12.8
12.4.3 Sensores e Transmissores	12.13
12.4.3.1 Transmissores de Pressão	12.13
12.4.3.2 Transmissores de Vazão	12.14
12.4.4 Medição de densidade	12.23
12.4.5 Instrumentação para a medição de temperatura	12.25
12.4.6 Instrumentação para medição de nível	12.26
12.5 A MALHA DE CONTROLE	12.29
12.5.1 Estabilidade e sintonia da malha	12.31
12.6 VÁLVULAS DE CONTROLE E SEUS ATUADORES	12.33
12.6.1 Válvulas de Controle	12.33
12.6.2 Atuadores de válvulas de controle	12.37
12.7 O NÍVEL DA INTERFACE COM O PROCESSO	12.37
12.7.1 Controladores Lógicos Programáveis	12.37
12.7.2 Estação Terminal Remota – ETR	12.40
12.8 SISTEMA SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION)	12.40
12.8.1 O Projeto dos Sistemas SCADA	12.42
12.8.2 Requisitos dos sistemas scadas e suas arquiteturas típicas	12.43
12.8.2.1 Requisitos	12.43
12.8.2.2 Arquiteturas	12.44
12.8.2.2.1 Estações minimestres	12.44
12.8.2.2.2 Estação mestre	12.45
12.8.3 Subsistema de comunicação de dados	12.47
12.8.3.1 Redes de Campo	12.49
12.8.4 O Software do Sistema SCADA	12.51

12.8.5	Sistemas de detecção de vazamento	12.53
13	- CORROSÃO E PROTEÇÃO CATÓDICA	13.1
13.1	INTRODUÇÃO	13.1
13.2	CORROSÃO EXTERNA	13.2
13.2.1	Agressividade específica	13.3
13.2.2	Agressividade relativa	13.4
13.2.2.1	Corrosão Eletrolítica	13.5
13.2.2.2	Corrosão por pilhas de longo alcance	13.5
13.2.2.3	Corrosão sob tensão (CST)	13.8
13.3	PROTEÇÃO CATÓDICA	13.8
13.4	CORROSÃO INTERNA	13.15
13.5	REFERÊNCIAS	13.16
14	- INSPEÇÃO DE DUTOS	14.1
14.1	TECNOLOGIA DE <i>PIGS</i>	14.1
14.2	PIGS DE LIMPEZA E DE GARANTIA DE FLUXO	14.1
14.2.1	Pigs espuma	14.2
14.2.2	Pigs Raspadores	14.2
14.2.3	Flexpigs	14.3
14.2.4	Pigs esfera	14.3
14.2.5	Pigs de limpeza magnética	14.3
14.3	PIGS PARA VERIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DO DUTO	14.3
14.3.1	Pig de Placa Calibradora	14.4
14.3.2	Pig Geométrico	14.4
14.4	PIGS PARA DETECÇÃO DE CORROSÃO	14.6
14.4.1	Pig Magnético de Corrosão	14.6
14.4.2	Pig de ultra-som	14.9
14.4.3	Pig de Perfilagem da corrosão interna – Pig Palito	14.14
14.5	PIGS ESPECIAIS	14.14
14.5.1	Pig inercial	14.14
14.5.2	Pigs de Bloqueio	14.14
14.5.3	Pig de perfilagem	14.15
14.6	RELATÓRIOS DE INSPEÇÃO	14.16
14.7	AVALIAÇÃO DIRETA	14.17
14.8	AVALIAÇÃO DIRETA DE CORROSÃO EXTERNA (ECDA)	14.18
14.8.1	Pré-avaliação	14.19
14.8.2	Inspeção Indireta	14.20
14.8.3	Inspeção Direta	14.21
14.8.4	Pós-avaliação	14.22
14.9	AVALIAÇÃO DIRETA DE CORROSÃO SOB TENSÃO (SCCDA)	14.23
14.9.1	Pré-Avaliação	14.23
14.9.2	Inspeção Indireta	14.24
14.9.3	Inspeção Direta	14.24
14.9.4	Pós-avaliação	14.25
14.10	AVALIAÇÃO DIRETA DE CORROSÃO INTERNA PARA GÁS SECO (DG-ICDA)	14.25
14.10.1	Pré-avaliação	14.26
14.10.2	Inspeção Indireta	14.26
14.10.3	Inspeção Direta Detalhada	14.27
14.10.4	Pós-avaliação	14.28
14.11	AVALIAÇÃO DIRETA DE CORROSÃO INTERNA PARA GÁS ÚMIDO (WG-ICDA)	14.28
14.12	AVALIAÇÃO DIRETA DE CORROSÃO INTERNA PARA PETRÓLEO LÍQUIDO (LP-ICDA)	14.29
14.13	REFERÊNCIAS	14.29
15	- INTEGRIDADE DE DUTOS	15.1
15.1	NOÇÕES SOBRE A AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL	15.1
15.2	DANOS E DEFEITOS EM DUTOS	15.3

15.3 ANÁLISE DE RISCOS	15.5
15.4 SOLICITAÇÕES E TENSÕES EM DUTOS	15.7
15.4.1 Pressão interna ou externa	15.7
15.4.2 Esforços externos: flexão, torção, cortante e normal	15.8
15.4.3 Temperatura e restrição de deslocamento pelo solo	15.8
15.4.4 Carga crítica de flambagem em vãos livres de dutos	15.9
15.4.5 Tensões longitudinais causadas por flexão ou tração por acomodação ao terreno ou movimento do solo	15.9
15.5 INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE DUTOS SEM DEFEITOS	15.10
15.5.1 Fator de segurança do duto sem defeito sob pressão interna	15.10
15.5.2 Escoamento generalizado e ruptura para tubos com pressão interna	15.11
15.5.3 Flambagem localizada causada pela pressão externa e sua propagação	15.11
15.5.4 Flambagem da parede e enrugamento causado pelo curvamento de um tubo	15.12
15.5.5 Carga para provocar uma moessa ou dente	15.12
15.5.5.1 Indentação longitudinal	15.12
15.5.5.2 Outros resultados sobre carregamentos para a formação de moessas	15.13
15.5.6 Carga para provocar uma perfuração	15.15
15.5.7 Fadiga	15.15
15.5.8 Ovalização	15.17
15.5.9 Trincamento sob tensão em atmosfera corrosiva – CST	15.17
15.5.10 Outras solicitações	15.17
15.6 DUTOS COM DEFEITOS DE CORROSÃO	15.17
15.6.1 Resumo da ASME B31G [21]: “Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines”	15.20
15.6.1.1 Limitações	15.20
15.6.1.2 Metodologia	15.20
15.6.1.3 Critérios de aceitação	15.20
15.6.2 Influência da sobre-espessura de corrosão.	15.21
15.7 DUTOS COM MOSSAS	15.23
15.7.1 Mossas simples sob pressão interna - carregamento estático	15.24
15.7.2 Mossas simples sob pressão interna - carregamento cíclico	15.24
15.7.3 Mossas com vincos	15.25
15.7.4 Mossas suaves em soldas sob pressão interna – carregamento estático e carregamento cíclico	15.25
15.7.5 Mossas lisas acompanhados de sulcos	15.26
15.8 DUTOS COM SULCOS OU RANHURAS	15.26
15.8.1 Sulco longitudinal sob pressão interna	15.26
15.8.2 Sulco circunferencial em duto com pressão interna submetido à flexão e esforço normal	15.26
15.8.3 Mossas suaves com cavas sob pressão interna– carregamento estático	15.26
15.8.4 Mossas suaves com cavas sob pressão interna – carregamento cíclico	15.27
15.9 DUTOS COM DEFEITOS TIPO TRINCAS	15.27
15.10 DUTOS COM ENRUGAMENTO	15.28
15.11 DUTOS COM TRINCAMENTO SOB TENSÃO EM AMBIENTE CORROSIVO	15.29
15.12 CONSIDERAÇÕES SOBRE A INTEGRIDADE DE DUTOS COM OUTROS DEFEITOS	15.29
15.13 REPAROS EM DUTOS COM DEFEITOS	15.29
15.13.1 Esmerilhamento	15.31
15.13.2 Deposição de metal de solda	15.32
15.13.3 Luva metálica	15.32
15.13.4 Luva metálica preenchida com epóxi	15.32
15.13.5 Materiais compostos	15.33
15.13.6 Braçadeiras bi-partidas	15.33
15.13.7 Bacalhau	15.33
15.13.8 Trepanação, tamponamento, desvio e substituição	15.33
15.14 REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA	15.34
16 - DUTOS SUBMARINOS RÍGIDOS	16.1
16.1 INTRODUÇÃO	16.1
16.2 CONCEITOS DO SISTEMA DE DUTOS	16.1

16.3 PROJETO BÁSICO DE DUTO SUBMARINO	16.2
16.3.1 Dados de Projeto	16.3
16.3.2 Etapas do Projeto Básico	16.6
16.3.2.1 Avaliação de Fluxo e Fluido	16.6
16.3.2.2 Seleção de Rota	16.7
16.3.2.3 Dimensionamento Mecânico	16.8
16.3.2.4 Análise de Estabilidade	16.11
16.3.2.5 Análise Termomecânica	16.12
16.3.2.6 Revestimentos e Proteção Catódica	16.13
16.3.2.7 Análise de Vãos Livres	16.18
16.3.2.8 Análise da Instalação do Duto	16.18
16.3.2.9 Comissionamento do Duto	16.26
16.4 PROJETO DETALHADO DE DUTO SUBMARINO	16.27
16.4.1 Materiais	16.27
16.4.2 Serviços	16.27
16.4.3 Análise e Desenho da Rota do Duto	16.28
16.4.4 Análise de Instalação	16.28
16.4.5 Análise Crítica e Análise de Risco	16.29
16.4.6 Documentação e Relatório de Projeto	16.29
16.5 REFERÊNCIAS	16.29

17 - PROJETO DE DUTOS FLEXÍVEIS PARA APLICAÇÃO SUBMARINA

17.1 INTRODUÇÃO	17.1
17.2 ESTRUTURA DOS DUTOS FLEXÍVEIS	17.2
17.2.1 Função Mecânica das Camadas e Seleção dos Materiais	17.3
17.2.1.1 Carcaça	17.3
17.2.1.2 Camada de Pressão	17.5
17.2.1.3 Armadura de Pressão	17.5
17.2.1.4 Armaduras de Tração	17.6
17.2.1.5 Camada Externa	17.7
17.2.1.6 Camadas Auxiliares	17.7
17.3 RISERS	17.10
17.3.1 Análises Globais do Movimento do Riser	17.12
17.3.2 Análise Local de Tensão das Camadas	17.15
17.3.3 Projeto do Enrijecedor	17.16
17.3.4 Análises de Fadiga	17.17
17.3.5 Resumo do Projeto do Riser Flexível	17.18
17.3.6 Escolha da Configuração do Riser	17.19
17.4 FLOWLINES	17.21
17.5 FABRICAÇÃO DO DUTO FLEXÍVEL	17.22
17.5.1 Fabricação das Camadas do Flexível	17.22
17.5.1.1 Perfilagem	17.22
17.5.1.2 Camadas Plásticas	17.23
17.5.1.3 Espiralagem	17.23
17.5.1.4 Armagem	17.24
17.6 INSTALAÇÃO DO DUTO FLEXÍVEL	17.25
17.7 REFERÊNCIAS	17.31

18 - SEGURANÇA OPERACIONAL E AGENTES REGULADORES

18.1 SEGURANÇA OPERACIONAL	18.1
18.2 A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	18.2
18.2.1 Meio Ambiente	18.3
18.2.2 Regulamentação das Atividades Específicas da Indústria Petrolífera	18.3
18.3 A LEGISLAÇÃO AMERICANA	18.7
18.4 COMENTÁRIOS FINAIS	18.9
18.5 REFERÊNCIAS	18.9

ÍNDICE REMISSIVO	i.1
TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES USUAIS	t.1