



Desenvolvimento de Método para Obtenção de Tensão Mínima de Juntas de Papelão Hidráulico durante a Operação

Camila Machado Dias

Lucas Araripe de Paula Xavier

Projeto Final de Curso em Engenharia Química

Orientador

Prof. Carlos André Vaz Júnior

Março de 2014

Desenvolvimento de Método para Obtenção de Tensão Mínima de Juntas de Papelão Hidráulico durante a Operação

Camila Machado Dias

Lucas Araripe de Paula Xavier

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Química.

Aprovado por:

Orientado por:

Carlos André Vaz Júnior, Professor D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Março de 2014

Ficha Catalográfica

Nome do Autor. Camila Machado Dias e Lucas Araripe de Paula Xavier.

Desenvolvimento de Método para Obtenção de Tensão Mínima de Juntas de Papelão Hidráulico durante a Operação: UFRJ/EQ, 2014.

ix, 62 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2014.

Orientador: Carlos André Vaz Júnior.

1. Tensão Mínima 2. Junta de vedação 3. Flanges 4. Método Experimental.

AGRADECIMENTOS

Camila Machado Dias

Agradeço aos amigos verdadeiros que fiz pelos bons momentos, as brincadeiras, apoio e pelas verdades ditas.

Agradeço aos meus pais pela confiança depositada, pelo carinho e a esperança de que tudo daria certo no fim.

Agradeço aos meus parentes pela paciência e compreensão por tantas ausências.

Agradeço ao Betão e Seu Alcir da Xerox do DAEQ pelo apoio, confiança e tanto carinho.

Agradeço a Empresa Teadit pela oportunidade de estágio e acreditar no meu potencial, é verdadeiramente uma escola de vida.

E agradeço a Virgem Maria e a Deus por em tantos momentos terem me permitido aprender com as adversidades.

Hoje sei que TUDO POSSO.

Lucas Araripe de Paula Xavier

Gostaria de agradecer principalmente a minha família, essas três pessoas que não sei como, me aturam durante mais de 25 anos. Sei que família deve amar incondicionalmente, mas também sei que não sou uma pessoa fácil de lidar. Por isso tenho toda minha gratidão a eles, que me ensinaram e guiaram por todos os meus anos de formação, não só acadêmica, mas principalmente como pessoa.

Gostaria de agradecer acima de tudo a empresa TEADIT, por me proporcionar a oportunidade de desenvolver, nos cedendo base teórica e técnica, bem como espaço físico para a realização desse projeto. Com ele, tive a oportunidade de apresentá-lo em dois congressos: na França e no Brasil. Uma empresa que acreditou no meu potencial desde o princípio de um longo processo seletivo, lá no início 2012.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Químico.

Desenvolvimento de Método para Obtenção de Tensão Mínima de Juntas de Papelão Hidráulico durante a Operação

Camila Machado Dias

Lucas Araripe de Paula Xavier

Março 2014

Orientador: Prof. Carlos André Vaz Júnior

O objetivo do presente trabalho é introduzir um método experimental no qual se consiga determinar o parâmetro tensão mínima de operação ($S_{g_{mín-o}}$) de uma junta, parâmetro importante para o cálculo de tensão mínima de aperto em parafusos, segundo o Apêndice- O do PCC-1. O estudo foi realizado com juntas de Papelão Hidráulico. O $S_{g_{mín-o}}$ determina em qual momento a junta efetivamente não cumpre mais o seu papel de vedar. No primeiro momento, é falado sobre vazamentos na indústria e os problemas que eles podem gerar. Para entender sobre como os vazamentos ocorrem, é descrito o funcionamento de flanges e juntas, e o papel que os dois exercem na vedação de uma tubulação. Na segunda parte, é explicada tecnicamente como uma vedação é atingida e mantida. E por fim, abordaremos o método criado para a identificação da tensão mínima de operação de uma junta de papelão hidráulico.

Trata-se de uma metodologia experimental inovadora, não existindo outra, até o presente momento, capaz de determinar o parâmetro $S_{g_{mín-o}}$, quando observadas as condições empregadas ou mesmo similares.

Sumário

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
I.1. INTRODUÇÃO	1
I.2. OBJETIVOS.....	2
CAPÍTULO II. VAZAMENTOS EM PLANTAS DE PROCESSO	3
II.1. INTRODUÇÃO	3
II.2. VAZAMENTOS MACRO VS. MICRO	3
II.3. EMISSÕES FUGITIVAS.....	5
II.4. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZAMENTOS NA INDÚSTRIA.....	6
II.4.1. CÁLCULOS DE VAZAMENTOS POR ESTIMAÇÃO	6
II.5. ESTATÍSTICAS DE VAZAMENTOS INDUSTRIAIS.....	17
CAPÍTULO III. FLANGES	19
III.1. INTRODUÇÃO	19
III.2. NORMAS	20
III.3. DESIGN.....	21
III.4. CLASSIFICAÇÃO.....	24
CAPÍTULO IV. JUNTAS	26
IV.1. INTRODUÇÃO	26
IV.2. TIPOS DE JUNTAS.....	26
IV.3. DIMENSÕES.....	28
IV.4. SELEÇÃO.....	28
CAPÍTULO V. VEDAÇÃO	30
V.1. INTRODUÇÃO	30
V.2. FORÇAS DE UMA UNIÃO FLANGEADA	30
V.3. NORMAS	32
V.4. APARAFUSAMENTO	33
V.5. TESTE DE VAZAMENTO DE LABORATÓRIO.....	34
V.6. ASME PCC-1 Apêndice O.....	35
CAPÍTULO VI. PROTOCOLO PARA SE DETERMINAR LIMITES DE TENSÕES DA JUNTA DE PAPELÃO HIDRÁULICO	39
VI.1. INTRODUÇÃO	39
VI.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS:.....	40
VI.3. PROCEDIMENTO	41
VI.3.1. DETERMINAÇÃO DO $S_{gMáx}$	41

VI.3.2.	DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RELAXAMENTO- <i>DWELL TIME</i>	42
VI.3.3.	DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $S_{g_{\text{mín-s}}}$	42
VI.3.4.	DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $S_{g_{\text{mín-o}}}$	43
CAPÍTULO VII. RESULTADOS.....		45
VII.1.	DETERMINAÇÃO DO $S_{g_{\text{máx}}}$	45
VII.2.	DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RELAXAMENTO	47
VII.3.	DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $S_{g_{\text{mín-s}}}$	47
VII.4.	DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $S_{g_{\text{mín-o}}}$	48
VII.5.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	48
CAPÍTULO VIII. CONCLUSÕES.....		51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		52

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

I.1. INTRODUÇÃO

Vazamentos, apesar de indesejados, são muito comuns. Como será visto, há evidências de que vazamentos em flanges – que têm nas juntas seus componentes principais cresceu recentemente. Os flanges, embora tenham baixo fator de emissão, requerem uma análise mais profunda, pois estão presentes em grande número nas linhas dos processos.

Em primeiro lugar, é demonstrada a diferença entre dois tipos vazamentos, que apesar de diferentes, possuem o mesmo potencial de poluição quanto de destruição. É dado um maior enfoque em vazamentos pequenos, tendo em vista sua importância para a indústria de vedação. É visto também como se estimam vazamentos em indústrias de grande porte, onde existe a incapacidade de detectar o vazamento em todos os equipamentos. E é mostrado o recente, mas importante valor da vedação acurada de flanges. Nesse momento os principais referenciais teóricos são a *Environmental Protection Agency* (EPA, 1995 e 1998), Veiga (2013) e Herrman e Siegle (1997), que dão importantes contribuições para o tema.

Entendidos os danos e perigos dos vazamentos é chegada a hora de entender o funcionamento dos flanges para melhor compreender os princípios de uma boa vedação. Para funcionarem de forma ideal, os flanges devem seguir certas regras de construções, apresentadas nessa parte do trabalho. Além disso, são apontados parâmetros essenciais para o projeto de construção de flanges, também sendo subdivididas suas classes.

Após ser visto o funcionamento dos flanges, é imperativo ver a questão das juntas, item que de fato impede o vazamento de uma união flangeada. Embora as juntas sejam largamente utilizadas, muitas informações sobre seu comportamento quando em uso nos flanges ainda são desconhecidas. São apresentados alguns de seus tipos, esses podendo ser metálicos e não-metálicos, a questão de suas dimensões, que dependem diretamente da classe do flange usado, e por fim, a seleção de certo tipo de junta para uma dada aplicação.

Vista a importância da junta na união flangeada, é dada significativa importância à vedação como um todo. São apresentadas as forças que mantêm e impedem uma vedação. A vedação, assim como os flanges e as juntas também seguem normas para melhor atingirem seu potencial de *performance*. Ainda nesse assunto, a questão aparafusamento é essencial para que um conjunto flangeado mantenha a vedação durante longos tempos. É visto alguns testes laboratoriais relevantes de selabilidade de juntas, inclusive um deles utilizados para a obtenção do parâmetro de mínima tensão de operação.

Por fim, é demonstrado o método experimental desenvolvido para obtenção da mínima tensão de junta de operação ($S_{g\text{mín-o}}$), os materiais, equipamentos e normas seguidas. Experimentos esses realizados nos laboratórios e com materiais cedidos pela empresa TEADIT¹. Esse experimento é pautado em parâmetros internacionais para obtenção de coeficientes relativos à vedação, sendo estes também apresentados nessa parte do trabalho. Não há informações experimentais sobre tal parâmetro, como metodologia de teste.

Com base nos resultados obtidos, acredita-se que o projeto foi um sucesso em determinar uma metodologia experimental para encontrar a mínima tensão da junta em operação ($S_{g\text{mín-o}}$), complementando a literatura com informações sobre valores de $S_{g\text{máx}}$, $S_{g\text{mín-s}}$ e $S_{g\text{mín-o}}$, e podendo contribuir de forma significativa para futuras reduções de vazamentos em indústrias ao redor do mundo,

I.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia experimental capaz de determinar os parâmetros $S_{g\text{mín-o}}$ - tensão mínima de esmagamento da junta em operação, na qual ainda se consegue manter a vedação de uma linha de um processo. Até então, sobre este só se possui informações teóricas. Assim, a metodologia desenvolvida traz consigo importante aplicação para a área de vedação.

O desenvolvimento da metodologia de teste foi baseado no Apêndice-O do PCC-1- *Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly*, onde os parâmetros $S_{g\text{mín-s}}$, $S_{g\text{máx}}$, $S_{g\text{mín-o}}$ entre outros são descritos. A norma DIN 3535-6 – “*Gaskets for Gas Supply – Gasket materials based on synthetic fibers, grafite or polytetrafluoroethylene (PTFE) for gas valves, gas appliances and gas mains*” foi utilizada como referência para quantificação do vazamento e medida dos parâmetros estudados.

¹ A TEADIT é uma empresa multinacional, líder no segmento de juntas de vedação. No Brasil, sua fábrica está localizada no Rio de Janeiro, bairro de Colégio, na zona norte da cidade. Ambos os autores desse projeto final, durante o desenvolvimento desse estudo, eram estagiários da empresa.

CAPÍTULO II. VAZAMENTOS EM PLANTAS DE PROCESSO

II.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo são estudados os diferentes tipos de vazamento possíveis de ocorrer em uma planta de processos e os seus respectivos riscos associados. É explanado o tipo de vazamento que é alvo desse trabalho e são apontados quais os métodos disponíveis para detecção de vazamentos. Ainda mais, é indicado dentre os equipamentos denotados, o foco de nossa pesquisa, os vazamentos em flanges.

II.2. VAZAMENTOS MACRO VS. MICRO

Ao contrário do ideal, vazamentos em plantas industriais são muito comuns, e podem variar de um pequeno furo em uma mangueira que transporta água até uma grande tubulação que vaza descontroladamente; obviamente cenários severos como este são raros.

Para melhor explicar os tipos de vazamentos possíveis de serem observados, decidiu-se aqui dividir o termo vazamento em dois tipos: Macro e Micro. Considera-se, a partir de então, que um vazamento:

- Macro é aquele possível de se visualizar sem maiores esforços. Vazamentos deste tipo variam desde um simples vazamento de gás transportado em alta pressão, vazamento de um líquido em uma tubulação até um tanque aberto que transborda.
- Micro é aquele vazamento que não é possível de se detectar sem o auxílio de instrumentos. Nosso corpo não possui o grau de refino para visualizar ou perceber por via olfativa pequenos vazamentos. Esse tipo de vazamento ocorre em vazões muito baixas. Frequentemente esses vazamentos demoram muito para serem encontrados, ou até mesmo nunca são percebidos ou notados. A esses tipos de vazamentos dá-se o nome de Emissões Fugitivas, (VEIGA, 2013), e será visto no próximo item.

Muitas vezes julga-se um vazamento por seu impacto: de atraso de um processo produtivo, diminuição na margem de lucro, de produzir acidentes, de danos ao meio ambiente, dentre outros. Às vezes, dependendo na dimensão da planta e da quantidade de produtos que está em jogo, mesmo que alguns vazamentos sejam detectados, uma parada no processo pode ser julgada como “desnecessária”, sendo esse problema somente consertado na próxima parada. Em algumas plantas químicas isso pode demorar alguns anos.

Infelizmente muitas vezes não é possível se prever o risco associado ao vazamento. Através da experiência trazida do dia-a-dia é possível determinar o quanto aquele desvio de processo impactará tanto em produtividade como em lucro.

Algumas vezes decide-se por seguir a produção, ignorando uma série de fatores de segurança associados aquela escolha. Ou, algumas vezes, esses vazamentos são deixados de lado em troca de reparo de outro equipamento com um grau de urgência maior. Porém, emissões fugitivas acarretam diminuição de produtividade, maiores gastos com matéria-prima, perda de produtos, ou, muito pior, acidentes que podem custar vidas.

Em complexos industriais os vazamentos podem ocorrer nos mais variados locais. O que se faz é associar um grau de risco superior a locais onde existe alta probabilidade de vazamento, como: envolvidos na transformação, transporte e depósito de componentes químicos. Aqueles exigem maior cuidado na instalação de equipamentos elétricos, maior número de placas de sinalização para precaver e alertar os funcionários sobre o alto risco daquela região, (EPA, 1996).

Com frequência esquece-se que vazamentos do tipo Micro podem causar danos similares aos vazamentos Macros, ocasionando, desde problemas imediatos, como incêndios, explosões, até problemas para gerações futuras como contaminação de lençóis freáticos.

Independente da vazão, das substâncias que estão sendo liberadas ou do local onde ele ocorre, todo vazamento trás consigo um risco associado, podendo esse risco se transformar em um acidente de trabalho: um escorregão ou explosão em no processo.

II.3. EMISSÕES FUGITIVAS

Esse termo é usado para designar pequenos vazamentos ou perdas indesejáveis, perdas que em situações normais não deveriam acontecer. (VEIGA, 2013) Um dos maiores problemas enfrentados pela indústria química com esse tipo de emissão é a poluição, ocasionando danos não só à saúde dos seres humanos, mas também ao meio ambiente.

O levantamento feito no ano de 2000 pelo setor de Óleo & Gás do Canadá, mostrou que anualmente, 17 milhões de toneladas-metro de dióxido de carbono eram liberadas como emissões fugitivas, o equivalente a 12% das emissões totais nesse setor. Um aumento de 25% em relação ao relatório do ano 1995. (CAPP, 2004)

Mas apesar dos gases de efeito estufa ser, talvez em longo prazo, os mais prejudiciais para a saúde de seres humanos e meio ambientes, outra classe de gases que também pode ser tão danosa quanto, são os Compostos Orgânicos Voláteis, ou COV's, compostos orgânicos que possuem alta pressão de vapor a temperatura ambiente que facilmente vaporizam na atmosfera. Alguns desses gases são perigosos e tóxicos, principalmente no que tange a saúde humana em longo prazo.

Historicamente, as emissões fugitivas não são rastreadas, seja por falta de equipamento específico ou, principalmente, falta de conhecimento de todos os danos que essas minúsculas emissões podem causar.

De acordo com a EPA, em uma indústria petroquímica, os mais diferenciados problemas podem ocasionar vazamento por emissões fugitivas. Esses problemas são em sua maioria ocasionada por mau funcionamento do equipamento, seja por rachaduras ou *design* não estar de acordo com as normas de projeto e construção ou ainda por juntas ou selos defeituosos que em sua maioria são mal instalados ou aqueles que trabalham com movimentação constantes ou partes móveis, como por exemplo: bombas ou válvulas de alívio de pressão. (EPA, 1998)

Segundo a EPA os componentes propensos a vazamentos mais citados são: bombas, compressores, válvulas de alívio de pressão, conexões de amostragem, válvulas de final de linha e válvulas abertas, válvulas de processo, flanges e outros tipos de conectores. Esses têm maior tendência a se desgastar naturalmente, dada a sua utilização diária, e assim ocasionar vazamentos, (EPA, 1995).

Levantamentos estatísticos apontam ainda que os fatores mais ligados a esse tipo de emissão, independente do equipamento analisado, são: pressão de operação, idade do componente e qualidade e frequência das práticas de reparo, (EPA, 1995).

II.4. MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE VAZAMENTOS NA INDÚSTRIA

Esse item tem como propósito introduzir alguns dos métodos e conceitos de estimação de vazamentos desenvolvidos pela EPA, principalmente em plantas químicas. Ao longo deste item serão apresentados dois métodos calculados por meio de estimação de vazamentos e um terceiro no qual são necessários dados reais de detecção de vazamentos para uma estimação mais acurada através do uso de correlações.

II.4.1. CÁLCULOS DE VAZAMENTOS POR ESTIMAÇÃO

O conjunto de métodos de estimação de vazamentos foi a maneira que a EPA encontrou de obter estimativas de valores de emissões totais em uma planta já em operação. Esses métodos surgiram por conta da impossibilidade de se coletar dados reais de vazamentos equipamento por equipamento, o que muitas vezes é impraticável devida à dimensão e complexidade de uma unidade petroquímica. Uma planta moderna pode possuir em operação mais de mil equipamentos, entre válvulas, flanges, compressores e bombas em uso diário e constante sem paradas ou pausas.

A seguir estão descritos três métodos desenvolvidos pela EPA, que visam melhor avaliar uma planta química.

Essas estimativas de emissões totais são calculadas através do uso de “*average emission factor*” ou fator de emissão médio. Esse fator expressa quanto vaza (em massa) em média de cada equipamento individualmente por um período de tempo, tendo como unidade [kg/h]. Eles foram obtidos pela EPA a partir da medição dos valores de emissão de diferentes equipamentos reais, como: bombas de fluidos líquidos, válvulas de fluidos gasosos e válvulas e conectores de fluidos líquidos. Os dados foram obtidos entre os anos de 1987 e 1988 de dezenove plantas produtoras de Óxido de Etileno e/ou Butadieno, (EPA, 1995).

Abordagem 1: Abordagem do Fator de Emissão Médio (*Average Emission Factor Approach*)

Nessa abordagem, como seu próprio nome sugere, é calculado um fator de emissão médio para cada equipamento e também separado pelo tipo de serviço, que nada mais é do que o tipo de fluido que passa por esse equipamento (gás, líquidos leves ou líquidos pesados). Seu cálculo é feito de maneira simples:

$$E_{TOC} = F_A \cdot W_{FTOC} \cdot N \quad (1)$$

E_{TOC} = Taxa de emissão total de componentes orgânicos de todos os equipamentos de uma dada linha (kg/h);

F_A = Fator de emissão Médio para o dado equipamento (kg/h/equipamento);

W_{FTOC} = Fração em peso do componente orgânico na linha;

N = Número de equipamentos daquele tipo na linha.

Após longos anos de pesquisas foi possível estabelecer fatores de emissões médios por equipamento, variando ou não com o tipo de serviço. Segue tabela com alguns deles.

Tabela II-1 - Fatores de Emissão Médios (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_A)		
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	0,00597
	Líquidos Leves	0,00403
	Líquidos Pesados	0,00023
Selos de Bombas	Líquidos Leves	0,0199
	Líquidos Pesados	0,00862
Selos de Compressores	Gás	0,228
Válvulas de Alívio de Pressão	Gás	0,104
Conexões	Todos	0,00183
Tubulações Abertas	Todos	0,0017
Conexões de Amostragem	Todos	0,015

Após mais pesquisas foi possível esmiuçar um pouco mais esses valores e foi visto que diferentes plantas retornavam diferentes fatores.

A Tabela II-2 apresenta os fatores de emissão médios para uma refinaria.

Tabela II-2 – Fator de Emissão Médio para Refinarias (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_A) para Refinarias		
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	0,0268
	Líquidos Leves	0,0109
	Líquidos Pesados	0,00023
Selos de Bombas	Líquidos Leves	0,114
	Líquidos Pesados	0,021
Selos de Compressores	Gás	0,636
Válvulas de Alívio de Pressão	Gás	0,16
Conexões	Todos	0,00025
Tubulações Abertas	Todos	0,0023
Conexões de Amostragem	Todos	0,015

A Tabela II-3 apresenta os fatores de emissão médios para um terminal de marketing.

Tabela II-3 Fator de Emissão Médio para um Terminal de Marketing (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_A) para um Terminal de Marketing		
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	$1,3 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Leves	$4,3 \cdot 10^{-5}$
Selos de Bombas	Gás	$6,5 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Leves	$5,4 \cdot 10^{-4}$
Compressores e outros	Gás	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Leves	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Flanges e outros	Gás	$4,2 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Leves	$8,0 \cdot 10^{-6}$

A Tabela II-4 apresenta os fatores de emissão médios para uma refinação de óleo e gás.

Tabela II-4 - Fator de Emissão Médio para uma Refinaria de Óleo e Gás (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_A) para uma Refinaria de Óleo e Gás		
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	$4,5 \cdot 10^{-3}$
	Líquidos Leves	$8,4 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Pesados	$2,5 \cdot 10^{-3}$
	Água/Petróleo	$9,8 \cdot 10^{-5}$
Selos de Bombas	Gás	$2,4 \cdot 10^{-3}$
	Líquidos Leves	NA
	Líquidos Pesados	$1,3 \cdot 10^{-2}$
	Água/Petróleo	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Outros	Gás	$8,8 \cdot 10^{-3}$
	Líquidos Leves	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Pesados	$7,5 \cdot 10^{-5}$
	Água/Petróleo	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Conectores	Gás	$2,0 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Leves	$7,5 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Pesados	$2,1 \cdot 10^{-4}$
	Água/Petróleo	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Flanges	Gás	$3,9 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Leves	$3,9 \cdot 10^{-7}$
	Líquidos Pesados	$1,1 \cdot 10^{-4}$
	Água/Petróleo	$2,9 \cdot 10^{-6}$
Tubulações Abertas	Gás	$2,0 \cdot 10^{-3}$
	Líquidos Leves	$1,4 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Pesados	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	Água/Petróleo	$2,5 \cdot 10^{-4}$

Apesar do fator de emissão médio ser dado em quilogramas por hora, esse fator não foi criado para estimar emissões de componentes individuais em curtos períodos de tempo, mas sim para estimar valores médios para uma população de equipamentos, ou seja, uma planta química.

Abordagem 2: Abordagem de Faixas de Coleta (*Screening Ranges Approach*):

Essa abordagem oferece algum refinamento quando comparada a anteriormente demonstrada.

Anteriormente conhecida como *leak/no-leak approach* (ou abordagem vaza/não vaza), ela oferece alguns ajustes ou considerações no que tange as condições de operação de alguns equipamentos. Nessa abordagem é considerado que equipamentos que tem valores de vazamentos coletados acima de 10.000 ppm têm fator de emissão médio diferente dos equipamentos com vazamentos menores do que 10.000 ppm.

A fórmula é basicamente a mesma, mas se altera no ponto citado:

$$ETOC = (FG \cdot NG) + (FL \cdot NL) \quad (2)$$

E_{TOC} = Taxa de emissão total de componentes orgânicos de todos os equipamentos de uma dada linha (kg/h);

F_G = Fator de emissão Médio para o dado equipamento cujo vazamento detectado foi maior ou igual a 10.000 ppm (kg/h/equipamento);

N_G = Número de equipamentos cujo vazamento foi maior ou igual a 10.000 ppm na linha.

F_L = Fator de emissão Médio para o dado equipamento cujo vazamento detectado foi menor do que 10.000 ppm (kg/h/equipamento);

N_L = Número de equipamentos cujo vazamento foi menor do que 10.000 ppm na linha.

Essa abordagem indica de maneira pouco mais fiel como os vazamentos individuais realmente ocorrem, diferentemente da abordagem vista anteriormente.

A tabela 2.5 apresenta os fatores de emissão médios de acordo com o critério de faixas de coleta.

Tabela II-5 - Fatores de Emissão Médios pela Segunda Abordagem (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_G e F_L)			
Tipo de Equipamento:	Serviço:	Fator de Emissão Médio > 10.000 ppm (kg/h/equipamento)	Fator de Emissão Médio < 10.000 ppm (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	0,0782	0,000131
	Líquidos Leves	0,0892	0,000165
	Líquidos Pesados	0,00023	0,00023
Selos de Bombas	Líquidos Leves	0,243	0,00187
	Líquidos Pesados	0,216	0,0021
Selos de Compressores	Gás	1,608	0,0894
Válvulas de Alívio de Pressão	Gás	1,691	0,0447
Conectores	Todos	0,113	0,000081
Tubulações Abertas	Todos	0,01195	0,0015

A Tabela II-6 apresenta os fatores de emissão médios para uma refinaria.

Tabela II-6 - Fatores de Emissão Médios para uma Refinaria (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_G e F_L) para uma Refinaria			
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio > 10.000 ppm (kg/h/equipamento)	Fator de Emissão Médio < 10.000 ppm (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	0,2626	0,0006
	Líquidos Leves	0,0852	0,0017
	Líquidos Pesados	0,00023	0,00023
Selos de Bombas	Líquidos Leves	0,437	0,012
	Líquidos Pesados	0,3885	0,0135
Selos de Compressores	Gás	1,608	0,0894
Válvulas de Alívio de Pressão	Gás	1,691	0,0447
Conectores	Todos	0,0375	0,00006
Tubulações Abertas	Todos	0,01195	0,0015

A Tabela II-7 apresenta os fatores de emissão médios para um terminal de marketing.

Tabela II-7 - Fatores de Emissão Médios para um Terminal de Marketing (EPA, 1995)

Fatores de Emissão Médios (F_G e F_L) para uma Refinaria			
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio > 10.000 ppm (kg/h/equipamento)	Fator de Emissão Médio < 10.000 ppm (kg/h/equipamento)
Válvulas	Gás	NA	$1,3 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Leves	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$
Selos de Bombas	Líquidos Leves	$7,7 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
Compressores e outros	Gás	NA	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Leves	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Flanges e outros	Gás	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Leves	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$

A Tabela II-8 apresenta os fatores de emissão médios para uma refinaria de óleo e gás.

Tabela II-8 – Fatores de Emissão Médios para uma Refinaria de Óleo e Gás.

Fatores de Emissão Médios (F_A) para uma Refinaria de Óleo e Gás			
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio > 10.000 ppm (kg/h/equipamento)	Fator de Emissão Médio < 10.000 ppm (kg/h/equipamento)
	Líquidos Pesados	NA	$8,4 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Leves	$8,7 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^{-5}$
	Água/Petróleo	$6,4 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-6}$
Selos de Bombas	Gás	$7,4 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Pesados	NA	NA
	Líquidos Leves	$1,0 \cdot 10^{-1}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$
	Água/Petróleo	NA	$2,4 \cdot 10^{-5}$
Outros	Gás	$8,9 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
	Líquidos Pesados	NA	$3,2 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Leves	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
	Água/Petróleo	$6,9 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$

**Tabela II-9 – Fatores de Emissão Médios para uma Refinaria de Óleo e Gás.
(Continuação)(EPA,1995)**

Fatores de Emissão Médios (F_A) para uma Refinaria de Óleo e Gás			
Tipo de Equipamento	Serviço	Fator de Emissão Médio > 10.000 ppm (kg/h/equipamento)	Fator de Emissão Médio < 10.000 ppm (kg/h/equipamento)
Conectores	Gás	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
	Líquidos Pesados	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Leves	$8,2 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-6}$
	Água/Petróleo	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
Flanges	Gás	$8,2 \cdot 10^{-2}$	$5,7 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Pesados	NA	$3,9 \cdot 10^{-7}$
	Líquidos Leves	$7,3 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$
	Água/Petróleo	NA	$2,9 \cdot 10^{-6}$
Tubulações Abertas	Gás	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
	Líquidos Pesados	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-6}$
	Líquidos Leves	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
	Água/Petróleo	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$

Abordagem 3: Abordagem das Correlações da EPA (EPA Correlation Approach):

Essa abordagem oferece uma estimativa calculada de maneira diferente quando comparada as duas anteriores. Aqui os fatores de emissões médios são calculados por meio do uso de correlações para cada tipo de equipamento.

É preferivelmente utilizada quando se tem valores reais de coleta de vazamentos de plantas que estão sendo avaliadas. A Abordagem das Correlações pode ser usada para estimar taxas de vazamentos desde coletas padrão-zero até medições que representam o limite máximo de detecção do aparelho de monitoramento.

A taxa de vazamento “padrão zero” é taxa mássica de emissão associada com o valor de coleta zero. Por exemplo: caso seja medida a vazão mássica de um equipamento em um local onde diversos equipamentos estão ao seu redor, e o seu registro de coleta individual for menor do que o ambiente a sua volta, sua vazão de vazamento é considerada nula.

A taxa de emissão de “topo de escala” é a vazão de vazamento associada com a coleta de resultados onde os valores registrados são o limite superior do elemento de medida (normalmente esse valor é 10000 ppm).

Para todos os equipamentos nos quais são registrados valores de coleta “padrão-zero” é selecionada a correlação aplicável para prever suas emissões, o mesmo ocorrendo com as leituras de “topo de escala”. Vale lembrar que se deve fazer o registro do vazamento individual de cada equipamento, já que ao contrário das abordagens anteriores, nenhum fator de emissão médio é encontrado.

A Tabela II-10 apresenta as correlações de acordo com a terceira abordagem.

O termo SV, *Screening Value*, refere-se ao valor observado durante a medição individual de cada equipamento.

Tabela II-10 – Taxa de Vazamento pela Terceira Abordagem (EPA, 1995)

Taxa de Vazamento pela 3ª Abordagem	
Tipo de Equipamento	Correlação
Válvulas de Gás	Taxa de Vaz. (kg/h) = $1,87 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,873}$
Válvulas de Líquidos Leves	Taxa de Vaz. (kg/h) = $6,41 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,797}$
Bombas de Líquidos Leves	Taxa de Vaz. (kg/h) = $1,90 \cdot 10^{-5} \cdot (SV)^{0,824}$
Conectores	Taxa de Vaz. (kg/h) = $3,05 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,885}$

Tabela II-11 apresenta as correlações para uma planta de petróleo.

Tabela II-11 – Taxa de Vazamento para as Indústrias Petrolíferas (EPA, 1995).

Taxa de Vazamento para Indústrias Petrolíferas	
Tipo de Equipamento	Correlação
Válvulas	Taxa de Vaz. (kg/h) = $2,29 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,746}$
Selos de Bombas	Taxa de Vaz. (kg/h) = $5,03 \cdot 10^{-5} \cdot (SV)^{0,610}$
Outros	Taxa de Vaz. (kg/h) = $1,36 \cdot 10^{-5} \cdot (SV)^{0,589}$
Conectores	Taxa de Vaz. (kg/h) = $1,53 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,753}$
Flanges	Taxa de Vaz. (kg/h) = $4,61 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,703}$
Tubulações Abertas	Taxa de Vaz. (kg/h) = $2,20 \cdot 10^{-6} \cdot (SV)^{0,704}$

Mas para valores “padrão-zero” ou do tipo ”topo de escala”, a equação do item anterior deve ser usada para estimar a E_{TOC} = Taxa de emissão total de componentes orgânicos de todos os equipamentos de uma dada linha (kg/h).

A tabela II-11 apresenta os fatores de emissão médios para vazamentos “padrão-zero” para unidades de processamento.

Tabela II-12 – Fator de Emissão “Padrão-Zero” (EPA, 1995)

Valor “Padrão-Zero” para Unidades de Processos	
Tipo de Equipamento	Fator de Emissão Padrão-Zero
Válvulas de Gás	$6,6. 10^{-7}$
Válvula de Líquidos Leves	$4,9. 10^{-7}$
Bombas de Líquidos Leves	$7,5. 10^{-6}$
Conectores	$6,1. 10^{-7}$

REF:

A Tabela II-13 apresenta os fatores de emissão médios para vazamentos “padrão-zero” para uma planta de petróleo.

Tabela II-13 – Fator de Emissão “Padrão-Zero” para Indústrias de Petróleo (EPA, 1995)

Valor Padrão-Zero para Indústrias de Petróleo	
Tipo de Equipamento	Fator de Emissão Padrão-Zero
Válvulas	$7,8. 10^{-6}$
Selos de Bombas	$2,4. 10^{-5}$
Outros	$4,0. 10^{-6}$
Conectores	$7,5. 10^{-6}$
Flanges	$3,1. 10^{-7}$
Tubulações Abertas	$2,0. 10^{-6}$

A Tabela II-14 apresenta os fatores de emissão médios para vazamentos “topo de escala” para unidades de processamento.

Tabela II-14 – Fatores de Emissão “Topo de Escala” para uma Unidade de Processamento (EPA,1995)

Fatores de Emissão “Topo de Escala” para uma Unidade de Processamento	
Tipo de Equipamento	Emissão Topo de Escala 10.000 ppm (kg/h/equipamento)
Válvulas de gás	0,024
Válvula de Líquidos Leves	0,036
Bombas de Líquidos Leves	0,14
Conectores	0,044

A Tabela II-15 apresenta os fatores de emissão médios para vazamentos “topo de escala” para uma planta de petróleo.

Tabela II-15 – Fator de Emissão Topo de Escala para a Indústria de Petróleo (EPA, 1995)

Valor Topo de Escala para Indústrias de Petróleo	
Tipo de Equipamento	Fator de Emissão Topo de Escala
Válvulas	0,064
Selos de Bombas	0,074
Outros	0,073
Conectores	0,028
Flanges	0,085
Tubulações Abertas	0,03

II.5. ESTATÍSTICAS DE VAZAMENTOS INDUSTRIAIS

Após expor sobre o que é vazamento e as maneiras de estimação, será dado um enfoque especial neste subcapítulo em quais são os principais equipamentos que mais vazam em uma indústria.

As informações da Figura II-1 foram obtidos após recolhimento de vários vazamentos por emissões fugitivas de indústrias ao longo de anos. (HERRMAN e SIEGLE, 1997)

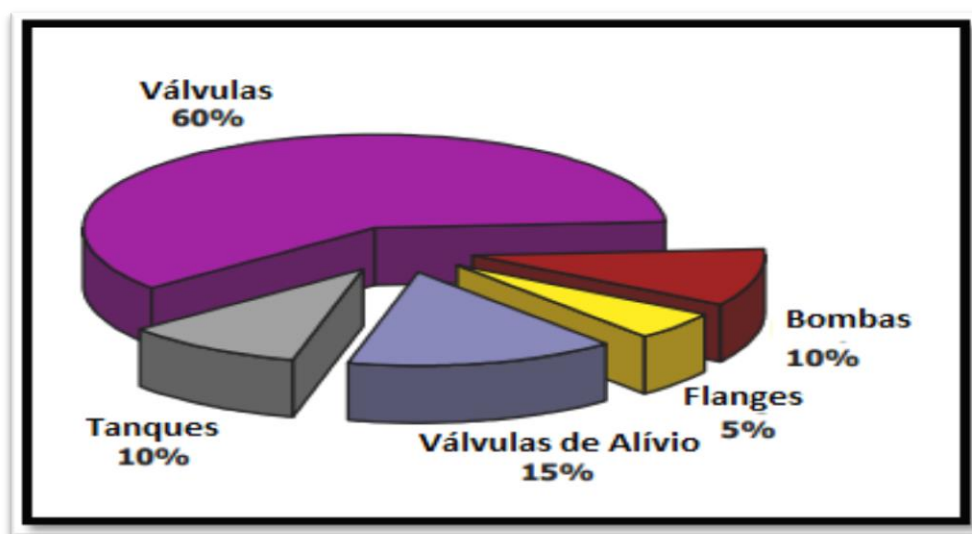


Figura II-1 – Porcentagem de Vazamento por Equipamento

Na Figura II-1 pode ser visto que o equipamento que produz a maior taxa de vazamento na indústria são as válvulas. É justo dizer que assim como no caso dos flanges, seus números são altos muito em função do coletivo de válvulas e flanges do que para eles sozinhos. Então, apesar de uma válvula ou um flange não possuírem, por exemplo, um fator de emissão médio alto (assim como pode ser visto na tabela II. 4) como em uma planta industrial conta com dezenas ou até mesmo centenas deles, eles são efetivamente uma preocupação.

O próximo exemplo corrobora, na prática, a influência do número de flanges quando falamos de emissões fugitivas e principais focos de vazamento. A Tabela II. 15 foi montada a partir do método de estimativas de vazamentos, de acordo com a primeira abordagem, fator de emissão médio. Foi estimado o total de vazamentos por emissões fugitivas de uma pequena fábrica de Butadieno, em Paulínia, no interior de São Paulo. (PREZOTTI e TRENSMONDI, 2006).

Tabela II-16 – Emissões Fugitivas Totais Na Fábrica de Paulínia(EPA, 1995)

Emissões Fugitivas Após Contagem dos Equipamentos da Fábrica de Paulínia			
Equipamento	Quantidade de equipamento	Fator de Emissão Médio (Kg/h)	Emissões Totais (Kg/h)
Válvulas	200	0,00597	1,194
Flanges	410	0,00183	0,75
Selos de Bombas	2,0	0,0199	0,039
Válvulas e Alívio de Pressão	10	0,104	1,04
Conexões de Amostragem	22	0,015	0,33

REF:

A Figura II-2 foi construída com base nos dados da Tabela II-15.

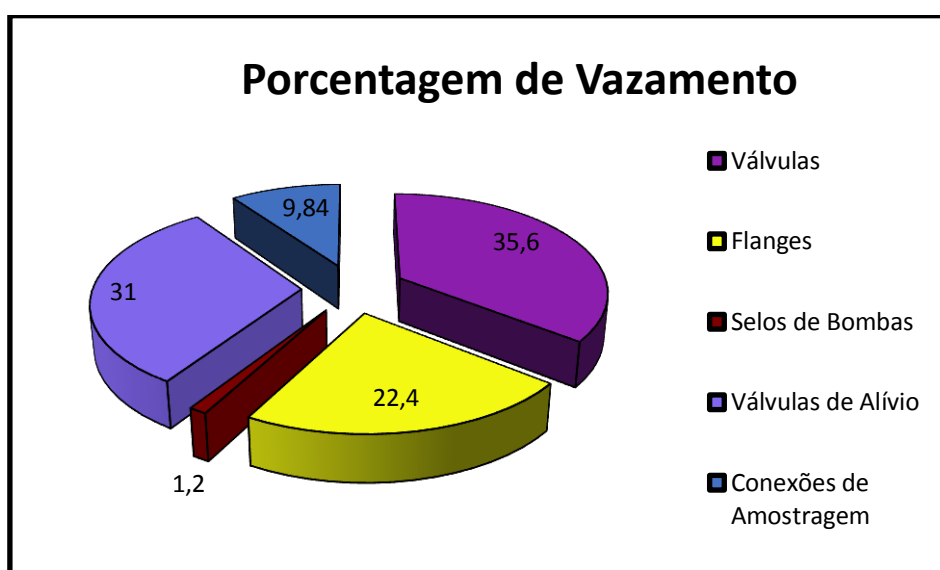


Figura II-2 - Porcentagem de Vazamento Caso Exemplo

Como pode ser visto, os números se mantiveram muito próximos aos dados apresentados no trabalho de 1997. No entanto, notou-se um significativo aumento de vazamentos de flanges, de 4% para quase 20%. Apesar de não possuírem um fator de emissão médio muito alto quando comparado com os demais componentes, o elevado número de flanges em uma indústria leva a crer que seria de grande valia para a indústria se fosse criada uma maneira apropriada de se garantir que ele continue vedando, pelo menos até a próxima parada da planta onde normalmente ocorre a troca de todos os elementos de vedação (juntas, gaxetas etc.).

Ao longo dos demais capítulos serão introduzidos alguns conceitos sobre a construção e projeto de flanges, juntas, vedação e principalmente, descrever o método

experimental criado para se obter o mínimo valor de aperto em uma junta para que ela continue vedando.

CAPÍTULO III. FLANGES

III.1. INTRODUÇÃO

Flange é, historicamente, a maneira mais antiga de juntar dois trechos de tubulações. Flanges são compostos de duas faces e são normalmente unidos por parafusos. Na figura III. 1 segue um exemplo de flange usados em indústrias.



Figura III-1- Exemplo de Flange

Os flanges são componentes essenciais de uma indústria. Eles foram criados na impossibilidade de se fabricar uma tubulação de qualquer extensão, tanto do aspecto de espaço físico para construção quanto na impossibilidade que seria transportar uma peça única de tamanho grandioso. Eles auxiliam a montagem e manutenção de toda a tubulação, por serem pontos de fácil acesso e mais fáceis de manusear quando comparados a uma tubulação inteira.

As plantas industriais dependem muito das tubulações para transporte das substâncias (agentes químicos, água, vapor, etc). A cada metro de tubulação instalado, aumenta também o número de flanges necessários.

Ao passar dos anos, as indústrias ficam cada vez maiores e complexas, acoplado a isso vem a necessidade de maiores estudos não apenas das tubulações, mas também dos flanges e seus potenciais vazamentos.

III.2. NORMAS

Existem diferentes normas internacionais para a construção de um par de flanges. A norma que mais se destaca é a americana, desenvolvida pela *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos; “*ASME - Boiler and Pressure Vessels Code, Section VIII, Division I – Rules for Construction of Pressure Vessels*”. No Brasil e na maior parte do mundo, usa-se principalmente a norma da ASME, não somente pela sua funcionalidade, mas também por estar em constante atualização. Na Europa, usa-se principalmente a norma alemã, intitulada DIN1092.

Esta norma se aplica especificamente para o design de conexões por flange aparafusado com juntas circulares (aonde seu diâmetro externo não vem ultrapassar ou sobrepor o buraco dos parafusos). Os métodos de *design* abordam principalmente:

- Materiais,
- Tipos de flanges,
- Carga dos parafusos,
- Momentos do flange,
- Cálculo de tensão no flange,
- Tensão permitida,
- Flanges sujeitos a pressões externas,
- Rigidez do flange,
- Qualificação de procedimentos de montagens.

No caso de união flangeada, termo técnico para o encontro de tubulações unidas por flanges, com aplicação em tubulações de processos, utiliza-se a norma “*ASME B 31.3 - Process Piping*”. Nela, os capítulos que merecem destaques são:

- *Design* de flanges,

- *Fluid Service Requirements for Piping Joints*, essa parte trata de diferentes especificações individuais que cada tubulação deve ter para ser elegível para o tipo de serviço requerido. Como por exemplo: força sob condições de serviço e cargas externas.

A norma “ASME B 16.5 – Pipe Flanges e Flanged Fittings” é voltada para operação. Nela estão contidas informações do tipo:

- Razões pressão-temperatura;
- Materiais;
- Dimensões;
- Tolerâncias.

III.3. DESIGN

O design de um flange pode influenciar muito a sua operação. O design pode variar entre esses tipos:

- "weld neck",
- "slip-on",
- "lap joint",
- "socket weld",
- "threaded"
- Dentre outros

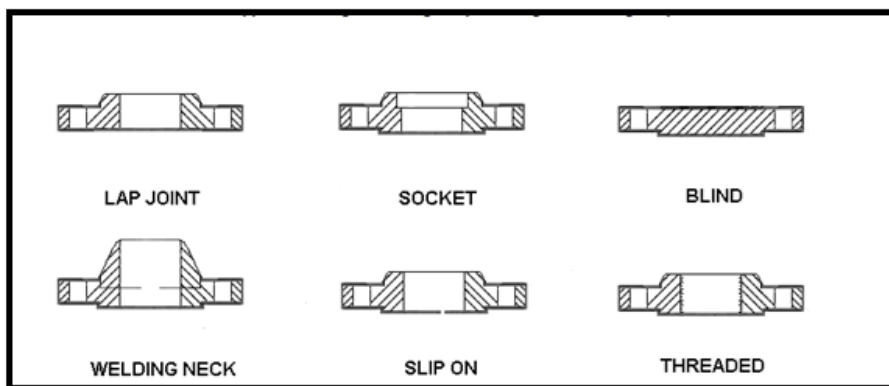


Figura III-1 - Exemplificação de tipo de flanges (Niko Steel Industries, 2014)

Apesar de parecerem iguais pelo desenho na figura III-1, os modelos *Slip-on* e *Threaded* se distinguem no fato que o modelo *Threaded* a tubulação de entrada é rosqueada no flange, e não simplesmente soldada.

O desenvolvimento de diferentes tipos de flanges, assim como os exemplificados na Figura III. 1, vem da necessidade de se utilizar elevadas pressões em processo. Não são todos os tipos de flanges que são próprios para serem utilizados em altas pressões. Após certos valores, é recomendado que se trocasse o tipo de flange para que não haja danos no mesmo, na junta ou no parafuso durante a operação.

Na figura III.2 , segue um exemplo de uma união flangeada: tubulação de entrada e saída, o par de flanges, a junta entre eles e os parafusos que a mantêm unida.

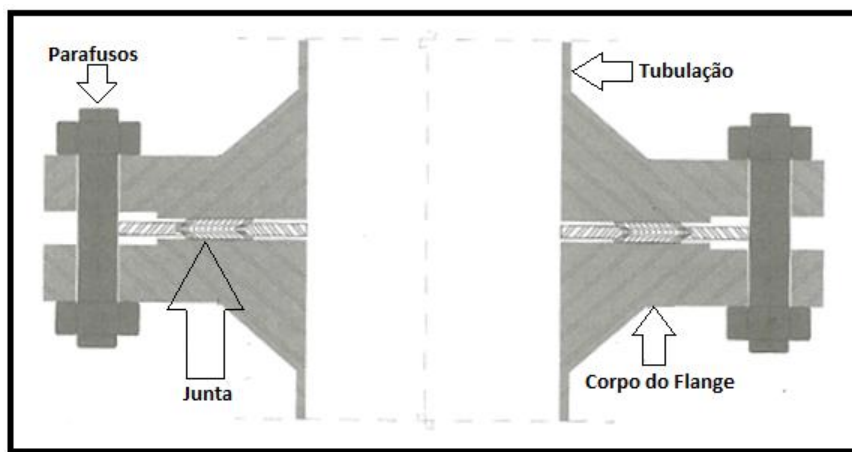


Figura III-2 - União flangeada (VEIGA, 2013)

Outro fator importante no design de um flange é o tipo de face interior do par de flanges. Note que nas figuras a seguir, mostra-se apenas a terminação final dos flanges até o parafuso que o mantém unido. A parte com dupla hachura entre o par de flanges é exatamente a junta.

- Face plana;

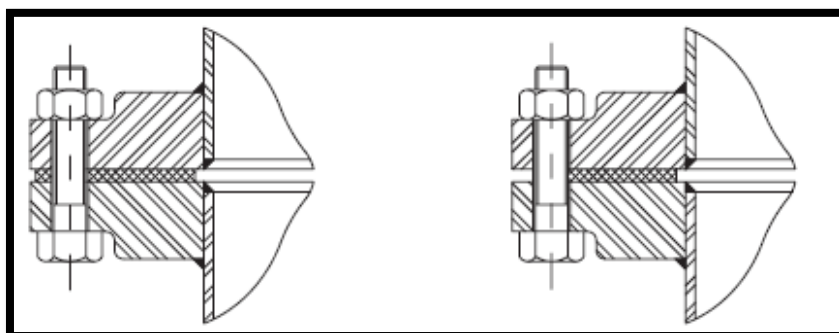


Figura III-3 - Flanges de face plana

A Figura III-3 exemplifica flanges de face plana. A direita uma junta do tipo RF (*Raised Face*) que vai até os parafusos e a esquerda uma junta do tipo FF (*Full Face*), cobrindo toda a superfície de contato. Normalmente usados em flanges de materiais frágeis.

- Face ressaltada;

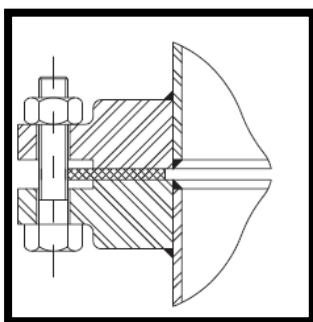


Figura III-4 - Flange de face ressaltada

As superfícies são ressaltadas de 1,6 ou 6,4 mm. A junta normalmente é dimensionada até o encontro dos estojos. É o tipo mais usado em tubulações.

- Face lingueta e ranhura;

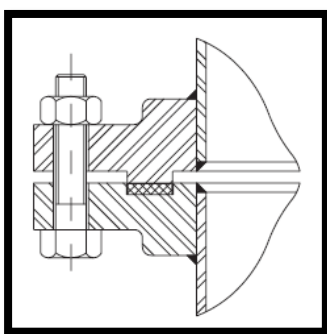


Figura III-5 - Flange de face lingueta e ranhura

A profundidade da ranhura é igual ou um pouco maior que a altura da lingueta. A ranhura é cerca de 1,6 mm mais larga que a lingueta. A junta tem, normalmente, a largura da lingueta.

- Face macho e fêmea;

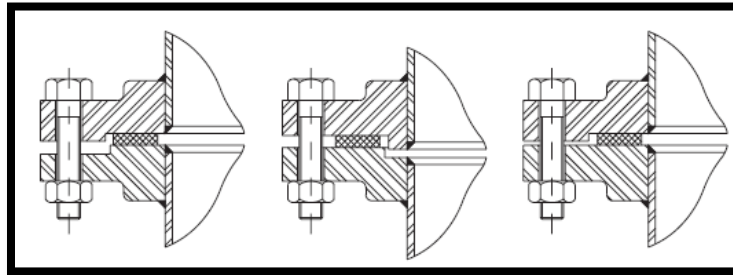


Figura III-6 - Flange de face macho e fêmea

O tipo mais comum é o da esquerda. A profundidade da fêmea é igual ou menor que a altura do macho, para evitar a possibilidade de contato direto dos flanges quando a junta é comprimida.

Além dos diferentes tipos de face no interior de um flange, outro aspecto importante no design de flanges, principalmente para a vedação, é o acabamento superficial dessa face interior. Como regra geral, é necessário que a superfície seja ranhurada para as juntas não metálicas. Já as semi-metálicas exigem uma superfície levemente áspera e as juntas metálicas uma superfície lisa.

Na Figura III-7 vemos dois tipos diferentes de acabamento superficial de flanges.

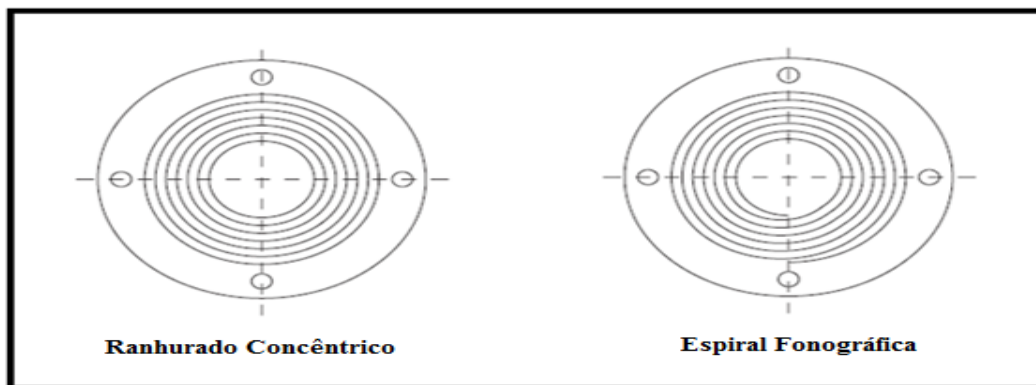


Figura III-7 - Superfícies internas dos flanges

III.4. CLASSIFICAÇÃO

De acordo com a norma da ASME, os flanges são classificados de acordo com o seu *Nominal Pipe Size* (NPS) e sua classe de pressão. Por exemplo: um flange do tipo

3#150 significa dizer que: 3 é seu NPS e 150 sua classe de pressão. NPS é o tamanho nominal do tubo que chega e sai desse flange, nesse caso em polegadas. A pressão é expressada em psi.

CAPÍTULO IV. JUNTAS

IV.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo será visto que se um flange for conectado diretamente com o seu correlato, mesmo se aparafusado corretamente, ele irá vaziar.








Apesar de a maior parte dos flanges possuírem um par, com encaixe “perfeito”, durante a sua vida útil ele está sujeito aos mais variados tipos problemas. Um exemplo são cargas externas, que podem forçar a tubulação de tal maneira, entortando-o e causando danos a sua estrutura. Para aumentar a vida útil dos flanges e evitar acidentes por falhas, foi introduzido um dispositivo entre o par de flanges para que fosse possível absorver as tensões externas e internas da linha.

Esse dispositivo, chamado de junta, foi a maneira encontrada pela indústria para evitar o vazamento de substâncias que atravessassem as junções de tubulações. Juntas são normalmente referidas como “a última barreira contra a vedação”. O modelo comum – utilizado nos teste experimental feito como parte desse projeto e descrito mais a frente, são formadas por pequenas estruturas circulares, que são postas entre o par de flanges. Elas servem tanto para evitar o desgaste dos flanges ao se encostarem, como, e principalmente, para vedar.

IV.2. TIPOS DE JUNTAS

No mercado existem os mais diferentes tipos de juntas, mas para apresentá-las como um todo, foi feito o uso da tabela disponível no livro “ASME - B16.5 - Non-Mandatory Apêndice II”. Na Tabela IV-1, são identificados os materiais componentes das juntas, juntamente com breves exemplos ilustrativos.

Tabela IV-1 - Principais tipos de juntas

Material da Junta	Desenho
Elastômeros sem Fibra	
Papelão Hidráulico Reforçado	
PTFE	
Papelão Hidráulico sem reforço	
Junta Espiral	
Junta de Metal Encamisada	
Ring Joint	

Dentre as juntas acima destacadas temos: PTFE, Junta Espiral, Junta de Metal Encamisada, *Ring Joint* e Papelão Hidráulico.

As figuras a seguir são relativas à junta de papelão hidráulico, foco do presente estudo. A Figura IV-1 é vista de cima da junta. Na Figura IV-2, a junta é vista com corte transversal.

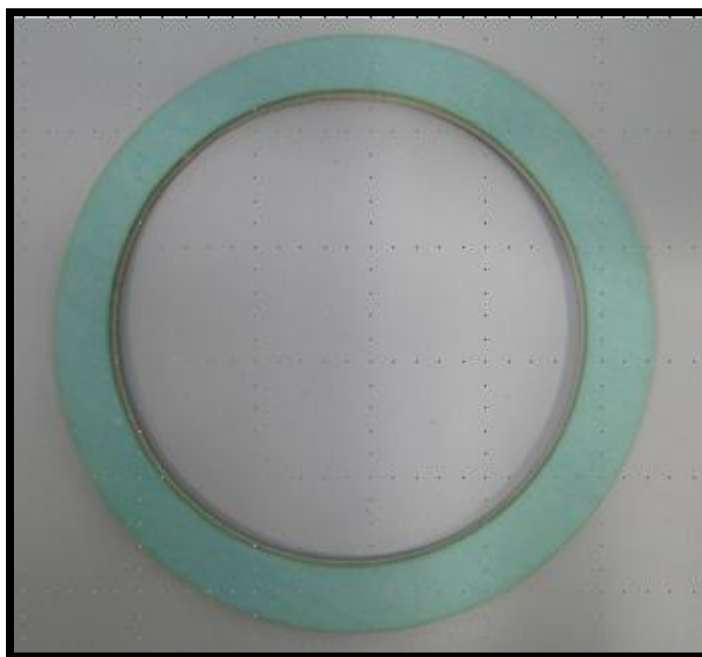


Figura IV-1 - Junta de papelão hidráulico

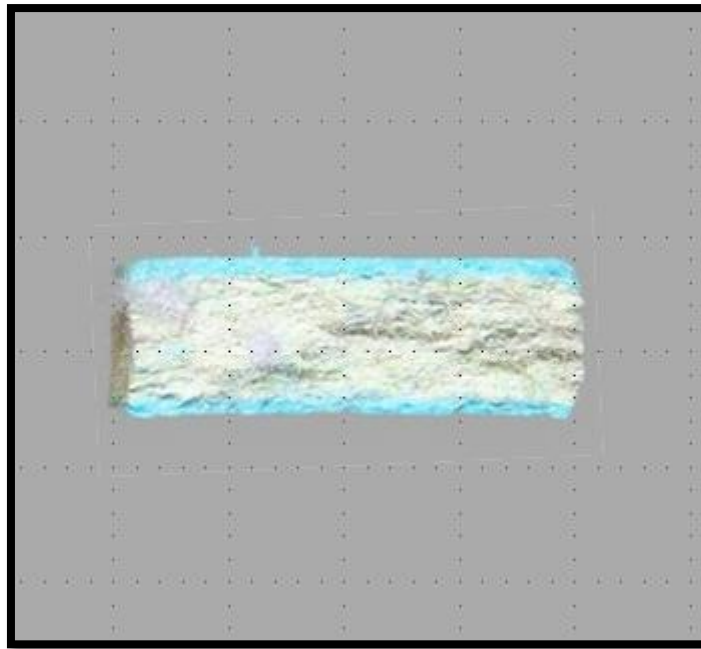


Figura IV-2 - Junta de papelão hidráulico com corte transversal

IV.3. DIMENSÕES

Para o dimensionamento das juntas, cabe fazer referência às normas da ASME B 16.20 e B 16.21. A norma “B16.20 – *Metallic Gaskets for Pipe Flanges*” – trata de materiais, dimensões, tolerâncias e marcações, para juntas do tipo: Junta Espiral, Junta de Metal Revestida, *Ring Joint*. Já a norma “B16.21 – *Non-Metallic Flat for Pipe Flanges*” – trata de tipos, materiais, dimensões, tolerâncias e marcação, para juntas lisas não metálicas.

Ambas as normas padronizam os tamanhos mínimos e máximos dos diâmetros internos e externos de cada junta, em acordo com o material do flange, NPS e classe de pressão.

IV.4. SELEÇÃO

A seleção de uma junta envolve diferentes aspectos não só da junta, mas principalmente das condições nas quais ela será instalada: tipo do flange, fluido,

parafuso etc. A junta deve também ser selecionada de acordo com a força de assentamento compatível com a classe e face, superfície interna e a rigidez do mesmo.

Em notas mais gerais, as normas trazem consigo duas vantagens. Veremos abaixo exemplos dessas.

A primeira trata de um conjunto de boas práticas, adquiridas através de anos de experiência. Por exemplo, a norma B 16.5, relata que as juntas devem estar de acordo com as normas B 16.20 e B16.21, principalmente quanto as dimensões. Porém, enfatiza que é de inteira responsabilidade do usuário a seleção correta do material que compõe a junta. Ela deve sustentar a carga de instalação dos parafusos sem que lhe cause danos e que seja apropriada para vedação do fluido transportado pela linha. Para todos os casos, as dimensões devem ser escolhidas de acordo com as características do material da junta: densidade, flexibilidade, compatibilidade com o fluido da linha e compressão necessária para manter a vedação.

A segunda vantagem trata de algumas recomendações feitas por especialistas da área, é experimental e leva em consideração conhecimento prático - *know-how*, que a indústria obteve ao longo dos anos. Dessa forma, cada parte interessada – usuário e fornecedor – mantém-se melhor informada tanto em relação à metodologia das aplicações como também sobre prevenção aos vazamentos. Um exemplo disso é o descrito na norma “*ASME B 31.3 – Process Piping*”, onde juntas que não são sujeitas a escoamento a frio devem ser usadas em flanges do tipo “*Raised Face*” para fluidos a elevadas pressões com temperaturas acima ou abaixo da temperatura do ambiente. Já as juntas sujeitas a escoamento a frio são indicadas para uso em flanges do tipo “*Full Face*” e em baixas pressões, superfícies do tipo face plana. Em outros tipos de serviços, o flange do tipo lingueta e ranhura ou outros tipos de flanges do tipo confinado são indicados. Flanges do tipo confinado, são flanges no qual a junta não é possível de ser visualizada ao olhar para a união flangeada de fora para dentro. As juntas desse tipo de flange ficam em espaços especialmente desenvolvidos para elas. É o caso, por exemplo, da face Lingueta-Ranhura.

Como exemplo, temos a norma B 16.20, indica qual o tipo de junta, junta espiral, junta de metal revestida e *Ring Joint* deve ser usado em flanges do tipo “*Raised Face*” e “*Flat Face*”. Na norma B 16.21, indica os seguintes tipos de juntas e face de flange:

- *Full Face* – Face Plana;
- *Raised Face* – Anel Plano.

No próximo capítulo será visto como a instalação da junta deve ser feita para que a vedação seja efetiva.

CAPÍTULO V. VEDAÇÃO

V.1. INTRODUÇÃO

Nesse capítulo será dada atenção aos aspectos que fazem com que uma conexão mantenha a sua vedação. Vedação é quando a união flangeada: par de flanges, aparafusamento e junta, impedem o fluido que passa por entre a tubulação de sair para o ambiente. Também será explicado o que é considerado vazamento de acordo com alguns testes praticados no mundo inteiro. Será introduzido o apêndice O do ASME PCC-1, que é inteiramente dedicado à determinação de práticas e valores de tensões mínimas para que se garanta uma operação segura.

V.2. FORÇAS DE UMA UNIÃO FLANGEADA

Para que se obtenha uma vedação, a junta precisa ser apertada entre as superfícies dos flanges, preenchendo assim suas imperfeições. Mas para conseguirmos de fato uma vedação, alguns fatores devem ser considerados. (VEIGA, 2013)

- **Força de esmagamento mínima:** é denominada como sendo a força fornecida a junta para que ela preencha as imperfeições do flange.
- **Força de vedação:** após o aperto inicial dado na junta pelo torque dos parafusos, deve ainda permanecer, uma força residual sobre a junta que permita seu funcionamento, evitando vazamentos.

Existem quatro forças que devem ser consideradas para se obter uma vedação em uma união flangeada. (VEIGA, 2013)

- **Força radial:** proveniente da pressão interna, ou seja, o fluido passante, que tende expulsar a junta do flange.

- **Força de separação:** também proveniente do fluido passante, que age continuamente tentando separar o par de flanges, denominada também força hidrostática.

- **Força dos estojos:** é força que mantém o conjunto unido, através do aperto dos parafusos.

- **Força de vedação:** também imposta pelos parafusos, e que efetivamente impedirá o vazamento, força que o par de flanges impõe à junta.

Na Figura V-1, podemos ver todas as forças de uma união flangeada.

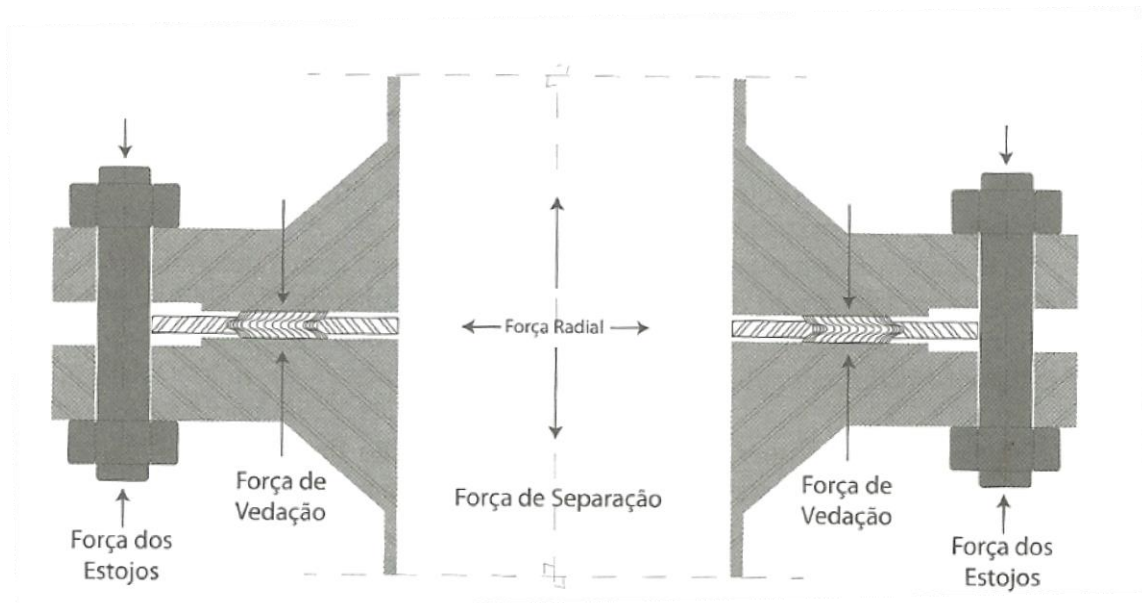


Figura V-1 - Força de uma união flangeada (VEIGA, 2013).

A força imposta pelos parafusos deve:

- Esmagar a junta, preenchendo as imperfeições do flange;
- Compensar a força de separação dos flanges (causada pela pressão interna);
- Compensar o relaxamento da união flangeada que ocorre a todo instante;
- E seu “resíduo” ainda deve ser o suficiente para que seja dado aperto necessário na junta para evitar o vazamento.

V.3. NORMAS

Três elementos distintos e independentes mas que apesar disso atuam juntos, são determinantes para se obter uma vedação. Esses são: o par de flanges, a junta e o aparafusamento. Os fatores que afetam essa *performance* incluem:

- Seleção e *Design*:

- Consideração das condições de serviço (incluindo cargas externas, momentos de flexão e aplicação de isolamento térmico);

- A classificação do flange, seu tipo, material, face e superfície interna da face;

- Tipo de junta, seu material, espessura, e seu *design*;

- Material do parafuso, sua força (a frio e a temperatura de uso) e especificações de aparafusamento;

- *Design* de acesso à junta.

- Instalação

- Condições das superfícies do par de flanges;

- Alinhamento da conexão e colocação da junta antes do aparafusamento.

- Implementação de procedimentos específicos para aparafusamento.

Durante a montagem de uma união flangeada, isso quer dizer, durante a instalação de uma junta, certos controles devem ser feitos na seleção e aplicação de todos os itens citados acima para que se obtenha, na união, um aperto aceitável contra vazamentos. Como por exemplo, existem técnicas especiais para o torque controlado do parafuso. (PCC-1, 2010)

V.4. APARAFUSAMENTO

O ponto mais importante para a vedação de uma união flangeada é a instalação. Se feita de maneira correta proverá longos anos de serviços para o flange sem que haja preocupação de vazamento, mas caso seja feita sem se seguir as regras de boas práticas pode acarretar danos na união flangeada como um todo. Se os procedimentos de montagens não forem seguidos pouco adiantará ter o conjunto correto para a situação, pois o mesmo, após algum tempo, falhará. Os erros mais comuns de instalação são:

- Falta de lubrificante
- Aperto excessivo ou insuficiente
- Junta não centralizada.

E para que isso não ocorra, a ASME através do ASME PCC-1, criou um guia de como se deve fazer corretamente o aparafusamento do flange.

Deve-se então, por meio de um torquímetro, apertar os parafusos na ordem descrita na Figura V-2.

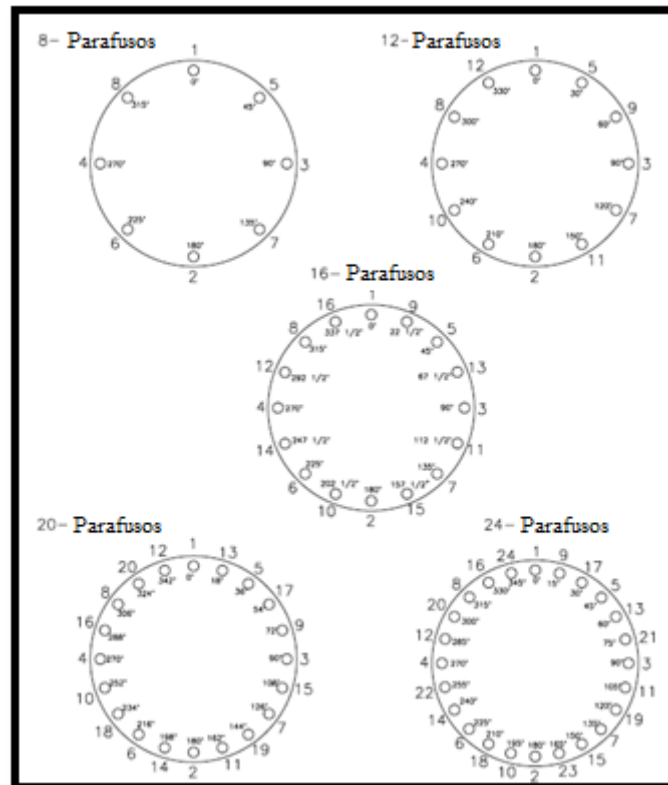


Figura V-2 - Ordem de aperto dos parafusos

O torque em cada parafuso deve ser impresso da seguinte maneira:

- 1° - apertar todos os parafusos com 30% do torque final. Assegurar que os flanges estão paralelos
- 2° - apertar todos os parafusos com 70% do torque final. Assegurar que os flanges estão paralelos
- 3° - apertar todos os parafusos com 100% do torque final. Assegurar que os flanges estão paralelos
- 4° - apertar todos os parafusos com 100% do torque final em sequencia circular. Assegurar que os flanges estão paralelos. Repetir até as porcas parem de girar.

V.5. TESTE DE VAZAMENTO DE LABORATÓRIO

Atualmente existem algumas maneiras de testar a qualidade de uma junta, ou seja, seu poder de vedação. Esses são chamados de testes de selabilidade. É comum a realização desses testes em laboratórios preparados. A maioria desses testes envolvem células de carga, com um flange modificado com enclausuramento e um fluido passante, por certo período de tempo. Em geral os testes são bastante diretos. E seguem, normalmente, e o seguinte caminho:

- Corta-se a junta nas dimensões requeridas pelo teste;
- Posiciona-a corretamente na face interior do testador;
- Impõe-se o aperto selecionado;
- Liga-se o aparelho de medição de vazamento;
- Promove-se a passagem do fluido de teste ao testador (junta);
- Espera-se um determinado tempo e coleta-se o valor do vazamento.

Os dois testes mais difundidos e conceituados são: os testes ASTM e DIN. Americano e europeu, respectivamente.

O teste ASTM F37 método A – é utilizado para avaliar vazamento utilizando líquido como fluido de teste. Esse método requer o pré-condicionamento da junta a ser testada no dessecador por 24 horas com cloreto de sódio. O fluido usado é o Iso-Octano, o qual é bombeado para a célula onde já encontra-se a junta. É selecionado um aperto, que varia entre 6 valores de tensão: 100, 250, 500, 1000, 2500 e 5000 psi. Uma vez imposta uma dessas tensões (na junta), inicia-se o teste. Após o início de bombeamento do fluido de teste o tempo começa a ser marcado e o líquido vazado e coletado por meio de uma bureta. Deve-se marcar o tempo a cada 0,05 ml de vazamento. Ao final de 30 minutos é feita uma curva de vazamento com os dados anotados.

Já o teste de selabilidade da norma DIN, “*DIN 3535-6 – Gaskets for Gas Supply – Gasket materials based on synthetic fibers, grafite or polytetrafluoroethylene (PTFE) for gas valves, gas appliances and gas mains*” é dividida em duas partes: 4 e 6. A parte na qual faremos uso para nosso teste experimental é a parte 6.

O teste pela norma européia tem como fluido de teste o gás nitrogênio, que deve ser alimentado a uma pressão de 40 Bar a célula de carga. A junta é posicionada no centro do flange. O aperto é dado na junta por meio da célula de carga. O vazamento é coletado durante duas horas. Diferentemente do teste anterior, em que os resultados eram anotados, neste, se ao longo das duas horas o limite de 0,1 mg/(l.s) ultrapassado, a junta é considerada como falha e não apta ao trabalho.

V.6. ASME PCC-1 Apêndice O

Mais recentemente, em 2010, a ASME lançou uma norma chamada: “*ASME PCC-1 – Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly*”. Essa norma tem como principal objetivo clarificar um pouco mais os tópicos e itens importantes durante a montagem de uma união flangeada.

Dessa norma, podemos destacar o Apêndice O, chamado: “*Assembly Bolt Stress Determination*”, ou, Determinação da Tensão do Parafuso durante a Montagem. Esse apêndice tem como objetivo, após a introdução de algumas nomenclaturas, a obtenção do aperto ideal de instalação em uma junta.

Importante ainda mencionar que todos os cálculos feitos durante esse apêndice levam em consideração a integridade física da própria união flangeada. Ele, através de uma série de passos, indica o quanto é possível de impor de tensão em uma junta para que essa não danifique o flange, nem o parafuso ou muito menos a junta.

Naturalmente, não é apenas um valor que conseguirá cumprir todos esses requisitos, isso resulta então em uma faixa de tensão de instalação. Na Figura V-3, vemos mais detalhadamente o explicado acima.

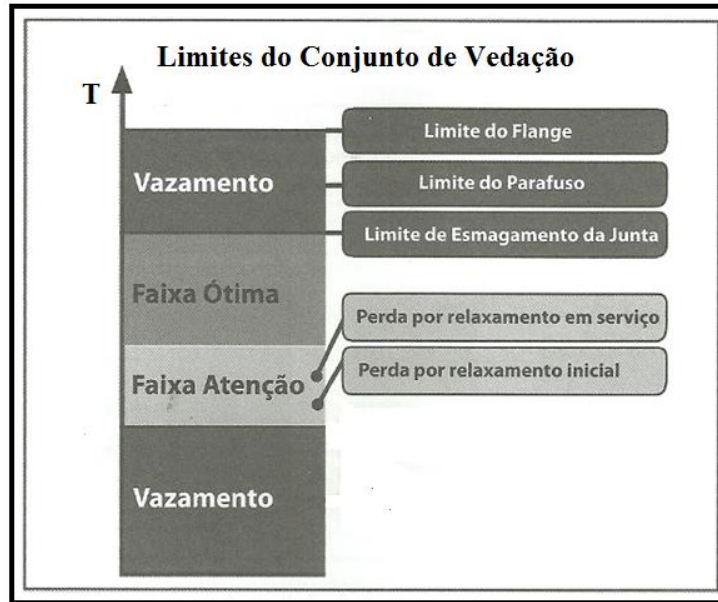


Figura V-3 - Faixa de aperto de instalação

A nossa faixa de instalação varia entre o menor dos limites superiores: do flange, do parafuso ou da junta e o maior dos limites inferiores: novamente, do flange, do parafuso ou da junta. Nosso caso segue exatamente o descrito nesse gráfico, o mais baixo dos superiores é a junta, pois a mesma é feita de um material menos resistente e mais maleável que os outros dois. Já no limite inferior, varia bastante entre o limite mínimo do parafuso e o da junta.

Outro aspecto importante demonstrado na Figura V-3 é uma característica, principalmente de junta não metálicas, que durante o seu serviço, para ser mais preciso, logo após a sua instalação, naturalmente relaxa e assim, começa a perder aperto.

A seguir descreveremos os limites superiores e inferiores dos três componentes em questão:

- Tensão Máxima de Instalação da Junta ($S_{g_{max}}$): é o valor máximo da tensão que não danifique a junta durante a instalação. Este valor é determinado experimentalmente.
- Tensão Admissível Máxima nos Parafusos em Relação ao Flange ($S_{f_{max}}$): é o valor de tensão máxima nos parafusos que pode ser aplicada sem que os flanges sejam danificados. Valor calculado através das equações do apêndice 2 (ASME PCC-1).
- Tensão Admissível Máxima nos Parafusos ($S_{b_{max}}$): o valor de tensão máxima nos parafusos deve ser determinado de modo que não haja dano na junta, flange e no próprio parafuso. Recomenda-se que este valor seja entre 40 e 75% do limite de escoamento do parafuso.
- Tensão Mínima de esmagamento de Instalação ($S_{g_{min-s}}$): valor é obtido experimentalmente baseado na de vedação da junta para. É a tensão mínima que a junta deve ser instalada de modo que haja um adequado assentamento.
- Tensão Admissível Mínima nos Parafusos ($S_{b_{min}}$): valor de tensão mínima nos parafusos deve ser determinado de modo que não hajam comprometimento da vedação por falta de aperto. Recomenda-se que este valor seja entre 20 e 40% do limite de escoamento do parafuso.

E por último, a tensão alvo desse projeto:

- Tensão Mínima de Esmagamento da Junta durante a Operação ($S_{g_{min-o}}$): é o valor mínimo da tensão sobre a junta para assegurar a selabilidade durante a operação. Este valor também é determinado experimentalmente.

Essa última tensão é efetivamente o que queremos obter, pois esse valor é classificado como a última tensão que garantimos a vedação da união flangeada durante a sua operação, antes que a junta, por falta de aperto o suficiente, pare de vedar.

O único problema ao se utilizar esse método é que muitas dessas tensões são obtidas experimentalmente. E atualmente não existe nenhum tipo de experimento no qual se possam obter esses valores da junta, que como por norma, devem ser fornecidos pelos fabricantes.

Então a seguir será descrito o experimento que desenvolvemos para obter o $S_{g_{\min-o}}$, especificamente de uma junta de Papelão Hidráulico, composta de elastômeros e fibras.

CAPÍTULO VI. PROTOCOLO PARA SE DETERMINAR LIMITES DE TENSÕES DA JUNTA DE PAPELÃO HIDRÁULICO

VI.1. INTRODUÇÃO

A metodologia do experimento foi desenvolvida para determinar os parâmetros $S_{g_{máx}}$, $S_{g_{min-s}}$ e $S_{g_{min-o}}$. Desenvolvidos no âmbito dos laboratórios da empresa TEADIT³, os testes foram baseados na norma DIN 3535-6, *Gas Supply- Part 6*, na qual é avaliado vazamento de juntas de PTFE, Fibras sintéticas e de Grafite para válvulas de gás, aparelhos de gás e rede de gás². A norma sugere que a taxa seja medida por um período de $10 \text{ min} \leq \Delta t \leq 2 \text{ h}$, com uma bureta de gás (legibilidade $\leq 0,05 \text{ cm}^3$). Para esses testes, foi utilizado Flowmeter, equipamento utilizado para medição de vazão, de alta precisão, sendo capaz de medir a vazão por quantificação de movimento do fluido, ou seja, o fluxo pode ser medido pela velocidade de fluido ao longo de uma área conhecida. Para tal, dois valores foram utilizados como parâmetros, 0,004 mg/m.s e 0,1 mg/m.s. O valor de 0,004mg/m.s é o fundo de escala do equipamento, logo é o primeiro valor que se é capaz de captar um vazamento (no *flowmeter* usado) e o valor 0,1 mg/m.s é definido na norma como padrão para observar existência de vazamento.

Foram escolhidas juntas de fibras sintéticas de 3,2 mm de espessura por serem as mais utilizadas no mercado. São compostas, principalmente, por elastômero, aramida e celulose- fibras sintéticas e carga inorgânica, materiais que agregam boa resistência, elasticidade e conseqüentemente, boa vedação. Com diâmetro de 75 mm e diâmetro externo de 104 mm.

Para realização dos testes, foi utilizado um testador mecânico, similar a uma prensa, onde a tensão aplicada era dada de forma igualitária em cada um dos pontos da junta. O flange possuía diâmetro interno com ranhura de 50 mm e ranhura do diâmetro externo 90 mm, assim, a junta manteve uma área de contato igual a $1943,86 \text{ mm}^2$.

Com o objetivo de reproduzir situações cotidianas em linhas de operação, foi escolhido um testador mecânico, o qual não é capaz de recolocar tensão na junta conforme ela for relaxando com o tempo.

³ A TEADIT é uma empresa multinacional, líder no segmento de juntas de vedação. No Brasil, sua fábrica está localizada no Rio de Janeiro, bairro de Colégio, na zona norte da cidade. Ambos os autores desse projeto final, durante o desenvolvimento desse estudo, eram estagiários da empresa.

Seguindo a norma, todas as amostras foram condicionadas por 168 h, a temperatura de (23 ± 2) °C e (50 ± 10) % de umidade relativa.

Além disso, o teste ainda possui um experimento para avaliar o tempo de relaxamento da junta, *Dwell Time*. Com esse teste é possível determinar o tempo seguro para aliviar a tensão sobre a junta.

VI.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS:

- Testador Mecânico;
- Flange;
- Junta de Papelão Hidráulico, espessura 3,2 mm com Diâmetro Interno= 75 mm e Diâmetro Externo=104 mm;
- Gás Nitrogênio
- Flowmeter- medidor de vazamento.

O equipamento montado para o experimento é representado na Figura VI-1.

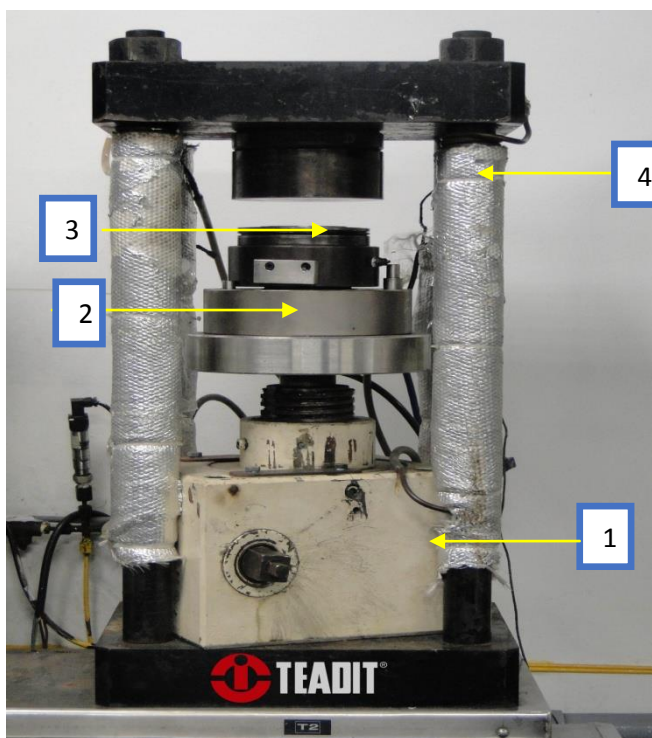


Figura VI-1 - Equipamento de Teste

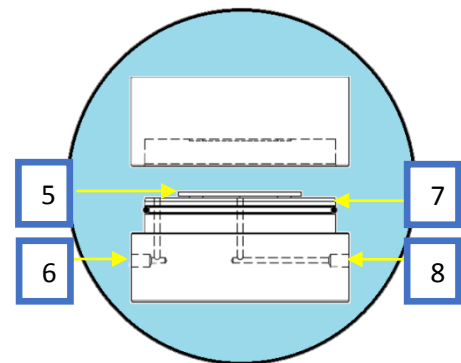


Figura VI-2 - Flange do testador

- 1 – Testador Mecânico
- 2 – Células de Carga
- 3 – Face inferior do flange
- 4 – Face superior do flange
- 5 – Junta
- 6 – Detector de vazamento-saída de gás.
- 7 – O'Ring
- 8 – Entrada de gás

A Figura VI-3 mostra a junta testada.



Figura VI-3 – Junta de Papelão Hidráulico, 3,2 mm.

VI.3. PROCEDIMENTO

VI.3.1. DETERMINAÇÃO DO $S_{gMáx}$

O teste consistia em encontrar o maior valor de tensão que quando aplicada na junta, não cause seu cisalhamento, o parâmetro $S_{g_{máx}}$. Após a desinstalação do anel de vedação, o mesmo era analisado visualmente. Se um corte de cisalhamento era detectado em uma das camadas exteriores da junta, interpretava-se que o cisalhamento tinha iniciado. Aquela tensão onde ocorreu cisalhamento é o parâmetro $S_{g_{Max}}$.

Quando sua estrutura é afetada, a junta pode perder gradativamente sua propriedade de vedação, dessa forma proporcionando vazamentos em quantidades inapropriadas.

A primeira tensão testada foi a limite da célula de carga, 33000 psi aproximadamente, sendo seu resultado avaliado visualmente.

Procedimento de teste:

- I. Colocar a junta em dissecador por 168h antes dos testes;
- II. Centralizar a junta no flange;
- III. Aplicar tensão na junta;

IV. Analisar seu visual.

A Figura VI-4 (a) mostra uma junta não cisalhada, do termo em inglês *Shear* e a Figura VI-4 (b) uma junta cisalhada.

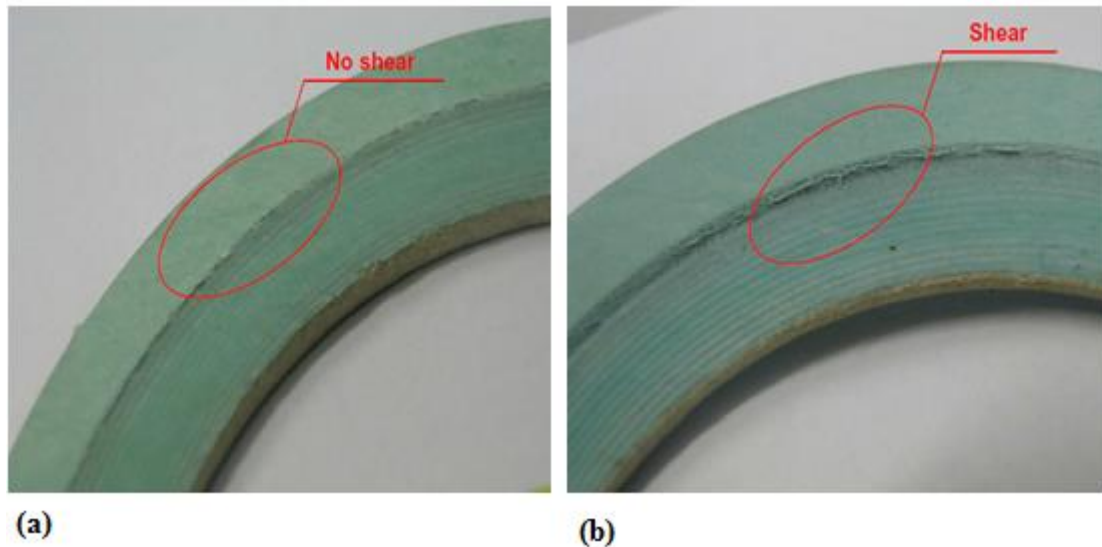


Figura VI-4 – (a) Junta não cisalhada e (b) Junta cisalhada.

VI.3.2. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RELAXAMENTO- *DWELL TIME*

Logo que a tensão é aplicada, a junta tende a se acomodar nas ranhuras do flange, o chamado assentamento. Para determinar qual tempo é necessário para esse assentamento, foi desenvolvida uma análise para tensão aplicada, observando no gráfico, tensão *versus* tempo, o momento quando a tensão fica constante, ou seja, já ocorreu assentamento, assim definindo o tempo seguro para os testes de vazamento.

Procedimento de teste:

- I. Aplicou-se o valor de $S_{g_{m\acute{a}x}}$ e observou-se seu relaxamento em 30 minutos;
- II. Plotou-se o gráfico de tensão *versus* tempo.

VI.3.3. DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $S_{g_{m\acute{m}n-s}}$

O $S_{g_{m\acute{m}n-s}}$, como explicado anteriormente, é o valor mínimo de tensão de instalação, onde é a vedação ainda é verificada. Para a determinação desse parâmetro,

foram feitos testes para quatro valores, sendo esses: 90%, 70%, 50%, e 30% do valor do $Sg_{Máx}$ definido em VI.3.1, sendo chamados de Sg_T . Foram feitas três réplicas para cada Sg_T .

Procedimento de teste:

- I. Centralizou-se a junta no flange;
- II. Aplicou-se quatro valores de tensão (Sg_T) e aguardou-se de 30 minutos (*Dwell Time*);
- III. Aplicou-se 40 Bar de pressão de N_2 , aguardou-se mais 10 minutos;
- IV. A cada 30 minutos, reduziu-se a tensão de 10MPa, até que o valor de vazamento excedeu 0,004 mg/m.s.
- V. Anotar valor no qual a vazão excedeu 0,004 mg/m.s

O esquema ilustrativo, Figura VI-5 traz de forma lúdica o teste.

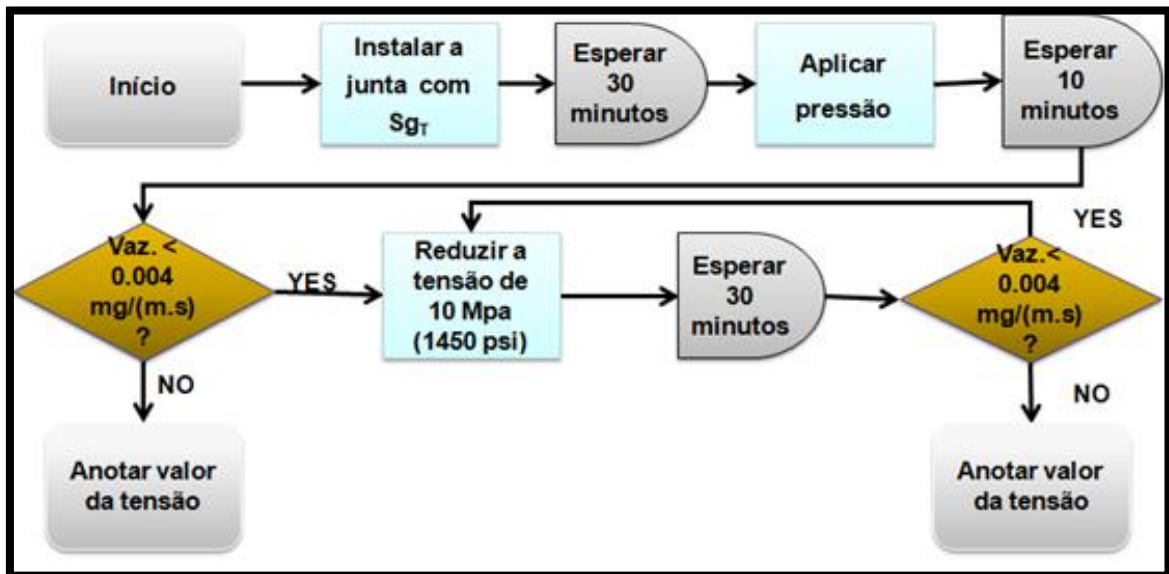


Figura VI-5. Esquema ilustrativo do teste de Sg_{min-s}

VI.3.4. DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $Sg_{mín-o}$

Esse teste visa definir com maior precisão a tensão limite de vazamento, aquela onde ainda se possível vedar.

Procedimento de teste:

- I. Centralizar a junta no flange;
- II. Aplicar o valor de tensão e aguardar 30 minutos;

- III. Aplicar 40 bar de pressão de N₂, aguardar 10 minutos;
 - IV. Reduzir a tensão até aquela encontrada no Item VI.3.3, Sub-Item V;
 - V. Aguardar 30 minutos entre os alívios
 - VI. Reduzir 1,86 MPa de tensão até o que o valor de vazamento exceda 0,1mg/(m.s).
 - VII. Anotar valor no qual a vazão excedeu 0,1 mg/m.s.
- O resultado do teste é a menor tensão que ainda mantém o vazamento menor que 0,1 mg/(m.s).

A seguir, esquema ilustrativo na Figura VI-6.

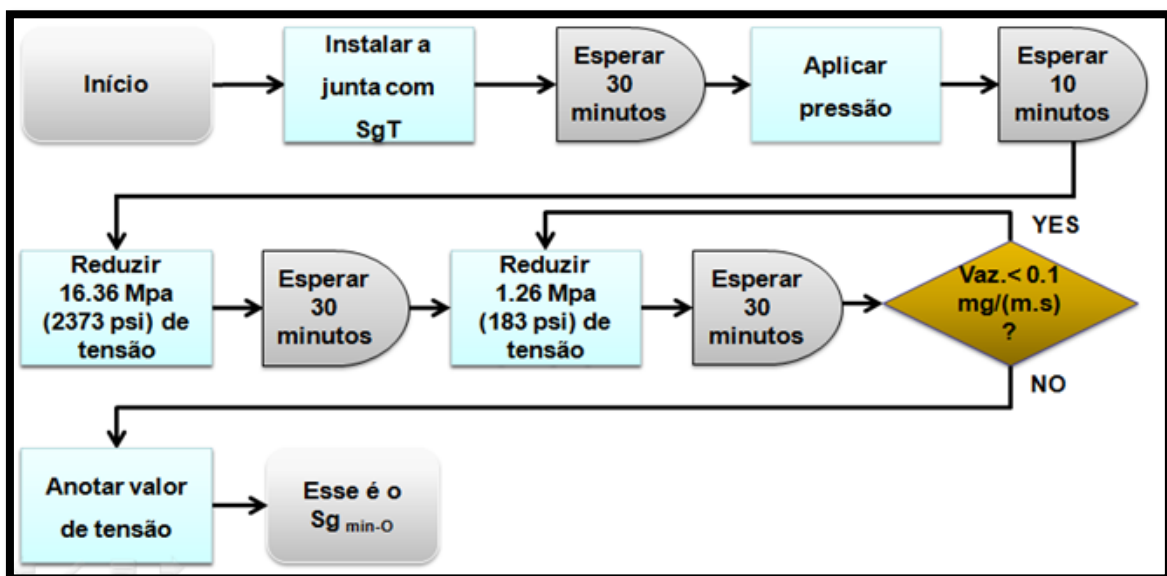


Figura VI-6 - Esquema ilustrativo da obtenção de Sgmin-O

CAPÍTULO VII. RESULTADOS

VII.1. DETERMINAÇÃO DO $S_{g_{m\acute{a}x}}$

Os valores usados para determinação do valor do $S_{g_{m\acute{a}x}}$ levaram em conta o limite da célula de carga do testador mecânico. O teste realizado com o limite da célula de carga mostrou na junta forte cisalhamento.

A Tabela VII-1. traz os valores testados e seus resultados.

Tabela VII-1 - Tabela de Força de Cisalhamento

Tensão (psi)	Cisalhamento
33000	Completo
25000	Completo
20000	Iniciado
18000	Ausente

Foi possível observar o cisalhamento completo quando aplicada a tensão de 25000 psi, Figura VII.2.b, o qual indicava que o valor de $S_{g_{m\acute{a}x}}$ estava próximo a aquele. O valor de $S_{g_{m\acute{a}x}}$ foi então encontrado quando aplicada a tensão de 20000 psi, Figura VII.2.a, onde o cisalhamento se mostrou suave, apenas iniciado, não indicando perda da qualidade da junta. Foi possível perceber ausência de cisalhamento na tensão de 18000 psi (90 % do $S_{g_{m\acute{a}x}}$).

As Figuras VII.1 e VII.2, a seguir, mostram o resultado das tensões aplicadas da Tabela VII-1.

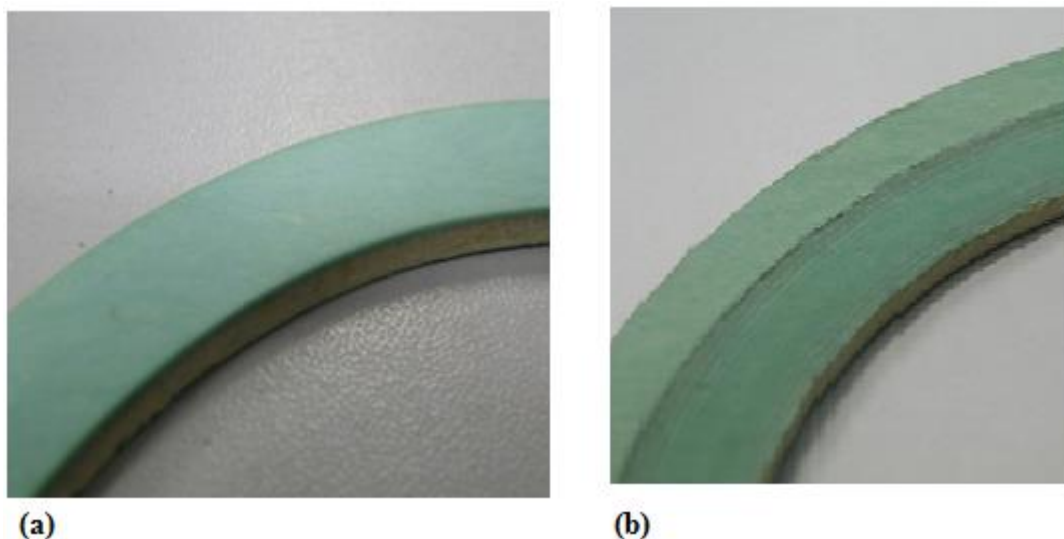


Figura VII-1 – (a) Junta Antes do teste e (b) Junta Não Cisalhada, a Pressão de 18 ksi

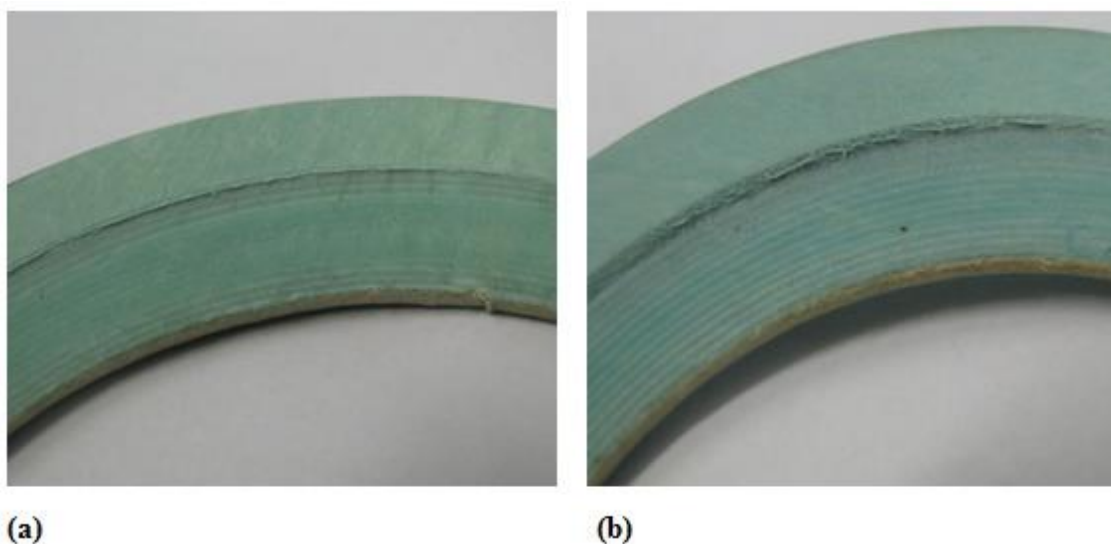


Figura VII-2 – (a) Junta com Cisalhamento Iniciado, a Pressão de 20 ksi e (b) Junta Cisalhada, a Pressão de 25 ksi

Considerando $S_{g_{m\acute{a}x}} = 20000$ psi, o valor de tensão que foi estudado para determinar o $S_{g_{m\acute{m}n-s}}$ e $S_{g_{m\acute{m}n-o}}$. A Tabela VII-2 indica quais as tensões usadas durante cada teste.

Tabela VII-2 - Determinação da Tensão de Teste

% Sg Max (20000psi)	Tensões de teste (psi)
0,9*S _g máx	18000
0,7*S _g máx	14000
0,5*S _g máx	10000
0,3*S _g máx	6000

VII.2. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RELAXAMENTO

A fim de se avaliar o comportamento da junta com relação à tensão dada, foram escolhidos quatro apertos para esse teste, sendo esses 18 ksi, 20 ksi, 22 ksi, 25 ksi.

A Figura VII-3 mostra o comportamento de cada aperto em relação ao tempo.

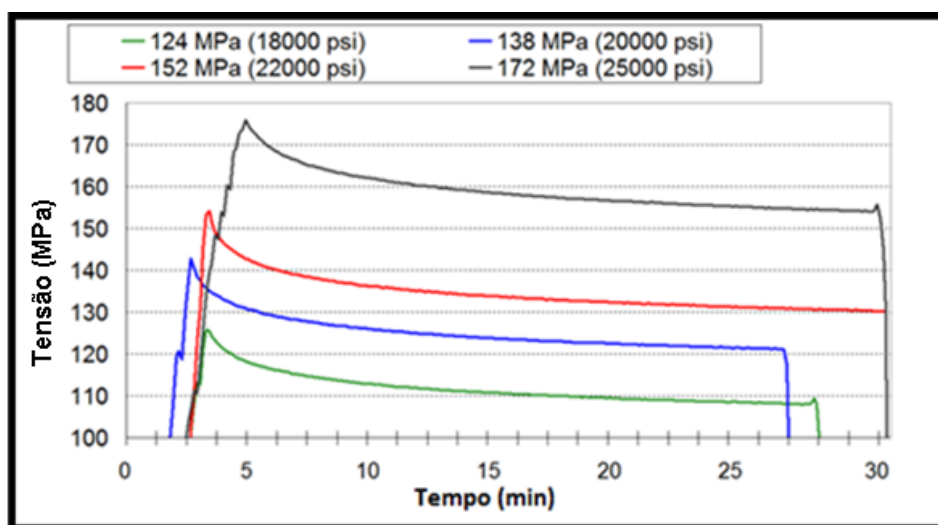


Figura VII-3 - Gráfico Tensão (MPa) x tempo (min)

As quatro tensões se mostraram constantes a partir de 25 minutos, dessa forma, determinou-se que 30 minutos seriam suficientes para garantir total assentamento da junta no flange. Esse valor foi usado para descobrir os parâmetros S_gmín-s e S_gmín-o.

VII.3. DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO S_gmín-s

Seguindo a metodologia proposta no Item VI.3, foi possível determinar o valor de $S_{g_{\min-s}}$ para cada uma das quatro tensões de teste (Tabela VII-2).

Os resultados desse teste encontram-se na Tabela VII-3.

Tabela VII-3 - Valor de Tensão para $S_{g_{\min-s}}$

Tensão (psi)	$S_{g_{\min-s}}$ (psi)
18000	2100
14000	2100
10000	2100
6000	6000

No teste com tensão de 6000 psi, logo que aplicado pressão na linha o vazamento já excedeu 0,004mg/m.s, isso mostrou que tal tensão estava abaixo do mínimo de operação, portanto não era um aperto válido de instalação para essa junta.

Para as tensões de $S_{g_T} = 10000, 14000$ e 18000 psi, foram obtidas tensões de vazamento iguais a 2,1ksi, onde o vazamento esteve acima de 0, 004mg/m.s.

VII.4. DETERMINAÇÃO DO PARÂMETRO $S_{g_{\min-o}}$

A Tabela VII-4 mostra os resultados do teste para cada uma das três réplicas.

Tabela VII-4 - Resultados de $S_{g_{\min-o}}$ obtidos

S_{g_T} (psi)	$S_{g_{\min-o}}$ Mpa (psi)		
	R1	R2	R3
18000	13,5 (1950)	10,9 (1580)	13,5 (1950)
14000	12,3 (1780)	10,9 (1580)	12,0 (1,740)
10000	11,6 (1680)	11,9 (1720)	12,1 (1750)

Pelos resultados dos testes, foi possível observar que existe um valor médio para o $S_{g_{\min-o}}$ aproximadamente, 1740 psi, independente do aperto (tensão) aplicado.

VII.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise feita no software estatístico Minitab ® revelou que os resultados encontrados nos testes para $S_{g_{\min-o}}$ seguem uma curva Gaussiana (Figura VII-45).

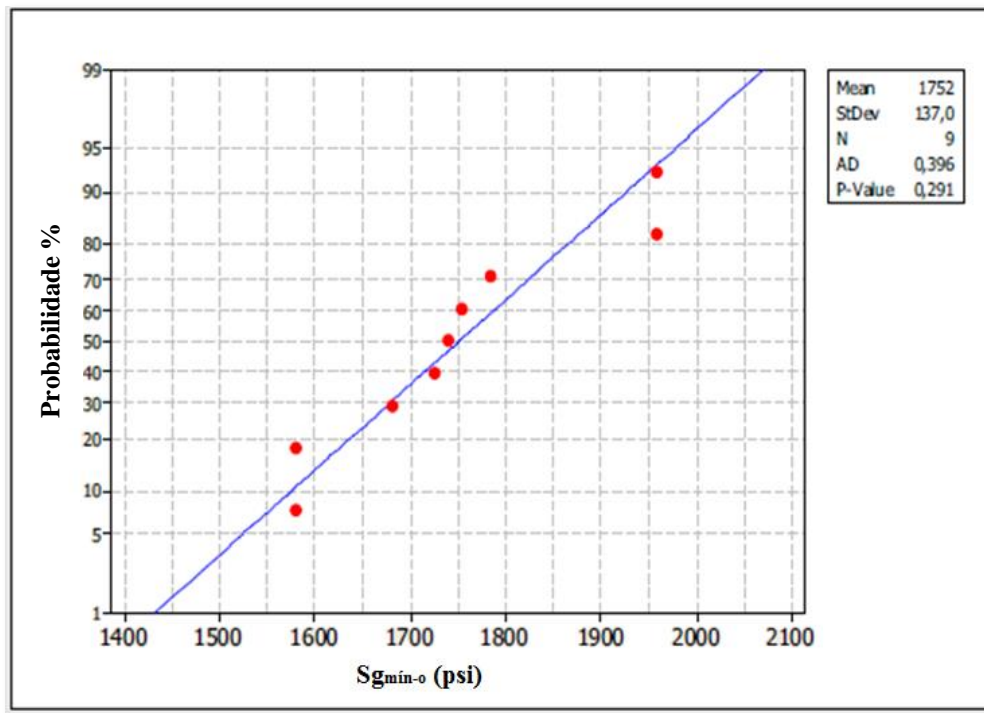


Figura VII-4 - Análise estatística $S_{g_{\min-o}}$

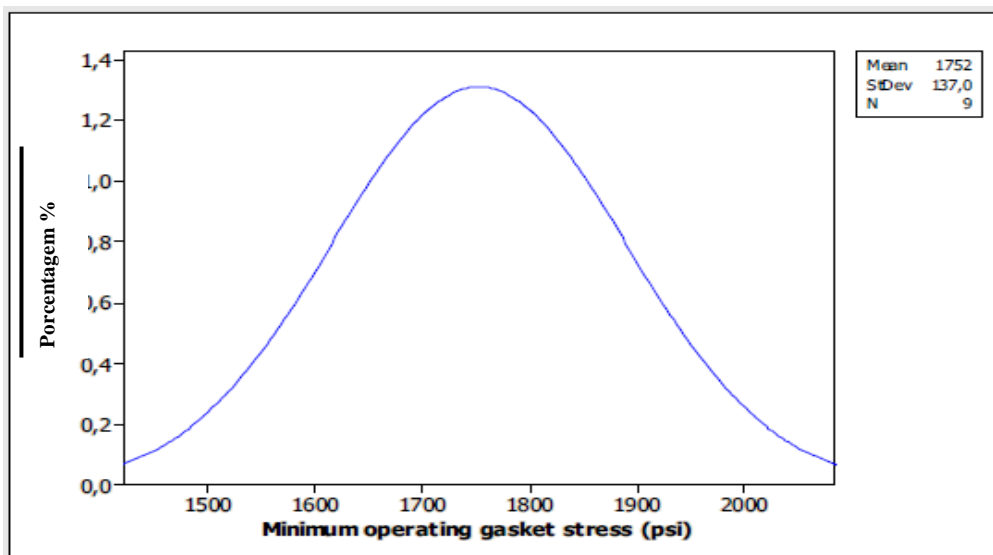


Figura VII-5 – Curva Gaussiana

Segundo o software, os resultados encontrados nos testes seguem uma distribuição normal, o que os caracteriza com relevante proximidade.

Tabela VII-5 - Análise de probabilidade

Probabilidade de vedação (%)	Sg_{mín-o} Mpa (psi)
95	13,6 (1970)
97,5	14,0 (2030)
99	14,3 (2070)

A análise estatística de probabilidade mostrou que a junta de fibra sintética de 3,2 mm possui 99% de vedar com apertos de 2000 psi ou maiores. Essa análise pode ser observada na Tabela VII-5.

CAPÍTULO VIII. CONCLUSÕES

A metodologia experimental proposta se mostrou eficaz para determinar os parâmetros $S_{g_{máx}}$, $S_{g_{mín-s}}$ e $S_{g_{mín-o}}$, quando o objeto de teste for uma junta de papelão hidráulico, espessura 3,2 mm e utilizar para tal, nitrogênio a 40 bar, como fluido de teste. Foi visto também que todos os resultados não seriam possíveis sem que flanges, juntas, e principalmente, o método de aparafusamento não estivessem dentro das suas respectivas normas.

Os testes foram realizados seguindo a norma DIN 3535-6, onde o fluido de teste é o gás nitrogênio. Não foi realizada análise para fluidos líquidos. A análise do fluido passante ainda pode ser feita, e sua informação será de grande acréscimo para os resultados encontrados.

A análise estatística mostrou que com os resultados obtidos, existe apenas 1% de chance das juntas testadas vazarem com valores acima de 2100 psi de tensão. Além de se obter esse valor por si só ser um sucesso, sabe-se agora, para essa junta, para essa espessura, que caso sua medição de tensão seja feita no campo e essa esteja acima de 2100 psi, há enormes chances de ela ainda estar cumprindo sua função: vedando.

As tensões obtidas nesse projeto são de extrema importância para plantas industriais em geral, pois a partir dos resultados obtidos é possível saber exatamente o ponto onde uma junta de papelão hidráulico deixa de proporcionar vedação. Isso se torna de particular importância, pois evita desperdícios de materiais e produtos e, o mais importante, vazamentos, que, se não tratados da forma correta, podem acarretar acidentes graves.

Pode-se também dizer que o estudo é de alta relevância acadêmica e prática, já que a metodologia empregada trouxe novas ferramentas para pesquisas de vedação em juntas quando em operação, que de forma clara, é capaz de medir as tensões, relativas a juntas, descritas no Apêndice O do ASME PCC-1. Trata-se, até o presente momento, do único método para cálculo dos parâmetros em questão.

Assim, o método apresentado pode servir de guia na tentativa de obtenção desses mesmos valores para diferentes juntas, como de PTFE, *Ring-Joint*, e ainda para verificar a influência da espessura na vedação e nos parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASME. **ASME BOILER AND PRESSURE VASSEL CODE, AN INTERNATIONAL CODE, VIII, DIVISION 1, RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VASSELS.** ASME. Three Park Avenue, New York, NY 10016 USA. 2010.

ASME. **B31.3-2120, PROCESS PIPING.** ASME. Three Park Avenue, New York, NY 10016 USA. 2010.

ASME. **METALLIC GASKET FOR PIPE FLANGES, RING-JOINT, SPIRAL-WOUND AND JACKETED..** ASME. Three Park Avenue, New York, NY 10016 USA. 2007.

ASME. **NONMETALLIC FLAT GASKETS FOR PIPE FLANGES.** ASME. Three Park Avenue, New York, NY 10016 USA. 2005.

ASME. **PIPE FLANGES AND FLANGED FITTINGS NPS ½ THROUGH NPS 24 METRIC/INCH STANDARD.** ASME. Three Park Avenue, New York, NY 10016 USA. 2009.

CANADIAN ASSOCIATION OF PETROLEO PRODUCERS. **A NATIONAL INVENTORY OF GREENHOUSE GAS, CRITERIA AIR CONTAMINANT AND HYDROGEN SULPHIDE EMISSIONS BY THE UPSTREAM OIL AND GAS INDUSTRY: VOLUME I, OVERVIEW OF THE GHG EMISSIONS INVENTORY.** Clearstone Engineering Ltd. 2004. Disponível em: <<http://www.capp.ca/getdoc.aspx?DocId=86220&>>

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **INSPECTION MANUAL: FEDERAL EQUIPAMENT LEAK REGULATIONS FIR THE CHEMICAL MANUFACTURING INDUSTRY VOLUME I; INSPECTION MANUAL.** 1998. <<http://www.epa.gov/compliance/resources/publications/assistance/sectors/insmanvol1.pdf>> Acesso em Dezembro de 2013.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **METHANE EMISSIONS FROM NATURAL GAS INDUTRY VOLUME 8: EQUIPAMENT LEAKS.** Triangle Park, NC 27711. 1996. <http://www.epa.gov/gasstar/documents/emissions_report/8_equipmentleaks.pdf> Acesso em Janeiro de 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **PROTOCOL FOR EQUIPAMENT LEAK EMISSION ESTIMATES.** Triangle Park, NC 27711.1995. <<http://www.epa.gov/ttnchie1/efdocs/equiplks.pdf> > Acesso em Janeiro de 2014.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **OIL AND NATURAL GAS SECTOR: NEW SOURCE PERFORMANCE STANDARDS AND NATIONAL EMISSION STANDARDS FOR HAZARDOUS AIR POLLUTANTNS REVIEWS; PROPOSED RULE.** EPA. 2011. Disponível em: <<http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2011-08-23/pdf/2011-19899.pdf> > Acesso em Janeiro de 2014.

EUROPEAN SEALING ASSOCIATION. **SEALING TECHNOLOGY: BAT GUIDANCE NOTES.** ESA.2009. Disponível em: <http://www.europeansealing.com/uploads/resources/publications/ESA-Sealing-BAT-014_09_ENG_rev1.pdf> Acesso em Janeiro de 2014.

FLUID SEALING ASSOCIATION. **ARE YOU PLAYING OFFENSE OR DEFENCE WITH YOUR LEAK DETECTION AND REPAIR.** Pumps&Systems. <<http://www.pump-zone.com/topics/seals/are-you-playing-offense-or-defense-your-leak-detection-and-repair>> Acesso em Fevereiro de 2014.

HERRMAN, K & SIEGLE, H-J. **CONTROL OF FUGITIVE EMISSIONS – ACTIVITIES AND ATTITUDES OF THE CHEMICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRY.** VDI. Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb European. 1997

NIKO STEEL INDUSTRIES. **FLANGES.** Disponível em: <<http://www.nikosteel.com/flanges.htm>> Acesso em Dezembro de 2014.

PREZOTTI, P. R. & TRESMONDI, A. C. **INVENTÁRIO DE EMISSÕES DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS DE UMA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA: TANQUES E EMISSÕES FUGITIVAS.** Espírito Santo do Pinhal. v.3, n.2, p58-72. 2006.

Silva, A. C., Xavier, L, Rodrigues, G, **ASME-SPC PVP2013-97900, DEVELOPMENT OF A PROTOCOL TO DETERMINE COMPRESSED NON-ASBESTOS GASKETS MINIMUM OPERATING STRESS,** p 1-8. 2013

TURNASURE LLC. **TURNASURE BOLTING TECHNOLOGY FOR PETRO-CHEMICAL.** Disponível em: <<http://www.turnasure.com/petro-chemical-bolting-technology-dtis.shtml>> Acesso em janeiro de 2014.

VDI. **GASKETS FOR GAS SUPPLY, PART 6: GASKET MATERIALS BASED ON SYNTHETIC FIBRES, GRAPHITE OR POLYTETRAFLUOROETHYLENE (PTFE) FOR GAS VALVES, GAS APPLIANCES AND GAS MAINS.** German Standard. 1999.

VEIGA, J. C. **JUNTAS INDUSTRIAIS.** Teadit. Rio de Janeiro. p 13-40. 2013

VEIGA, J. C. **INDUSTRIAL GASKETS.** Teadit. Rio de Janeiro. 2003