

ESTRUTURAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO PROJETO DE TANQUE REATOR PARA FORMULAÇÃO

Bruno César Alvares Teixeira⁽¹⁾ (bruno.teixeira@ufu.br), Leonardo Rosa Ribeiro da Silva ⁽¹⁾
(leorrs@ufu.br)

⁽¹⁾ Universidade Federal de Uberlândia (UFU); Faculdade de Engenharia Mecânica

RESUMO: *O estudo em questão foi realizado durante as fases de planejamento, projeto, confecção, validação e entrega de um Tanque Reator produzido em uma fábrica no interior de Minas Gerais, se referenciando em normas nacionais e internacionais para construção de vasos atmosféricos e vasos de pressão. Tais equipamentos são reservatórios, dotados de agitadores industriais, destinados a confinar fluidos, além de realizar reações químicas e físicas nos mesmos. As normas utilizadas nesse trabalho foram a ASME Seção VIII, Divisão 1, a Norma Regulamentadora NR13 e, por fim, a API 650. O tanque fabricado que foi analisado é um Reator de volume útil de 500 litros para produtos líquidos não classificados. Foram realizados os cálculos para espessura de chapa e tampos da carcaça dos vasos, potência requerida pelos agitadores, que por sua vez foram selecionados de acordo com as necessidades de cada utilização, o processo foi devidamente representado em desenho técnico e acompanhado pelo corpo de engenheiro durante todas as fases de confecção e testes.*

PALAVRAS-CHAVE: TANQUES REATORES, VASOS DE PRESSÃO, AGITADORES INDUSTRIAIS, ESPESSURA DE CHAPA, POTÊNCIA REQUERIDA.

STRUCTURING AND MONITORING OF THE REACTOR TANK PROJECT FOR FORMULATION

ABSTRACT: *The study in question was conducted during the planning, design, manufacturing, validation, and delivery phases of a Reactor Tank produced in a factory in the interior of Minas Gerais, referencing national and international standards for the construction of atmospheric and pressure vessels. Such equipment are reservoirs, equipped with industrial agitators, designed to confine fluids and carry out chemical and physical reactions in them. The standards used in this work were ASME Section VIII, Division 1, Regulatory Standard NR13, and finally API 650. The manufactured tank that was analyzed is a Reactor with a useful volume of 500 liters for unclassified liquid products. Calculations were performed for the thickness of the shell and heads of the vessels, the power required by the agitators, which were selected according to the needs of each use, the process was duly represented in technical drawings and monitored by the engineering team during all manufacturing and testing phases.*

KEYWORDS: REACTOR TANKS, PRESSURE VESSELS, INDUSTRIAL AGITATORS, PLATE THICKNESS, REQUIRED POWER.

1. INTRODUÇÃO

Na indústria metalmecânica atual, o uso de tanques de armazenamento e vasos de pressão é comum e essencial para o manuseio de fluidos. Eles são utilizados desde a indústria petrolífera até a de cosméticos. Isso reflete a diversidade do setor industrial, com várias ramificações e uma ampla gama de maquinários e recursos tecnológicos (Telles, 2007).

Tanques reatores são recipientes dotados de agitadores com o objetivo de misturar, aquecer, resfriar ou promover um ambiente propício para uma reação química, ou para a proliferação de um microrganismo em um determinado ambiente. No Brasil, a norma vigente para esses equipamentos é a NR-13, que estabelece requisitos mínimos para a integridade estrutural, inspeção, segurança e operação dos vasos. As normas mais completas e utilizadas são a ASME VIII para vasos de pressão e a API STD 650 para tanques atmosféricos, ambas referenciadas nas normas brasileiras (BRASIL, 2017; AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, 2015; AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2007).

O objetivo é acompanhar desde a idealização até os testes do Tanque Inox 316, de 500 litros, com sistemas de agitação do tipo âncora, Disco de Cowles e turbo fundo de tanque, camisa intermediária e jaqueta externa isolada, além de tampos superior e inferior tipo torisférico e tampo da jaqueta cônica.

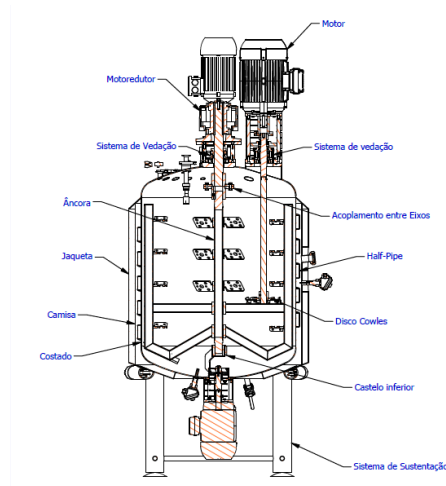
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Aporte Teórico

De acordo com Telles (2007) as características que definem um vaso de pressão são o comprimento entre tangente e o diâmetro interno. O projeto trata de um vaso cilíndrico vertical, sendo assim o diâmetro interno é a medida entre a face interna da parede, enquanto o comprimento entre tangentes é o comprimento total da parte cilíndrica do tanque, vide Figura 1.

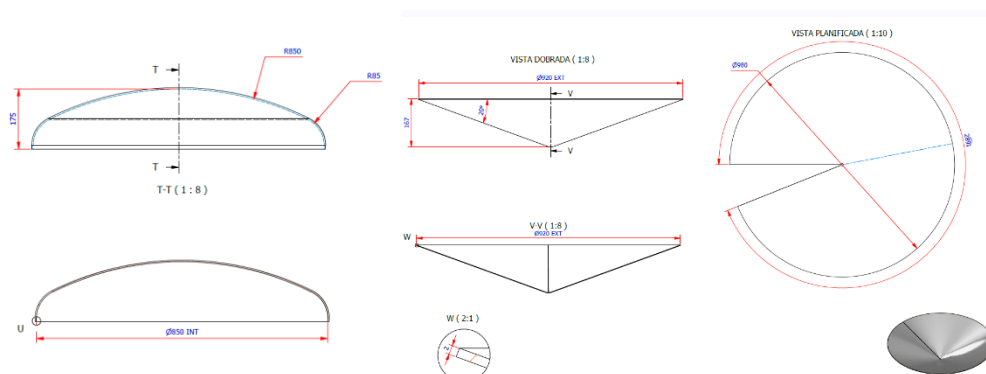
Telles (2007) define tampos como os fechamentos dos cascos cilíndricos dos vasos de pressão, podendo ser esféricos, elípticos, hemisféricos, toriesféricos, cônicos ou planos. Este trabalho analisa tampos toriesféricos e cônicos. Tampos toriesféricos possuem uma calota central esférica com raio definido e uma seção toroidal de concordância, indicada para tanques com pressão diferente da atmosférica. A norma ASME exige que a seção toroidal tenha um raio mínimo de 6% do diâmetro da parte esférica ou três vezes a espessura da chapa. O raio da parte esférica deve ser no máximo igual ao diâmetro externo da parte cilíndrica do tanque. Todos os tampos toriesféricos aqui analisados seguem a norma ASME, como exemplificado na Figura 2 (ASME, 2015).

FIGURA 1. Representação Reator. Desenvolvido durante o projeto, usando o software Inventor.



Fonte: Autor (2023).

FIGURA 2. Tampo Torisferico ASME 10% a esquerda, Tampo Cônico a direita, segundo ASME VIII. Desenvolvido durante o projeto, usando o software Inventor.



Fonte: Autor (2023).

Os tampos cônicos são simples, baratos e fáceis de construir, porém menos resistentes. São recomendados para aplicações de baixa pressão e esforços moderados, especialmente para fluidos viscosos devido ao seu formato que facilita o escoamento, como ilustrado na Figura 2 (Telles, 2007).

Alves (2023), em sua tese, define o número de Reynolds como uma grandeza adimensional fundamental na mecânica dos fluidos, usada para caracterizar o regime de escoamento de um fluido através da relação entre forças inerciais e viscosas. Este número é crucial para determinar se o escoamento será laminar (baixo número de Reynolds) ou turbulento (alto número de Reynolds). No

contexto dos agitadores, o número de Reynolds é relevante para analisar o comportamento do fluido dentro dos tanques durante ensaios e cálculos, conforme as diretrizes da ASME Seção VIII.

A potência consumida pelo agitador depende da massa específica e viscosidade do fluido, da rotação desejada e das dimensões geométricas do tanque e do agitador (Fonseca, 2019). Nagata (1975) introduziu o conceito de número de potência para impelidores, ajustando constantes empíricas e variáveis relevantes para simplificar o cálculo da potência consumida, definindo-o como um valor adimensional que reflete o efeito do atrito devido ao nível de agitação do fluido, como mostra na Equação (1).

$$N_{Po} = \frac{P_0}{N^8 \cdot D_a^5 \cdot \rho} \quad (1)$$

Sendo ρ = Massa específica do fluido(kg/m³), P_0 = Potência consumida(kw), N = Rotação do Impelidor (RPM) e D_a = Diâmetro do Impelidor (RPM). Joaquim Jr. *et al.* (2008) explicam que o Número de Potência (NP) é como um coeficiente de arraste nos sistemas com agitação e fornece uma medida adimensional do requerimento de energia do impelidor para uma mistura.

FIGURA 3. Placa de Identificação, segundo NR-13

EQUIPAMENTO				REATOR IRR-CC-50L			
DATA DE FAB.		CAP. MAX.		CREA			
10/2023		50L					
MODELO		COD.PROJ.		Nº SÉRIE			
IRR-CC-50		IRR-CC-50					
NORMA FAB.		PESO VAZIO		PESO CHEIO			
ASME VIII DIV. 1 ED. 2015		103kg		158kg			

	TANQUE	HALF PIPE	CAMISA
MATERIAL	AISI 316L	N/A	AISI 304
ESPESS. MÍNIMA	2mm	N/A	2 mm
PRESSÃO DE TRAB.	ATM	N/A	ATM
P.M.T.A	N/A	N/A	N/A
PRESSÃO DE TESTE	N/A	N/A	N/A
VÁCUO	N/A	N/A	N/A
PRESSÃO DE PROJ.	ATM	N/A	N/A
CAT. VASO	V	-	-
CLASSE DO FLUIDO	D	-	-
GRUPO POT. RISCO	5	-	-
TEMP. DE TRABALHO	90 °C	N/A	100 °C
TEMP. DE PROJETO	120 °C	N/A	130 °C

	JAQUETA	ISOLAMENTO	RESISTÊNCIAS
MATERIAL	AISI 304	LÃ DE ROCHA	QUANTIDADE
ESPESSURA	2 mm	33 mm	2
			POTÊNCIA UNIT. [3KW]

	ÂNCORA	PROPELIDOR	COWLES	TURBO FDT
POT. MOTOR	1CV	N/A	N/A	1,0 CV
ROT. EIXO	55 RPM	N/A	N/A	3500 RPM
TENSÃO	220/380V	N/A	N/A	220/380 V

Fonte: Placa de identificação aos padrões da fábrica, segundo NR 13 (2023).

A NR-13 regulamenta caldeiras e vasos de pressão com $PV \geq 8$, onde P é a pressão máxima em kPa (manométrica) e V é o volume interno (BRASIL, 2017). Define caldeira a vapor como recipiente

estanque para produção ou armazenamento de vapor acima da pressão atmosférica, independentemente da fonte de energia. Inclui também vasos de pressão para qualquer fluido sob pressão interna ou externa diferente da atmosférica. Reatores não atmosféricos devem ter válvula de segurança e manômetro para indicar a pressão operacional.

Além disso a norma dita que todo e qualquer equipamento que se enquadra em seu escopo deve conter placa de identificação, como mostra a Figura 3, contendo fabricante, número de identificação, ano de fabricação, PMTA - Pressão Máxima de Trabalho Admissível, pressão de teste hidrostático de fabricação e código de projeto e ano de edição (BRASIL, 2017).

A ASME é uma norma internacional subdividida em 37 seções de ramos específicos. A seção VIII da norma dita as etapas e requisitos mínimos para a fabricação, instalação e manutenção de vasos de pressão, sendo sua Divisão 1 usada para guiar a confecção dos tanques aqui analisados.

Para o cálculo da pressão máxima, foi usada a Equação (2), que diz respeito à pressão máxima do corpo e a Equação (3), que indica a pressão máxima nos tampos, pela ASME VIII.

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

$$P = \frac{2.S.E.t}{L.M + 0,2.t} \quad (3)$$

Sendo: P = Pressão de projeto (MPa), S = Valor da tensão máxima admissível do material (MPa), E= Eficiência apropriada de junta em cascos cilíndricos, t = espessura mínima de casco(mm), R = raios interno do casco(mm), L = Raio da Coroa dos Tampos (mm) e M = coeficiente (L/r). Para o cálculo da espessura mínima usa-se a secção UG-27 da ASME VIII Divisão 1, que estabelece os requisitos mínimos para a estrutura do tanque. O método calcula a mínima espessura para tanques cilíndricos, levando em conta as tensões circunferenciais e longitudinais, mas para que as fórmulas possam ser corretamente empregadas a relação expressa na Equação (4) deve ser respeitada.

$$P \leq 0,385 * E * S \quad (4)$$

Circunferencial:

$$t = \frac{P.R}{S.E + 0,6.P} \quad (5)$$

Longitudinal:

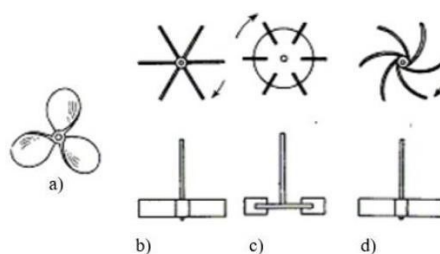
$$t = \frac{P.R}{2.S.E + 0,4.P} \quad (6)$$

A norma também dita o tipo de coeficiente de solda a ser utilizado nos cálculos pertinentes, coeficiente este sendo definido pelo tipo de solda e os ensaios realizados no processo de fabricação.

2.2 Impelidores

O tanque aqui analisado é dotado de agitadores industriais, para formular o fluido para o qual cada um é destinado, mas para isso o agitador ideal deve ser escolhido, tendo em vista suas dimensões, eficiência e possibilidade de fabricação.

FIGURA 4. Principais tipo de Impelidores.



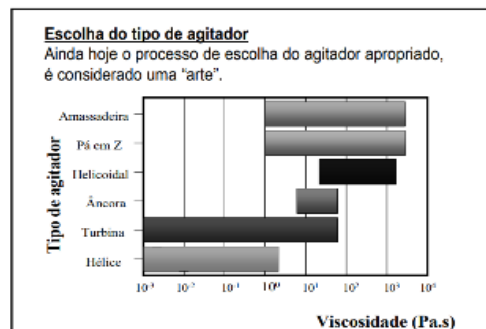
Fonte: McCabe (1985).

A escolha do tipo de impelidor a ser adotado é função dos requisitos específicos de cada processo. Os impelidores podem gerar fluxos axiais, radiais, ou tangenciais e diferentes relações entre bombeamento e cisalhamento. A escolha com a relação mais adequada e com melhor padrão de descarga de fluxo é determinante no desempenho do sistema. O padrão de fluxo é também diretamente afetado pela disposição do impelidor (Joaquim Jr. *et al.* 2007).

Pierini (2020) define que os principais impelidores utilizados em tanques agitadores industriais são os mostrados na Figura 4: a) Propulsor naval: Indicado para fluxo axial e líquidos de baixa viscosidade; b) Pá: Pode ser de pás retas ou inclinadas, sendo utilizadas para a mistura de líquidos miscíveis; c) Turbina de disco: Utilizada em processos que necessitam de alta turbulência; d) Pás curvas: Desenvolvem um fluxo radial e são indicadas para a mistura de líquidos.

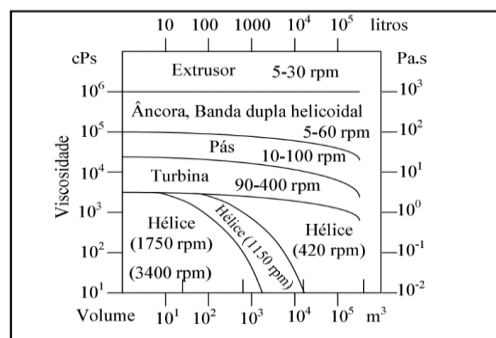
Os impelidores, ilustrados na Figura 4, são selecionados conforme as propriedades do fluido e requisitos específicos de cada aplicação. Classificados segundo o regime de mistura (laminar, turbulento ou transicional), sua escolha depende do regime do fluido para dimensionar o tanque conforme o projeto. A literatura oferece dados sobre impelidores comerciais e suas faixas ideais de uso. A Figura 5 mostra os tipos de impelidores para diferentes viscosidades, enquanto a Figura 6 relaciona viscosidade, volume do tanque e velocidade de rotação, guiando a seleção adequada para cada cenário de agitação.

FIGURA 5. Gráfico dos tipos mais usados de impelidores e faixa de aplicação pela viscosidade.



Fonte: Martinez (2016).

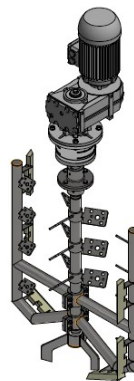
FIGURA 6. Gráfico da viscosidade pelo volume útil do tanque.



Fonte: Pereira (2019).

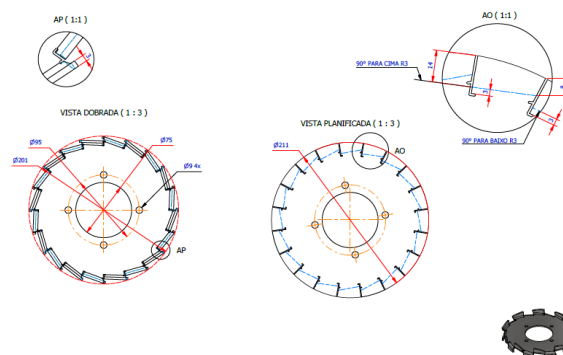
Segundo Prada (2015), para o regime laminar é usado o agitador do tipo âncora, com forte componente de velocidade tangencial, com diâmetro muito próximo ao interno do tanque, o que corrobora com o aumento da transferência de quantidade de movimento para o fluido, já que no regime laminar o mesmo é baixo, sendo indicados para fluidos difíceis de se bombear. De acordo com Ho e Kwong (1973), o impelidor âncora é dotado de raspadores, evitando a aderência ou impregnação do fluido nas paredes do tanque. A Figura 7 mostra um exemplo de impelidor do tipo Âncora.

FIGURA 7. Impelidor do Tipo Âncora. Desenvolvido durante o projeto, usando o software Inventor.



Fonte: Autor (2023).

FIGURA 8. Disco de Cowles. Desenvolvido durante o projeto, usando o software Inventor.

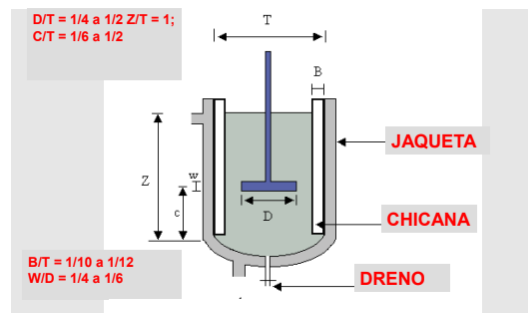


Fonte: Autor (2023).

Os impelidores de alta velocidade costumam ter pás de diâmetros reduzidos e operam em regime turbulento e são mais indicados para fluidos de baixa viscosidade. O do tipo Disco de Cowles, ou dispersor, é um dispositivo com discos planos ou modificados que operam em altas rotações, promovendo o cisalhamento e a dispersão de partículas sólidas no líquido. Devido à ausência de pás

ou ao seu tamanho reduzido, esses dispersores não geram fluxos volumétricos elevados, mas são eficazes no intenso cisalhamento. Há uma variedade de modelos disponíveis, com pequenas variações conforme o fabricante, aquele usado no projeto pode ser visto na Figura 8 (Joaquim Jr. *et al.* 2015).

FIGURA 9. Representação Tanque agitador.



Fonte: Martinez (2016).

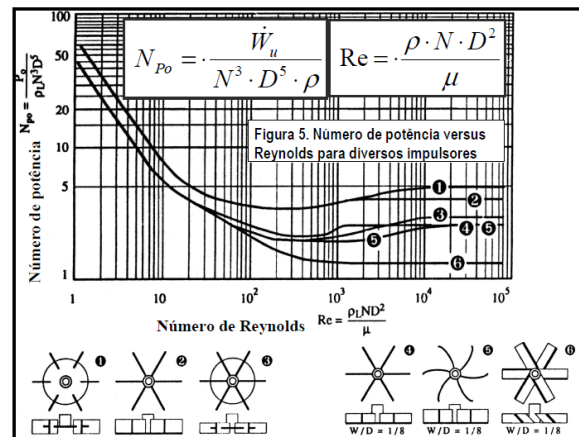
Telles (2007) define as principais variáveis em um tanque agitador, sendo essas o diâmetro interno do tanque (T), o diâmetro do impelidor (D), a largura das pás do impelidor (w), a distância do Impelidor ao fundo do tanque (C), a altura do líquido (Z) e a largura das chicanas (B). Com essas variáveis dimensionadas as geometrias principais do tanque e do agitador podem ser dimensionadas de forma primária, além do cálculo na potência consumida pelo agitador. Para o cálculo da potência consumida a relação entre diâmetro do tanque e diâmetro do impelidor se torna um número adimensional importante, conforme mostra a Figura 9.

Telles (2007) define o número de Reynolds para impelidores, que representa uma relação entre as forças inerciais (F_i) e as forças viscosas (F_v), como mostra a equação abaixo:

$$Re = \frac{F_i}{F_v} = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu} \quad (7)$$

Sendo: ρ = Massa específica do fluido (kg/m^3), N = Rotação do Impelidor (RPM), μ = Viscosidade do fluido (Pa.s) e D = Diâmetro do Impelidor (metros). Para valores do Número de Reynolds menores do que 10 configura-se um fluxo laminar, enquanto para valores maiores do que 10^4 se trata de fluxo turbulento, qualquer valor entre os mencionados se trata de um regime de transição, (Telles, 2007).

FIGURA 10. Diagrama de Moody para diferentes tipos de impelidores.



Fonte: Martinez (2016).

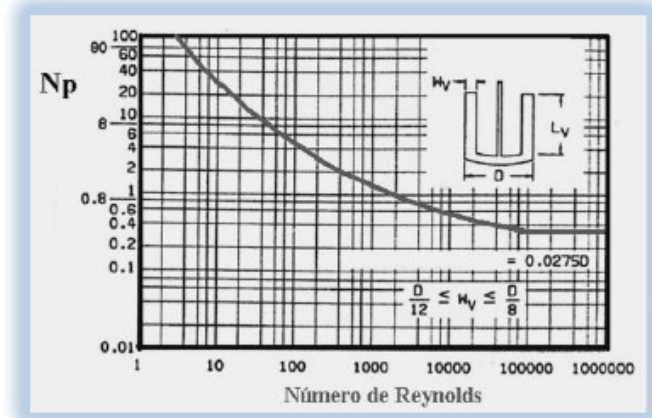
Analisando a Equação (7) nota-se que, para valores baixos o número de Reynolds é mais dependente da viscosidade, denotando uma predominância das forças viscosas. Já para valores elevados há uma predominância das forças inerciais, as quais são determinadas pela densidade do fluido.

Joaquim Jr. *et al.* (2007) relaciona o número de potência N_p com o número de Reynolds Re em um gráfico log-log, diferenciando os tipos de escoamento e evidenciando os diferentes casos onde há predominância das forças viscosas ou das forças inerciais.

Os autores Hemrajani e Tatterson (2003), em estudo sobre o comportamento das curvas experimentais de Rushton *et al.* (1950), configurando o número de potência em função do número de Reynolds para diversos impelidores diferentes, sendo diferenciados entre si pela relação entre os diâmetros do tanque e do impelidor, do número de pás e do perfil das pás, chegando a conclusão de que o número de potência permanece constante em regime turbulento, independente da viscosidade do fluido, crescendo de forma branda na região de transição e com acentuado crescimento na região de regime laminar, o que pode ser observado na Figura 10.

Oldshue (1983) também, de forma experimental, constrói a curva padrão de comportamento da curva para um impelidor do tipo âncora, devido a sua geometria singular, diferenciando o mesmo dos demais impelidores, segue exemplo na Figura 11.

FIGURA 11. Diagrama de Moody para Impelidor do tipo Âncora



Fonte: Martinez (2016).

3. RESULTADOS

3.1 Escolha de Materiais

O aço carbono é amplamente utilizado na fabricação de tanques e vasos de pressão por sua resistência, conformabilidade e baixo custo. No entanto, não é recomendado para aplicações que exigem requisitos sanitários devido ao risco de oxidação ao contato com o fluido de trabalho. O tanque analisado é construído em aço inox 304 e 316 por sua alta resistência à corrosão, tração e viabilidade financeira (API 650, 2007).

O aço inox 304, também conhecido como AISI 304 (*American Iron and Steel Institute*), é uma liga de aço austenítico, composto majoritariamente por ferro, cromo e níquel. Sendo as propriedades do aço inox 304 descritas na Tabela 1, enquanto sua composição química, em peso, pode ser vista na Tabela 2.

O aço inox 316 tem molibdênio adicionado, o que melhora significativamente sua resistência à corrosão em relação ao AISI 304. Isso torna o AISI 316 ideal para aplicações onde a resistência à corrosão é crítica, pois o molibdênio aumenta a solubilidade do cromo e contribui para a camada apassivadora. As propriedades do aço inox 316 estão na Tabela 1, e sua composição química na Tabela 2. As propriedades dos aços aqui descritas foram adquiridas através da norma API 560 (*American Petroleum Institute*).

TABELA 1. Propriedades principais dos Aços Inox 304 e 316.

Material	Resistência a Tração (MPa)	Limite de Elasticidade (MPa)	Dureza Brinell	Densidade (g/cm³)	Ponto de Fusão (°C)
Inox 304	515	205	201	8	1400
Inox 316	515	205	217	8	1420

Fonte: American Petroleum Institute API 650 (2007).

TABELA 2. Composição Química, em peso, dos Aços Inox 304 e 316.

Composição Química (% em peso)	Carbono (C)	Silício (Si)	Manganês (Mn)	Fósforo (P)	Enxofre (S)	Cromo (Cr)	Níquel (Ni)	Molibdênio (Mo)
Inox 304	0,08	1	2	0,045	0,03	18-20	8-10	-
Inox 316	0,08	1	2	0,045	0,03	16-18	10-14	2-3

Fonte: American Petroleum Institute API 650 (2007).

3.2 Procedimentos de Fabricação

FIGURA 12. Cilindro pressurizado com gás Argônio (Ar)



Fonte: Fotos da solda do tipo TIG, realizada em campo (2023).

Todo o processo de união permanente é realizado por soldagem. Utiliza-se o processo TIG (*Tungsten Inert Gas*) devido à sua alta qualidade, apesar de ser mais caro e complexo, utilizando um eletrodo de tungstênio não consumível. O TIG emprega proteção gasosa para estabilidade do arco e da poça de fusão, permitindo controle preciso do calor e sendo ideal para chapas finas. Requer um inversor para converter a corrente e um cilindro de gás argônio comprimido, conforme ilustrado na Figuras 12, durante o processo de soldagem dos tanques.

3.3 Espessura de Casco

Para definirmos a pressão máxima suportada pelo tanque utilizamos a equação fornecida pelo código ASME VIII Div 1, já descrita anteriormente. Além disso, também usamos a fórmula fornecida pela API 650, para tanques atmosféricos pelo *One-Foot Method* (método do 1 pé).

Organizamos na Tabela 3 abaixo os dados pertinentes de cada tanque, juntamente dos resultados do dimensionamento:

TABELA 3. Espessura de Parede.

MATERIAL	AISI 316
VOLUME(L)	500
TAMPO SUPERIOR	Torisferico
TAMPO INFERIOR	Torisferico
DIÂMETRO INTERNO (mm)	850
ALTURA DE COSTADO (mm)	820
ALTURA DE LÍQUIDO (mm)	945
ESPESSURA DO COSTADO (mm)	4
CAMISA MATERIAL	AISI 304
ESPESSURA DA CAMISA (mm)	2
JAQUETA MATERIAL	AISI 304
ESPESSURA DA JAQUETA (mm)	2
PMTA (kgf/cm ²)	1,5
PMTA(Mpa)	0,1472
SISTEMA DE AGITAÇÃO	âncora, turbo f.d.t e cowles
Espessura min circunferencial (ASME) (mm)	0,4159
Espessura min longitudinal (ASME) (mm)	0,2078
Espessura 1-foot method (mm)	0,0125

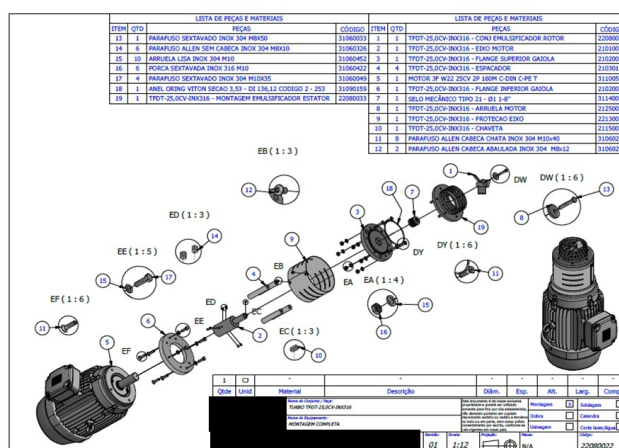
Fonte: Dados experimentais medidos em campo, seguindo as normas ASME VIII e API650.

3.4 Características Construtivas

Tanque dotado de um Impelidor do tipo âncora, um impelidor descentralizado do tipo Disco de Cowles e um turbo fundo de tanque (Figura 13), de pás retas. Destinado para formulação e mistura a quente, submetidos a uma pressão negativa de até 0,5 kgf/cm². Figura 1 mostra uma vista de corte de tal tanque.

Tanque para mistura a quente, equipado com resistências por imersão e sistema de aquecimento (Half-Pipe), capaz de elevar a temperatura do produto até 120°C. O sistema Half-Pipe consiste em um trocador de calor simples, suportando até 3 kgf/cm² de pressão, com uma cavidade espiral soldada ao redor do costado, por onde circula vapor d'água superaquecido. O tanque possui costado em aço inox 316 de 4 mm, camisa intermediária em aço inox 304 de 2 mm e jaqueta externa em aço inox 304 de 2 mm, além de sistema de aquecimento por banho maria com duas resistências de 9KW. Tampo superior e inferior torisféricos, segundo a ASME 10%, já que se trata de um vaso de pressão.

FIGURA 13. Vista explodida do Sistema de Agitação do tipo Turbo Fundo de Tanque, para Tanque. Desenvolvido durante o projeto, usando o software Inventor.



Fonte: Autor (2023).

O tampo externo da camisa é de formato cônico, já que a mesma é dimensionada para atuar à pressão atmosférica, viabilizando o uso de um tampo de confecção mais simples (ASME, 2015). Entre a camisa e a jaqueta é acoplado lã de rocha, para garantir o isolamento térmico, na Figura 14 pode-se ver o tampo com a entrada para Boca de Visita e tomadas, além do sistema de agitação.

FIGURA 14. Sistema de agitação tipo Âncora e disco de Cowles a esquerda. Tanque IRL-TT-500L INOX 316 a direita.



Fonte: Fotos tiradas em campo após instalação (2023).

O tampo superior contém os seguintes acessórios: equipado com várias saídas e componentes essenciais, três saídas de tubo OD de 1 polegada com conexão sanitária TC para válvula de segurança, transmissor de pressão e uma tomada sobressalente, duas saídas de tubo OD de 2 polegadas para a luminária de iluminação interna e um sistema de sprayball para limpeza, uma saída de tubo OD de 3 polegadas com conexão TC para admissão de matéria-prima via moega de 3 polegadas com válvula borboleta, cinco saídas de tubo OD de 1 ½ polegadas com conexão TC para o sensor de nível, controlando a formação de espuma, e quatro saídas sobressalentes para acesso interno. Conexões flangeadas suportam o sistema de agitação âncora e Cowles descentralizado, enquanto uma boca de visita oval com manípulos garante o acesso seguro e vedação. Há um visor para observação do operador. Adicionalmente, o tanque inclui sensores e acessórios para monitoramento seguro do processo: visor de nível SMS de 1 ½ polegadas em borossilicato para líquido de aquecimento na camisa, sensor PT-100 para temperatura na camisa e no tampo inferior, e sonda de pH esterilizável para monitorar o pH durante a mistura.

3.5 Sistemas de agitação e Potência Consumida

O sistema de agitação no reator é dimensionado com base na formulação desejada e nas propriedades físicas dos fluidos presentes na mistura. Após selecionar o tipo de impelidor e determinar se é necessário mais de um tipo, suas geometrias são ajustadas de acordo com o volume

útil, diâmetro interno e altura de líquido do tanque. A relação entre o diâmetro do impelidor e do tanque é crucial para determinar o fluxo, o número de potência e, consequentemente, a potência consumida (Telles, 2007).

Após selecionar o impelidor e definir seus parâmetros geométricos, utilizam-se a massa específica e viscosidade dos líquidos para calcular o número de Reynolds próximo às pás dos impelidores. Com o diagrama de Moody, obtém-se o número de potência (Npo). Calcula-se então a potência consumida, assumindo um fator de segurança, em KW. Com a potência consumida, seleciona-se o motor adequado e dimensiona-se o diâmetro do eixo árvore para evitar sobrepeso e desperdício de material. Também se define a faixa de rotação ideal e, se necessário, um redutor. As informações compiladas na tabela 4 incluem características dos agitadores, massa específica e viscosidade do líquido, cálculo de Reynolds, Npo, potência consumida e potência do motor comercial selecionado.

TABELA 4. Potência consumida dos Impelidores.

Impelidor	Diâmetro (mm)	Densidade (kg/m ³)	Viscosidade (Cp)	Rotação (RPM)	Número de Reynolds (Re)
Âncora	820	1200	30	42	18,8272
Cowles	200	1200	1	1150	920
Turbo F.T. Tanque	104	1200	1	3600	778,752

Impelidor	Número de potência	Potência Consumida (Kw)	Potência Consumida (CV)	Potência do Motor (CV)
Âncora	18	2,7467	3,7345	4
Cowles	1,7	4,5964	6,2494	7,5
Turbo F.T. Tanque	1	3,1536	4,2876	5

Fonte: Dados experimentais medidos em campo, seguindo as normas ASME VIII e API650 (2023).

4. CONCLUSÕES

O processo, de julho a dezembro de 2023, incluiu idealização, projeto, planejamento, desenvolvimento, confecção e testagem de um reator. Inicialmente, dimensionaram-se a

motorização e as principais dimensões. A compra de componentes críticos levou de 30 a 45 dias, exigindo cálculos precisos para evitar atrasos. Durante a confecção, foram necessárias correções devido a problemas de integridade dos tampos e espessura das conexões sanitárias.

A boca de visita foi inadequada, necessitando um complemento para montagem do impelidor Âncora. Defeitos nos eixos dos impelidores requereram usinagem após montagem do corpo do reator para garantir precisão. Com o controle rigoroso do corpo de engenharia, os projetos foram completados a tempo e os testes confirmaram a conformidade com as normas e requisitos do cliente.

A fabricação desses equipamentos é desafiadora, exigindo conhecimentos técnicos e práticos rápidos. Além dos aspectos técnicos tradicionais, adquiriu-se conhecimento sobre planejamento financeiro, seleção de acessórios e suas aplicações. Isso inclui compreensão detalhada das capacidades físicas, químicas, dinâmicas e térmicas dos componentes, tipos de conexões aparafusadas, e o papel crucial de acessórios padronizados na funcionalidade e economia na produção.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, G. Validação de um Vaso de Pressão por Método e Cálculo Conforme a ASME Seção VIII e Ensaio Não Destrutivos e Destrutivos. TCC em Engenharia Mecânica - Centro Universitário UNISATC. Criciúma - Santa Catarina, p. 25. 2023.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII, Rules for Construction of Pressure Vessels, Division 1. Nova York, 2015.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. ASME Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII, Rules for Construction of Pressure Vessels, Division 2. Nova York, 2015.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. API 650: Welded Steel Tanks for Oil Storage. 12th ed. Washington, DC: American Petroleum Institute, 2007.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora NR-13: Caldeiras, vasos de pressão e tubulações. Brasília, DF, 2017.

FONSECA, V. Apostila Operações Unitárias I - Agitação e Mistura. Apostila para a Disciplina Operações Unitárias I - Universidade de São Paulo - Escola de engenharia de Lorena. Lorena, p. 28. 2019.

HEMRAJANI, R. R. e TATTERSON, G. B. Mechanically stirred vessels. Handbook of industrial mixing: science and practice, p. 345–390, 2004.

JOAQUIM JR, C; CEKINSKI, E; NUNHEZ, J; URENHA, L. Agitação e Mistura na Indústria. 1ª Edição. Rio de Janeiro. LTC, 2015.

JOAQUIM JR, C. Critérios Para a Seleção de Impelidores. Apostila o Curso de Agitação e Mistura em Processos Industriais - Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Botucatu 2007.

JOAQUIM JR, C. Desenvolvimento e |Otimização de Misturador Estático com o uso da Fluidodinâmica Computacional (C.F.D.). Tese de doutorado em Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2008.

MARTINEZ, C. Operações Unitárias: Agitação e Mistura. Apostila para a Disciplina Operações Unitárias na Indústria de Alimentos - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, p. 40. 2016.

MCCABLE, W. L. Unit Operations of Chemical Engineering. Ed. Subsequente. McGraw-Hill College, 1985.

PEREIRA, F. Operações Unitárias II Agitação e Mistura. Apostila para a Disciplina Operações Unitárias II - Universidade de São Paulo - Escola de engenharia de Lorena. Lorena, p. 93. 2019.

PIERINI, J. Dimensionamento da Potência de Acionamento para Tanque Agitador de Pás Retas e Inclínadas. Relatório de Estágio em Engenharia Mecânica - Centro Universitário UNISATC. Criciúma - Santa Catarina, p. 31. 2020.

OLDSHUE, J. Y. e GRETTON, A. T. Helical coil heat transfer in mixing vessels. Chem. Eng. Prog., v. 50, n. 12, p. 615 – 621, 1954.

TELLES, P.C.S. Vasos de Pressão. 2ª Edição Atualizada. Rio de Janeiro . LTC, 2007.