

RECÁLCULOS NECESSÁRIOS PARA RECONSTITUIÇÃO DE PRONTUÁRIO PARA VASOS DE PRESSÃO.

Rita Taynara Alves da Câmara¹, Francisco Edson Nogueira Fraga²

¹ Graduanda Bel. Em Ciência & Tecnologia, UFRSA, Mossoró-RN, E-mail: ritataynaraa@gmail.com

² Professor Orientador, DET/CE- UFRSA, Mossoró-RN. E-mail: nfraga@ufersa.edu.br

Resumo: Vasos de pressão são usados em diversos segmentos presentes no nosso dia a dia. Estes equipamentos são normatizados na parte de projeto, pela ASME sessão VIII e pela Norma regulamentadora 13 (NR13) que trata de quesitos de segurança que esses equipamentos devem atender no contexto da segurança do trabalho. Na NR13, destaca-se a importância do prontuário do vaso de pressão, inclusive desse documento constar nas dependências da empresa onde o equipamento está instalado em operação, sendo a empresa passiva de multa em caso de perda ou extravio do mesmo e, na falta deste documento, torna-se imprescindível a reconstituição por meio do recálculo do vaso de pressão ou ainda, em casos em que o serviço de inspeção periódica identificar perda de parede significativa ou alterações microestruturais no material no corpo do vaso de pressão, faz-se necessário igualmente o recálculo do vaso. Para isso são necessárias algumas medições, testes e cálculos que devem ser realizados por Profissional Habilitado (PH), neste caso à saber, um Engenheiro Mecânico. Considerando a quantidade de casos de empresas que perdem o prontuário e a importância desse documento, o presente trabalho teve como objetivo demonstrar como realizar os cálculos necessários para realizar a reconstituição do prontuário para um vaso de pressão, dimensionando a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) e as tensões do corpo do vaso a partir das pressões máximas possíveis no equipamento, assim podendo também obter o coeficiente de segurança com base nos dados de projetos obtidos nos prontuários de alguns vasos de pressão comercializados, podendo assim utilizá-los como parâmetros para recálculos futuros. Fez parte do procedimento metodológico deste trabalho, a medição da espessura de diversos vasos de pressão e o estudo de seus respectivos prontuários a fim de estimar por meio de cálculos os coeficientes de segurança aplicados por fabricantes ao projeto destes equipamentos, o que foi feito por meio de visitas técnicas em algumas lojas de equipamentos, onde foi possível fazer as medições por meio de ultrassom e consultar os prontuários de alguns vasos novos em comercialização e, assim, obter os dados necessários para realizar o cálculo do fator de segurança. Ao final deste trabalho identificou-se que a melhor equação para se calcular o coeficiente de segurança seria a razão entre a tensão de escoamento e a tensão admissível, sendo essa obtida através da tensão tangencial (σ_1) do vaso. Após os cálculos, os coeficientes de segurança obtidos variaram de 3,7 a 4,8 para os cinco vasos estudados.

Palavras-chave: vasos de pressão; prontuário; coeficiente de segurança.

1. INTRODUÇÃO

Vasos de pressão são utilizados em diversos segmentos, vão desde a vasos de cocção (panela de pressão), compressores de ar, até reatores nucleares.

Eles são categorizados conforme o potencial de risco e são definidos pela Norma Regulamentadora 13 como “equipamentos que contém fluidos sob pressão interna ou externa, diferente da atmosférica” [1]. Existem normas que auxiliam na definição de parâmetros para o projeto do vaso, sua utilização e inspeção, promovendo assim a segurança daqueles que o operam. Inicialmente temos a American Society of Mechanical Engineers (ASME) seção VIII, que foi criada por uma comissão de engenheiros mecânicos com objetivo de definir parâmetros a serem seguidos na fabricação de vasos de pressão, desde o projeto, informando os materiais adequados até cálculos para dimensionamento e pressões suportadas. No Brasil também seguimos a Norma Regulamentadora 13 que rege parâmetros a serem seguidos, desde as documentações necessárias, equipamentos que precisam estar acoplados no vaso, situação do local onde o equipamento ficará instalado, prazo de inspeções, entre outras informações [1-2].

Segundo a NR13 um dos documentos que precisa estar no estabelecimento em que o vaso está instalado, é o prontuário, no qual deve constar algumas das informações que estarão especificadas ao longo desse trabalho, dentre elas, podem ser destacadas a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA), a espessura da parede do vaso e a pressão de operação. Esse prontuário, à princípio, é normalmente fornecido pelo fabricante do vaso, mas em caso de extravio, inexistência ou de alterações significativas no equipamento, é de suma importância refazê-lo, podendo a empresa ser multada em caso de não ter este documento. O mesmo deve ser elaborado ou refeito por um profissional habilitado (PH), ou seja, por um Engenheiro Mecânico [1]. Em qualquer um dos casos citados anteriormente, o engenheiro precisará fazer o recálculo de alguns parâmetros essenciais como: espessura

mínima da parede, pressão máxima admissível e coeficiente de segurança. Neste trabalho será abordado como fazer esses recálculos para a elaboração de um novo prontuário.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os vasos de pressão são regulamentados pela *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), seção VIII. E, no Brasil, também pela Norma Regulamentadora nº 13 (NR13), segundo [4] com a revolução industrial em meados do século XIX, a utilização de máquinas a vapor aumentou e consequentemente começaram ocorrer acidentes com caldeiras. Já no século XX houve um dos mais graves acidentes mais precisamente, em 1905 em Brockton, Massachusett, em uma fábrica de sapatos onde morreram 58 pessoas e ficaram 117 feridos, após esse acidente, em 1907 o estado de Massachusett criou a primeira legislação para projetos de construção de caldeiras a vapor conhecida como Massachusett Rules, que estabelecia um coeficiente de segurança de 4,5 em relação ao limite de resistência do material. Em 1911 criava-se uma comissão especial da ASME para elaborar uma norma em que a primeira edição foi lançada em 1914, apenas para caldeiras estacionárias. Somente em 1924, foi publicada a seção VIII do código ASME tratando de vasos de pressão não sujeitos a chama. [2]

A partir do código ASME, foi criada no Brasil, em 1978, a Norma Regulamentadora nº 13 (NR13), estabelecendo requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor e vasos de pressão, dando diretrizes para inspeção, operação e manutenção visando a segurança dos que estão operando. [2-3]

Conforme a Norma Regulamentadora Nº 13 (NR13) os vasos de pressão são equipamentos que contêm fluido sobre pressão interna ou externa diferente da atmosférica. Os vasos são classificados de A a D conforme o tipo de fluido e divididos em grupo de 1 a 5 conforme grau de risco. O grau de risco é calculado pelo produto de PV onde o P corresponde a pressão máxima de operação em MPa e V corresponde ao volume em metro cúbico (m³) [1]. A seguir temos a Tabela 1, retirada da NR13 com as categorias de vasos de pressão

Tabela 1 - Categorias de Vasos de Pressão (Norma regulamentadora 13 (NR13),2018)

CATEGORIAS DE VASOS DE PRESSÃO					
Classe de Fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1 P.V ≥ 100	2 P.V < 100 P.V ≥ 30	3 P.V < 30 P.V ≥ 2,5	4 P.V < 2,5 P.V ≥ 1	5 P.V < 1
	Categorias				
A -Fluidos inflamáveis, e fluidos combustíveis com temperatura igual ou superior a 200° -Tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm -Hidrogênio -Acetileno	I	I	II	III	III
B -Fluidos combustíveis com temperatura menor que 200° - Fluidos tóxicos com limite de tolerância > 20 ppm	I	II	III	IV	IV
C -Vapor de água -Gases asfixiantes simples -Ar comprimido	I	II	III	IV	V
D -Outro fluido	II	III	IV	V	V

Todo vaso de pressão deve possuir no estabelecimento onde estiver instalado, alguns documentos solicitados pela NR13 dentre eles: o prontuário do vaso de pressão, sendo esse, fornecido pelo fabricante com as seguintes informações [1]:

- Código de projeto e ano de edição;
- Especificações dos materiais;
- Procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final;
- Metodologia para definição da pressão máxima de trabalho admissível (PMTA);
- Conjunto de desenhos e demais dados necessários para monitoramento da sua vida útil;
- Pressão máxima de operação;
- Registros documentais do teste hidrostático;

- Características funcionais atualizadas pelo empregador sempre que alteradas as originais;
- Ano de fabricação;
- Categoria do vaso, atualizada sempre que alterada a original.

Conforme o item 13.5.1.7 da NR13 sempre que inexistente ou extraviado, o prontuário do vaso de pressão deve ser reconstruído pelo empregador com responsabilidade técnica do fabricante ou profissional habilitado (PH), sendo imprescindível a reconstituição das premissas de projeto dos dados dos dispositivos de segurança e memória de cálculo da pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) [1].

O extravio ou inexistência do prontuário, pode acarretar multa para empresa. O valor da multa pode variar de R\$716 a R\$3480 por equipamento [4].

Tendo em vista a suma importância do prontuário do vaso de pressão e que para refazê-lo, precisamos encontrar algumas informações, abordaremos a seguir como calcular a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) e o coeficiente de segurança.

Segundo a ASME Seção VIII, a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) do vaso é calculada para o tampo elíptico e para o cilindro a partir da equação 1 e 2 [5]:

- Pressão Máxima de Trabalho Admissível do Tampo Elíptico

$$PMTA = \frac{2.S.E.t}{D + 0,2.t} \quad (1)$$

Onde:

S: é a tensão admissível do material

E: é a eficiência da solda

t: é a espessura mínima do tampo após a conformação

D: é o diâmetro do vaso

- Pressão Máxima de Trabalho Admissível do Casco Cilíndrico

Para calcularmos a pressão máxima de trabalho admissível do casco cilíndrico utilizamos a fórmula:

$$PMTA = \frac{S.E.t}{R + 0,6.t} \quad (2)$$

Onde:

S: é a tensão admissível do material

E: é a eficiência da solda

t: é a espessura mínima do casco cilíndrico

R: é o raio interno do vaso

Os valores de eficiência da solda são tabelados pela ASME VIII, onde os valores são considerados conforme o tipo da solda e se ela foi radiografada ou não. A seguir, a Tabela 2 com os coeficientes de eficiência de soldagem:

Tabela 2- Coeficientes de eficiência de soldagem (LUCIANO, E.R. et al.,2016):

TIPO DE SOLDA	LIMITAÇÕES	GRAU DE INSPEÇÃO		
		Radiografia Total	Radiografia Parcial (por amostragem)	Não radiografada
Solda de topo, feita por ambos os lados ou por procedimento equivalente, de forma a obter penetração e fusão totais. (excluem-se as soldas com mata-junta permanente)	Nenhuma	1	0,85	0,7
Solda de topo, feita por um só lado, com mata-junta permanente.	Nenhuma	0,9	0,8	0,65
Solda de topo feita	Uso permitido somente para	-	-	0,6

por um só lado, sem mata-junta.	espessuras inferiores a 15mm, e diâmetro do vaso inferior a 610mm			
Solda sobre-posta, com flerte duplo de altura total.	Uso permitido para soldas longitudinais em espessuras inferiores a 10mm, e para soldas circunferenciais em espessuras inferiores a 15mm	-	-	0,55

A equação da pressão máxima de trabalho admissível (PMTA), solicita valores que podem ser obtidos utilizando o aparelho de medição de espessura, tais como, a espessura mínima do casco e do tampo, ademais, o valor tabelado acerca da tensão admissível do material na temperatura de projeto também é solicitado [6]. Por conseguinte, possuindo o diâmetro externo e a espessura da parede externa, é possível encontrar o valor do raio interno do vaso de pressão, necessário para o cálculo da equação citada.

• COEFICIENTE DE SEGURANÇA

O coeficiente de segurança (C.S.) ou fator de segurança (F.S.) como é chamado em algumas literaturas, é escolhido com base no esforço aplicado na peça. Considerando que podem ocorrer mais de um tipo de falha, pode haver mais de um valor de coeficiente de segurança. O valor do coeficiente de segurança deve ser sempre maior que 1, pois se o coeficiente for reduzido a 1 a tensão sobre a peça é igual a resistência do material, provocando a falha. [7]

Se o valor do coeficiente de segurança for muito elevado, o resultado será um superdimensionamento do componente, conseqüentemente, ou será utilizado muito material, ou será utilizado um material com uma liga de resistência maior que a necessária, tornando o projeto com um custo mais elevado que o necessário e/ou um equipamento muito pesado.[7]

“Quão maior que 1 deve ser o coeficiente de segurança, depende de muitos fatores, inclusive do nível de confiança do engenheiro no modelo o qual os cálculos são baseados... Na ausência de uma norma de projeto que possa especificar um coeficiente para casos particulares, a escolha do coeficiente de segurança envolve uma decisão da engenharia” [7].

A Figura 1, ilustra um gráfico de tensão x deformação “ideal” onde existe o limite de resistência a tensão (LRT), nele o material já está se deformando plasticamente e está próximo da falha, a tensão de ruptura (σ_{rup}) onde o material já se deformou ao máximo chegando a romper-se e a tensão de escoamento (σ_e) que é definida como a maior tensão suportada pelo material sem iniciar o processo de deformação plástica. [8].

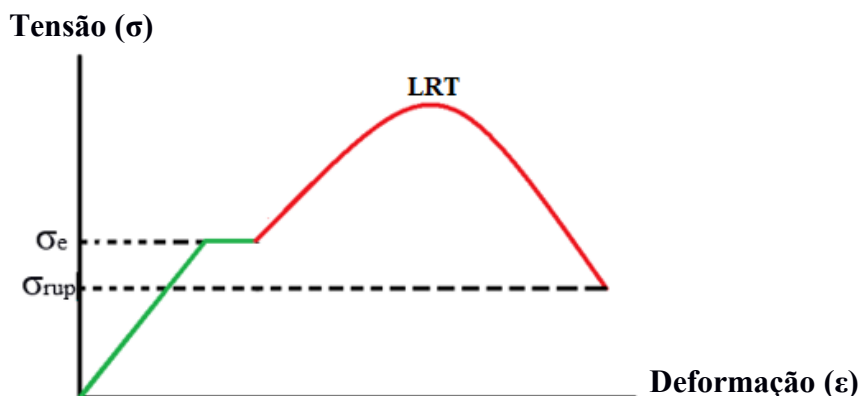


Figura 1- Gráfico tensão (σ) x deformação (ϵ) (Autoria própria)

“O fator de segurança é a razão entre a carga de ruptura (Frup), e a carga admissível, (Fadm)... Se a carga aplicada ao elemento estiver relacionada com a tensão desenvolvida no interior do elemento então podemos expressar o fator de segurança como a razão entre a tensão de ruptura (σ_{rup}) e a tensão admissível (σ_{adm})” [8].

- O coeficiente de segurança com base na tensão de ruptura é calculado a partir da equação 3:

$$C.S. = \frac{\sigma_{rup}}{\sigma_{adm}} \quad (3)$$

A carga de ruptura admitida na equação 3 e na citação anterior, é a tensão registrada no momento em que o

material rompe, e na realidade, é um valor não preciso, portanto não conveniente de ser usado.

Outra possibilidade de equação para o coeficiente de segurança, seria a razão entre o limite de resistência a tensão e a tensão admissível, mas quando o material chega ao limite de resistência a tensão (LRT), já se deformou plasticamente, podendo já está próximo de uma possível falha.

Mesmo que o material não chegue ao limite de resistência a tensão (LRT), se sofrer esforços repetidos passando do limite de escoamento poderá ocorrer a chamada: fadiga de baixo ciclo, onde material sofre a falha mecânica por ter sido submetido a deformações permanentes [9].

Com base nas afirmações anteriores, utiliza-se de maneira mais segura para o cálculo do coeficiente de segurança, a razão entre a tensão de escoamento e a tensão admissível calculada para o vaso, sendo ela sempre menor que a tensão de escoamento do material, obtendo assim um coeficiente de segurança maior que 1.

- O coeficiente de segurança com base na tensão de escoamento é calculado a partir da equação 4:

$$C.S. = \frac{\sigma_e}{\sigma_{adm}} \quad (4)$$

Onde:

σ_e : é a tensão de escoamento do material.

σ_{adm} : é a tensão admissível calculada para o vaso de pressão.

• TENSÕES EM UM VASO DE PRESSÃO

A parede do vaso de pressão é submetida as tensões principais que agem tangencialmente (σ_1) e longitudinalmente (σ_2) [6], a figura a seguir retrata o sentido dessas tensões na parede do vaso:

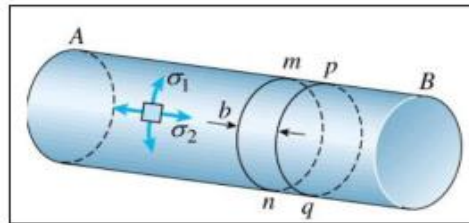


Figura 2-Tensões principais de um vaso de pressão cilíndrico (LUCIANO, E.R. et al., 2016).

- A tensão tangencial (σ_1) é dada pela equação 5:

$$\sigma_1 = \frac{p \cdot r}{t} \quad (5)$$

Onde:

p: pressão interna do vaso de pressão

r: é o raio interno do vaso de pressão

t: espessura da parede do vaso de pressão

- A tensão longitudinal (σ_2) é dada pela equação 6:

$$\sigma_2 = \frac{p \cdot r}{2 \cdot t} \quad (6)$$

Onde:

p: pressão interna do vaso de pressão

r: é o raio interno do vaso de pressão

t: espessura da parede do vaso de pressão

Para o cálculo do coeficiente de segurança é considerado o valor da tensão tangencial como a tensão admissível do vaso, pois o valor é sempre maior que o valor da tensão longitudinal, proporcionando assim uma maior confiabilidade, com o uso da maior tensão. A tensão de escoamento também necessária para o cálculo do coeficiente, é tabelada e o valor varia de acordo com o material de fabricação do vaso de pressão.

A tabela 3 apresenta as informações obtidas através prontuários de vasos de pressão, conseguidos através de visitas técnicas, em lojas que os comercializam:

Tabela 3- Informações dos vasos de pressão, obtidas através de seus prontuários (Autoria própria)

DADOS:	VASO 1	VASO 2	VASO 3	VASO 4	VASO 5
MARCA:	SCHULZ	SCHULZ	SCHULZ	SCHULZ	SCHULZ
NÚMERO DE SÉRIE:	I-000261314 até I-000262213	F-000127198 até F-000127237	F-000092648 até F-000092747	F-000119014 até F-000119113	E-374609 até E-374640
MATERIAL DO TAMPO E CILINDRO:	ASME SA-414M	ASME SA-414M	ASME SA-414M	ASME SA-414M	ASME SA-414M
CÓDIGO DO PRODUTO:	250040021	25003823	25004032	25004004	25003881
IDENTIFICAÇÃO:	CLASSE C, GRUPO 5	CLASSE C, GRUPO 5	CLASSE C, GRUPO 5	CLASSE C, GRUPO 5	CLASSE C, GRUPO 5
PMTA:	10,34 bar	13,44 bar	10,50 bar	11,03 bar	13,44 bar
DIÂMETRO NOMINAL INTERNO:	400mm	559 mm	300 mm	400 mm	479,2 mm
ESPESSURA NOMINAL DO CILINDRO:	2,65mm	5 mm	2,25 mm	2,65 mm	5 mm
ESPESSURA NOMINAL DO TAMPO:	2,65mm	5 mm	2,25 mm	2,65 mm	3,3 mm
SOBRE-ESPESSURA:	(-0,15/ +0,25)	(-0,25/ +0,25)	(-0,00/ +0,35)	(-0,15/ +0,25)	(-0,25/ +0,25)
ESPESSURA REAL:	3,00mm	5,18 mm	2,84 mm	3 mm	5,73 mm

Essas são algumas informações contidas em um prontuário de um vaso de pressão. A partir da PMTA, do diâmetro nominal interno e da espessura nominal, é possível calcular o coeficiente de segurança adotado ao projeto e ainda é possível perceber na tabela acima, que em todos os vasos, a espessura real é maior que a espessura nominal do projeto, mesmo somada à sobre-espessura, trazendo assim, uma maior segurança.

A medida da espessura real que consta na Tabela 3, foi obtida durante as visitas técnicas em lojas que comercializam vasos de pressão. Para obter as medidas, foi utilizado um aparelho ultrassom medidor de espessura, calibrado antes de realizar as medições.

Considerando que os vasos analisados eram novos, a medição foi realizada na parte superior do vaso. Em caso de uma inspeção em um vaso já utilizado, para uma medição da espessura mais próxima da nominal para reconstituição do prontuário, a medição também deve ser realizada na parte superior do vaso. Para analisar uma possível corrosão, o local ideal para se realizar a medição é na parte inferior do vaso, pois é a região com maior probabilidade de acúmulo de água e consequentemente de corrosão. A Figura 3, mostra uma das medições realizadas:



Figura 3- Medição da espessura real da parede do vaso 4 (Autoria própria).

2.1 Resultados e discussões.

Os dados como pressão máxima de trabalho admissível (PMTA), espessura nominal e raio do vaso foram obtidos através de seus respectivos prontuários, todos possuem o mesmo material de fabricação, portanto todos possuem o mesmo limite de escoamento e limite de resistência a tensão.

Foram calculados para cada vaso, dois coeficientes de segurança, um com base no limite de escoamento e outro com base no limite de resistência a tração, mas como citado anteriormente tomamos como base o fator de segurança calculado com o limite de escoamento [C.S. (LE)] como medida de maior segurança.

Para execução do cálculo, a pressão fornecida em bar pelo prontuário, foi convertida para MPa e a espessura e o raio fornecidas em milímetro (mm) pelo prontuário, foram convertidos para metro (m). Os valores do limite de escoamento do material e o limite de resistência a tensão, foram obtidos através de pesquisa sobre as propriedades do material ASME-SA 414 [10].

Vaso 1:

Dados:

PMTA: 1,034 MPa - Raio=0,2m - Espessura nominal do cilindro=0,00265m - Limite de escoamento= 310 MPa
Limite de resistência a tensão= 655 MPa

Tensão tangencial/ Tensão admissível calculada através da equação 5:

$$\sigma_1 = \frac{1,034.0,2}{0,00265} = 78,0 \text{ MPa}$$

Coefficiente de segurança com base no limite de escoamento calculada através da equação 4:

$$C.S.(L.E.) = \frac{310 \text{ MPa}}{78,0 \text{ MPa}} = 3,9$$

Coefficiente de segurança com base no limite de resistência a tensão calculada através da equação 3:

$$C.S.(LRT) = \frac{655 \text{ MPa}}{78,0 \text{ MPa}} = 8,4$$

Vaso 2:

Dados:

PMTA: 1,344 MPa - Raio=0,2795m - Espessura nominal do cilindro=0,005m - Limite de escoamento= 310 MPa
Limite de resistência a tensão= 655 MPa

Tensão tangencial/ Tensão admissível calculada através da equação 5:

$$\sigma_1 = \frac{1,344.0,2795}{0,005} = 75,1 \text{ MPa}$$

Coefficiente de segurança com base no limite de escoamento calculada através da equação 4:

$$C.S.(L.E.) = \frac{310 \text{ MPa}}{75,1 \text{ MPa}} = 4,1$$

Coefficiente de segurança com base no limite de resistência a tensão calculada através da equação 3:

$$C.S.(LRT) = \frac{655 \text{ MPa}}{75,1 \text{ MPa}} = 8,7$$

Vaso 3:

Dados:

PMTA: 1,05 MPa - Raio=0,15m - Espessura nominal do cilindro=0,00225m - Limite de escoamento= 310 MPa
Limite de resistência a tensão= 655 MPa

Tensão tangencial/ Tensão admissível calculada através da equação 5:

$$\sigma_1 = \frac{1,05.0,15}{0,00225} = 70 \text{ MPa}$$

Coefficiente de segurança com base no limite de escoamento calculada através da equação 4:

$$C.S.(L.E.) = \frac{310 \text{ MPa}}{70 \text{ MPa}} = 4,4$$

Coefficiente de segurança com base no limite de resistência a tensão calculada através da equação 3:

$$C.S.(LRT) = \frac{655 \text{ MPa}}{70 \text{ MPa}} = 9,4$$

Vaso 4:

Dados:

PMTA: 1,103 MPa - Raio=0,2m - Espessura nominal do cilindro=0,00265m - Limite de escoamento= 310 MPa
Limite de resistência a tensão= 655 MPa

Tensão tangencial/ Tensão admissível calculada através da equação 5:

$$\sigma_1 = \frac{1,103.0,2}{0,00265} = 83,3 MPa$$

Coefficiente de segurança com base no limite de escoamento calculada através da equação 4:

$$C.S.(L.E.) = \frac{310 MPa}{83,3 MPa} = 3,7$$

Coefficiente de segurança com base no limite de resistência a tensão calculada através da equação 3:

$$C.S.(LRT) = \frac{655 MPa}{83,3 MPa} = 7,9$$

Vaso 5:

Em todos os outros vasos a espessura nominal do tampo e do cilindro eram iguais, no vaso 5 a espessura nominal do cilindro é de 5 mm e a espessura nominal do tampo é de 3,33mm, mesmo sendo diferentes, a tensão tangencial (σ_1) é maior, sendo ela utilizada como tensão admissível.

Dados:

PMTA: 1,344 MPa - Raio=0,2396m - Espessura nominal do cilindro=0,005m - Espessura nominal do tampo=0,0033m - Limite de escoamento= 310 MPa - Limite de resistência a tensão= 655 MPa

Tensão tangencial/ Tensão admissível calculada através da equação 5:

$$\sigma_1 = \frac{1,344.0,2396}{0,005} = 64,4 MPa$$

Tensão circunferencial calculada através da equação 6:

$$\sigma_2 = \frac{1,344.0,2396}{2.0,0033} = 48,8 MPa$$

Como citado anteriormente usaremos como tensão admissível, para o cálculo do coeficiente de segurança, o valor encontrado no cálculo da tensão tangencial do vaso.

Coefficiente de segurança com base no limite de escoamento calculada através da equação 4:

$$C.S.(L.E.) = \frac{310 MPa}{64,4 MPa} = 4,8$$

Coefficiente de segurança com base no limite de resistência a tração calculada através da equação 3:

$$C.S.(LRT) = \frac{655 MPa}{64,4 MPa} = 10,2$$

A seguir, a Tabela 8 mostra os resultados obtidos com os cálculos anteriores, para tensão tangencial e coeficientes de segurança:

Tabela 8- Tensão tangencial e coeficientes de segurança para os vasos de pressão estudados. (Autoria própria)

	TENSÃO TANGENCIAL	COEFICIENTE DE SEGURANÇA (L.E.)	COEFICIENTE DE SEGURANÇA (L.R.T.)
VASO 1	78,0 MPa	3,9	8,4
VASO 2	75,1 MPa	4,1	8,7
VASO 3	70 Mpa	4,4	9,4
VASO 4	83,3 Mpa	3,7	7,9
VASO 5	64,4 Mpa	4,8	10,2

3. CONCLUSÕES

Com a obtenção de alguns prontuários, foi possível obter dados de alguns vasos de pressão comercializados, tornando possível executar os cálculos do coeficiente de segurança. Após o estudo de alguns conceitos foi possível admitir a maneira mais segura de calcular o coeficiente de segurança, usando a razão entre tensão de escoamento e a tensão admissível, sendo ela obtida através da tensão tangencial do vaso. Além disso, foi mostrada a importância do prontuário do vaso, quais informações devem constar e as medições e fórmulas necessárias para reconstituição do mesmo em caso de perda ou extravio. Após os cálculos realizados para cada vaso de pressão, com base nos dados de projeto obtidos através dos seus prontuários, foram obtidos coeficientes de segurança com base no limite de escoamento, variando de 3,7 a 4,8.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] NORMA REGULAMENTADORA 13 (NR-13). Redação dada pela Portaria MTb nº 1082, 18 de dezembro de 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13.pdf>>

-
- [2] TOMAZINI, G.A. Diretrizes básicas para projetos de vasos de pressão segundo a ASME. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá-SP, 2015.
- [3] ABC FERRAZ. A História da NR13. Disponível em: < <https://abcferraz.com.br/historia-nr13/>>. Acesso em 18 de setembro de 2022.
- [4] NETO, F.C.D; SILVA, J.M.V. Vasos de pressão- NR13. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. Mossoró-RN, 2022.
- [5] American Society of Mechanical Engineers (ASME), Código de projeto e de fabricação de vasos, Seção VIII
- [6] LUCIANO, E.R. et al., VALIDAÇÃO DO PROJETO DE VASO DE PRESSÃO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS. Universidade São Francisco. Campinas-SP, 2016.
- [7] NORTON, R.L. Projetos de máquinas: uma abordagem integrada. Cap.1. 4ª ed. Editora Bookman. Porto Alegre-RS, 2013.
- [8] HIBBELER, R.C. Resistência dos materiais. 7.ed. Cap. 1 e 8. Pearson Prentice Hall, São Paulo-SP, 2010.
- [9] ALVES, E.G; FRAGA, F.E.N. Fadiga de Baixo Ciclo: uma revisão da literatura. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO. Mossoró-RN, 2018.
- [10] LUZ, G. ASTM A414 Propriedades (Química, Mecânica e Classificação). Disponível em: < <https://www.materiais.gelsonluz.com/2021/12/astm-a414-propriedades-quimica-mecanica.html> >. Acesso em 24 de outubro de 2022.