

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

BRUNO CÉSAR ALVARES TEIXEIRA

**ESTRUTURAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO PROJETO DE TANQUE REATOR PARA
FORMULAÇÃO**

UBERLÂNDIA – MG

2024

BRUNO CÉSAR ALVARES TEIXEIRA

**ESTRUTURAÇÃO E ACOMPANHAMENTO DO PROJETO DE TANQUE REATOR PARA
FORMULAÇÃO**

**Trabalho de conclusão do curso de Engenharia
Mecânica, da Universidade Federal de Uberlândia,
como requisito parcial para a obtenção do grau de
engenheiro mecânico**

Orientador: Prof Dr Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

UBERLÂNDIA-MG

2024

RESUMO: O estudo em questão foi realizado durante as fases de planejamento, projeto, confecção, validação e entrega de Tanques Reatores produzidos pela fábrica onde o graduando estagiou e trabalhou, 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 e 2, as Normas Regulamentadoras NR-12 e NR13, a Norma Brasileira NBR 10067, as Normas da Petrobras N-0253 e N-0270 e, por fim, a API 650. Os tanques fabricados que foram analisados são: um Reator de volume útil igual a 3000 litros para produtos químicos, um Reator de volume útil igual a 5000 litros destinado a produtos biológicos, um Tanque de volume útil igual a 50 litros para cosméticos e 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; Norma ASME; NR-12; NR-13; API 650; Espessura de Chapa; Potência Requerida.

ABSTRACT: This study was conducted during the planning, design, manufacturing, validation, and delivery phases of Reactor Tanks produced by the factory where the undergraduate interned and worked, referring to national and international standards for the construction of atmospheric and pressure vessels. These pieces of equipment are reservoirs, equipped with industrial agitators, intended to contain fluids, and to perform chemical and physical reactions within them. The standards used in this work were ASME Section VIII, Divisions 1 and 2, Regulatory Standards NR-12 and NR-13, the Brazilian Standard NBR 10067, Petrobras Standards N-0253 and N-0270, and finally, API 650. The analyzed manufactured tanks include: a Reactor with a working volume of 3000 liters for chemical products, a Reactor with a working volume of 5000 liters for biological products, a Tank with a working volume of 50 liters for cosmetics, and a Reactor with a working volume of 500 liters for non-classified liquid products. Calculations were performed for the thickness of the shell and heads of the vessels, the required power for the agitators, which were selected according to the needs of each application. The process was appropriately represented in technical drawings and monitored by the engineering team throughout all manufacturing and testing phases.

Keywords: Reactor Tanks; Pressure Vessels; Industrial Agitators; ASME Standard; NR-12; NR-13; API 650; Plate Thickness; Required Power.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 Contextualização do tema | 7 |
| 1.2 Justificativa e relevância | 8 |
| 1.3 Objetivos do trabalho | 9 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 12 |
| 2.1 Número de Reynolds | 12 |
| 2.2 Número de Potência | 13 |
| 2.3 Componentes de um Tanque Reator | 13 |
| 2.3.1 Tampos | 15 |
| 2.3.2 Bocas de Visita | |
| 18 | |
| 2.3.3 Chicanas | 19 |
| 2.4 Normas Regulamentadoras | 21 |
| 2.4.1 Norma Regulamentadora NR-12 | 21 |
| 2.4.2 Norma Regulamentadora NR-13 | 21 |
| 2.4.3 Norma ASME VIII | 23 |
| 2.5 Agitação e Mistura | 24 |
| 3. DIMENSIONAMENTO DE TANQUES READORES | |
| 28 | |
| 3.1. Impelidores | 29 |
| 3.2 Motor Acionador | 37 |
| 3.3 Seleção de materiais | 41 |
| 4 PARTE EXPERIMENTAL | |
| 46 | |
| 4.1 Procedimentos de Fabricação | 46 |
| 4.2 Representação em Desenho Técnico | |
| 50 | |
| 4.3 Espessura de Casco | 54 |
| 4.4 Características de Cada Reator | 56 |
| 4.4.1 Tanque Misturador IRS-TT-3000 INOX 316 | |
| 56 | |
| 4.4.2 Tanque Misturador IRS-TT-5000 INOX 304 | |
| 61 | |
| 4.4.3 Tanque Misturador IRR-CC-50 INOX 316 | |
| 63 | |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.4 Tanque Misturador IRL-TT-500 INOX 316 | |
| 66 | |
| 4.5 Sistemas de agitação e Potência Consumida | 70 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 73 |
| 6. CONCLUSÃO | 75 |
| 7. CONTRIBUIÇÃO AO TRABALHO | 77 |
| REFERÊNCIA | 79 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema

Na indústria metal-mecânica da atualidade o emprego de tanques de armazenamento e vasos de pressão é uma prática comum e amplamente difundida, já que os mesmos se fazem necessários para o manuseio de qualquer fluido a ser estocado e manipulado física ou quimicamente. Com isso seu uso vai da indústria petrolífera até a de cosméticos, passando por várias outras, se tratando deste cenário, diversas são as ramificações presentes no cotidiano do setor industrial, bem como a diversificação plural dos maquinários e recursos tecnológicos que o compõem. No Brasil existe uma alta demanda de tais equipamentos para o setor de cosméticos, insumos agrícolas e para extração e refinamento de petróleo.

Tanques reatores são máquinas utilizadas em diversos setores industriais, sendo 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. Os tanques podem ser dotados de mais de uma camada de parede, sendo comumente chamadas de camisas, ou jaquetas com o objetivo de promover o aquecimento, resfriamento ou até mesmo isolamento térmico do produto, normalmente feito pelo fluxo de um fluido (comumente água) através de uma dessas camisas, sem contato direto com o produto, de forma a promover a troca de calor.

A depender da necessidade os tanques podem conter diversos acessórios, como agitadores com impelidores, com pás, com turbinas ou com mais de um agitador, sendo ao menos um deles descentralizado, aeradores, dispersores para limpeza e esterilização, instrumentação para tomada de dados e acessórios para acesso do usuário ao retirar o produto ou introduzir matéria-prima.

No Brasil a norma vigente para tais equipamentos é a NR-13, responsável por estabelecer os requisitos mínimos de gestão da integridade estrutural dos vasos, além dos diversos aspectos necessários para inspeção, segurança e operação. Além da NR-13, a Petrobras também tem suas próprias normas, complementares à NR-13, para lidar com tanques e vasos de pressão, sendo essas a N-0270 e N-0253 respectivamente. Porém as normas mais completas e amplamente utilizadas, no que diz respeito ao assunto abordado são a ASME VIII para vasos de pressão e a API STD 650 para Tanques atmosféricos, sendo essas inclusive referenciadas nas normas brasileiras acima listadas.

Sendo assim, desde a idealização do projeto do equipamento até sua instalação, além da constante utilização e manutenção são diversos passos criteriosos que devem ser respeitados e aplicados de forma rigorosa, o que envolve uma gama de profissionais qualificados trabalhando em conjunto. Focando nas obrigações de um engenheiro mecânico na confecção de tal equipamento o mesmo deve dimensionar o tanque tendo em vista a sua aplicação, respeitando as normas vigentes e analisando os custos, além das limitações físicas que a fábrica onde a máquina será construída tem, além de gerar um relatório completo e de fácil entendimento contendo o desenho técnico de todo equipamento e suas características.

1.2 Justificativa e relevância

Para um projeto de um Tanque Reator várias etapas devem ser dispostas e seguidas com rigor, sendo essas:

- **Definição e planejamento:** onde as necessidades são levantadas e o propósito do tanque é definido. O tipo de produto e a reação desejada devem ser especificados nessa etapa, além da determinação das condições necessárias, como velocidade da mistura, pressão, temperatura e qualquer outro parâmetro importante para o processo. Deve-se também estabelecer um cronograma de atividades e orçamento de gastos.
- **Dimensionamento:** Com todos os dados pertinentes e as necessidades levantadas o tanque deve ser dimensionado, desde sua estrutura, geometria, motorização, tipo de agitador e acessórios, além dos materiais a serem usados. Nessa etapa também é feito o desenho técnico.
- **Segurança e Legislação:** Todas as licenças necessárias devem ser levantadas, obtidas, estudadas e respeitadas para garantir a conformidade com as regulamentações ambientais e de segurança.
- **Fabricação:** Organização de toda matéria-prima e todas as etapas de construção, desde os processos de conformação, calandragem, dobra, solda e usinagem e montagem, juntamente com um acompanhamento do projeto.
- **Teste e validação:** uma vez montado o tanque deve ter sua estrutura testada, além de seu funcionamento, para garantir a segurança, estabilidade e eficiência de seu funcionamento, além de verificar seu desempenho e levantar possíveis falhas.

- **Operação:** deslocamento do tanque até o local de instalação, verificação das condições de segurança para o funcionamento. treinamento do operador e da equipe responsável pela manutenção.
- **Melhorias:** levantamento de dados do processo e do funcionamento do Tanque, análise de possíveis melhorias e otimização de cada etapa. Estruturação e apresentação de possíveis otimizações.

Portanto a fabricação de um Tanque Reator é uma tarefa multidisciplinar, necessitando de conhecimentos de Engenharia Mecânica, Elétrica, Mecatrônica e Química, fazendo-se necessário o trabalho em conjunto de diversos profissionais. Do ponto de vista da Engenharia Mecânica, o responsável pelo projeto deve ter conhecimento de Resistência dos Materiais, Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica, Transferência de Calor, Mecânica dos Materiais, Instrumentação, Fundição e Soldagem além de Desenho Técnico e Desenho de Máquinas. Isso porque deve-se dimensionar a estrutura do tanque, levando em conta todos os esforços que ele pode sofrer, além de qualquer possível reação indesejada que possa ocorrer com o produto e qualquer componente com que o mesmo entre em contato. Os agitadores devem ser dimensionados para uma mistura eficiente e homogênea, deve-se ter conhecimento de como elevar a temperatura do produto, quando desejado, e em tempo hábil, o mesmo para condições de vácuo ou elevação da pressão no interior do tanque. Todo o projeto deve ser idealizado levando em conta qualquer fragilização proveniente de um processo de solda, o acabamento ideal deve ser garantido e a instrumentação deve ser devidamente instalada. Não obstante o engenheiro, após idealização, dimensionamento e finalização de todos os desenhos técnicos a serem passados para a fabricação, deve acompanhar a confecção do Tanque do Início ao fim, muitas vezes participando do deslocamento do equipamento até o local de funcionamento, treinamento e manutenção do operador.

1.3 Objetivos do trabalho

Em um projeto de reator é importante saber qual a capacidade requerida e tipo de reator a ser empregado para o processo em questão, que na indústria provém da necessidade imposta pelo produto do cliente. Todos os projetos aqui analisados seguem as Normas Regulamentadoras de número 12 e 13, além da ASME VIII, divisão 1 focando em dimensionamento, classificação e descrição dos tanques e seus componentes diversos.

O objetivo desse trabalho é acompanhar o processo de idealização, dimensionamento, planejamento, projeto, confecção e testes de Tanques Reatores, desenvolvidos pela empresa onde o graduando estagiou e trabalha, enquanto o mesmo participa do desenvolvimento e acompanha cada uma das etapas acima descritas, elucidando cada uma delas de forma a explicar o processo como um todo, focando no papel do engenheiro mecânico na produção de tal equipamento.

Para tal primeiro devemos analisar a demanda do cliente que contratou a empresa responsável pela confecção do tanque, por isso iremos acompanhar 4 tanques distintos produzidos no ano de 2023 e acompanhados durante todo processo de sua confecção pelo graduando, sendo esses:

Tanque Misturador IRS-TT-3000 INOX 316

Destinado para produtos químicos líquidos do tipo saneantes, por mistura à frio.

Com capacidade de 3000 litros, sistema de agitação central do tipo âncora, sistema de agitação inferior do tipo turbo, não pressurizado e com tampos superior e inferior do tipo torisférico.

Tanque Misturador IRS-TT-5000 INOX 304

Destinado para produtos biológicos líquidos, do tipo calda fermentada de bactérias e fungos, à frio.

Com capacidade de 5000 litros, sistema de agitação centro do tipo Impelidor de alta eficiência e impelidor do tipo Smith, pressurizado até uma pressão máxima de 0,7 bar e com tampos superior e inferior do tipo torisférico.

Tanque Reator IRR-CC-50 INOX 316

Destinado a produtos do tipo cosméticos, por mistura com aquecimento.

Com capacidade de 50 litros, sistema de agitação central do tipo âncora, sistema de agitação inferior do tipo turbo, com camisa externa para aquecimento, tampo superior toricônico com fechamento por manípulos e tampo inferior toricônico.

Tanque Reator IRL-TT-500 INX 316

Destinado a produtos líquidos não classificados.

Com capacidade de 500 litros, sistema de agitação central do tipo âncora, sistema de agitação descentralizado do tipo Disco de Cowles e sistema de agitação inferior do tipo turbo, com camisa intermediária para aquecimento e jaqueta externa com isolamento térmico, tampo superior do tipo torisferico, tampo inferior do tipo torisferico e tampo da jaqueta do tipo cônico.

I - Primeira Sigla da marca da Empresa fabricante;

R - Segunda Sigla Reator;

S - Terceira Sigla Tanque simples, sem camisa;

R - Terceira sigla Tanque com Resistência por Imersão;

L- Terceira sigla Tanque Encamisado com Half-Pipe e Resistência por Imersão;

TT - Tamos superior e inferior, respectivamente, torisféricos;

CC - Tamos superior e inferior, respectivamente, cônicos;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Após vivenciar o trabalho diário de um engenheiro mecânico de uma fábrica de biorreatores e tanques misturadores, e passar pelos questionamentos teóricos e práticos que surgiram à medida que o graduando acompanhava diversos projetos distintos, se tornou clara a importância de se entender toda a metodologia por trás cada decisão e atitude tomada pelos profissionais envolvidos e de organizar de forma metódica e clara dos passos que envolvem o projeto de um tanque misturador. Mas para que seja possível compreender com detalhes cada decisão tomada na confecção dos quatro equipamento aqui analisados, no que diz respeito ao papel do engenheiro mecânico, se faz necessária um pesado aporte teórico.

2.1 Número de Reynolds

Em sua tese, Geovani Dal Molin define **número de Reynolds** como uma grandeza adimensional usada em mecânica dos fluidos para caracterizar o regime de escoamento em um determinado fluido, através da relação entre as forças inerciais e as forças viscosas, sendo calculado através da fórmula:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} \quad (1)$$

Onde:

- Re = número de Reynolds;
- ρ = densidade do fluido(kg/m^3);
- V = velocidade do fluido(m/s);
- L = comprimento característico(m);
- μ = viscosidade dinâmica do fluido(Pa.s);

O número de Reynolds é importante para determinar se o escoamento de um fluido será laminar (baixo número de Reynolds) ou turbulento (alto número de Reynolds). No que diz respeito a agitadores, o número de Reynolds pode ser relevante para analisar o comportamento do fluido dentro dos tanques durante os ensaios e cálculos, conforme as diretrizes da ASME Seção VIII(ALVES, 2023).

2.2 Número de Potência

A potência consumida pelo agitador é função da massa específica e da viscosidade do fluido de trabalho, da rotação pretendida e das variáveis geométricas do tanque e do agitador(FONSECA, 2019).

Nagata (1975) desenvolveu o conceito de número de potência para impelidores, ajustando as constantes empíricas e variáveis pertinentes para a potência consumida pelo impelidor, afim de simplificar os cálculos definindo número de potência como um valor adimensional representando o efeito do atrito em decorrência do nível de agitação do fluido.

$$N_{Po} = \frac{P_0}{N^3 D_a^5 \rho} \quad (2)$$

ρ = Massa específica do fluido(kg/m³);

P0 = Potência consumida(kw);

N = Rotação do Impelidor (RPM);

Da = 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.

2.3 Componentes de um Tanque Reator

Telles, 2007 diz que as características que definem um vaso de pressão são o comprimento entre tangente e o diâmetro interno. Para o estudo em questão vamos tratar de vasos cilíndricos verticais, já que os mesmo estão entre o mais baratos de serem fabricados e facilitam o escoamento do fluido para saída do produto, 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, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Representação Tanque Reator Cilíndrico Vertical com diâmetro interno e cotas principais.

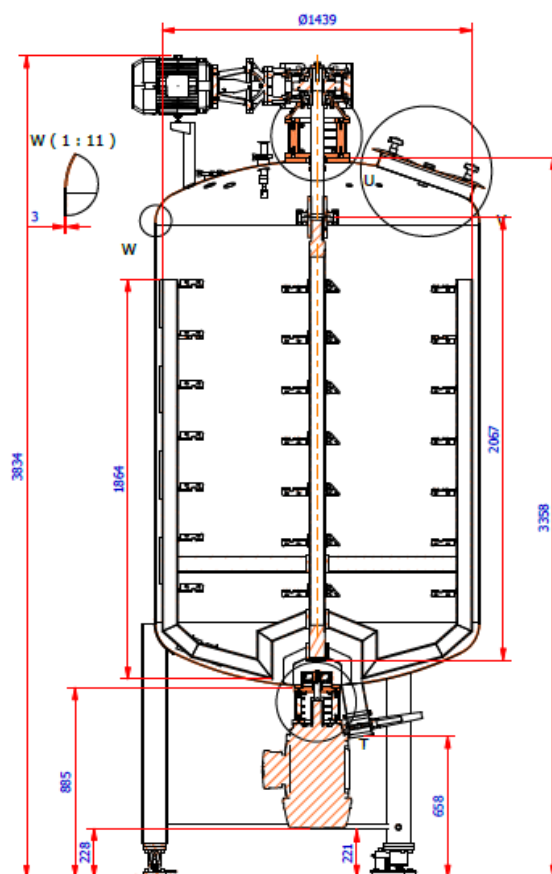
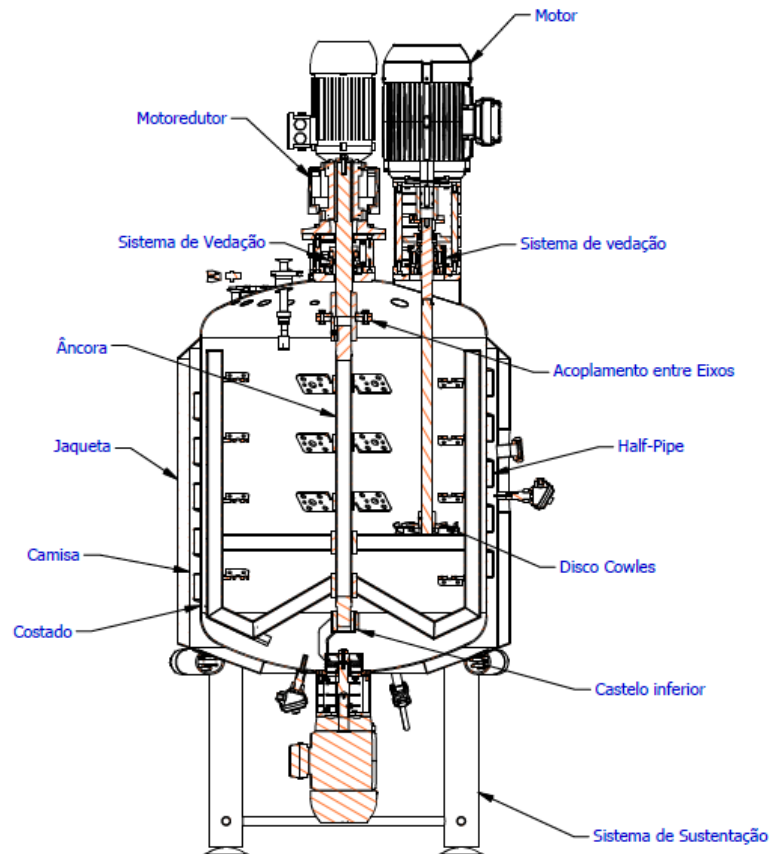


Figura 2 - Representação Tanque Reator com 3 Agitadores e utilidades

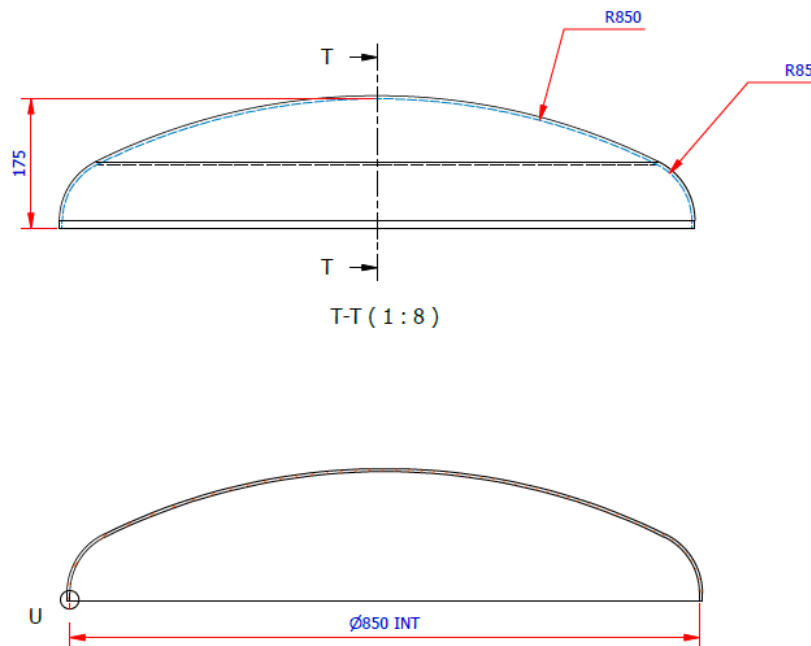


2.3.1 Tampos

Telles 2007, define os tampos como os fechamentos dos cascos cilíndricos dos vasos de pressão, os mesmos usualmente são esféricos, elípticos, hemisféricos, toriesféricos, cônicos ou planos, O trabalho aqui analisado usa tampos do tipo Torisférico e Cônicos.

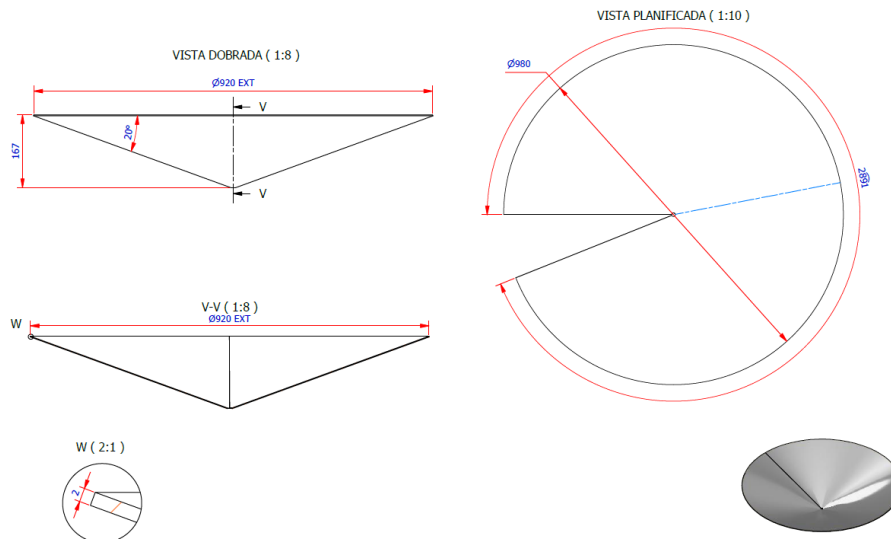
Os tampos toriesféricos consistem em uma calota central em formato esférico de raio definido, seguido de uma seção toroidal de concordância, também com raio definido, conforme ilustra a Figura 3. Este tampo tem seu processo de fabricação muito mais simples do que os elípticos e são indicados para tanques que vão trabalhar com uma pressão diferente da atmosférica. A norma ASME exige que os tampos toriesféricos tenham o raio da seção toroidal com no mínimo 6% do diâmetro de sua parte esférica ou 3 vezes a espessura da chapa, o que for maior, além disso o raios da parte esférica deve ser no máximo do mesmo tamanho do diâmetro externo da parte cilíndrica do tanque. Todos os tampos toriesféricos aqui analisados seguem a norma ASME 10%, ou seja, o raio da seção toroidal tem seu valor igual a 10% do raios da secção esférica. Os tampos torisféricos também costumam conter uma parte cilíndrica, concordante com o diâmetro da parte cilíndrica do costado, para facilitar a solda com o corpo do tanque

Figura 3- Tampo Torisferico ASME 10%, segundo ASME VIII



Os tampos cônicos são os mais simples e, por esse motivo, os mais fáceis e baratos de serem construídos, mas também são os menos resistentes dentre os tampos usuais. Eles são indicados para utilizações que não exigem elevadas pressões e grandes esforços, e para tanques que lidam com fluidos de alta viscosidade, já que seu formato facilita o escoamento. Para tampos cônicos com semi-ângulo de vértice maior do que 30° , a norma ASME exige uma concordância toroidal do tampo na ligação com o cilindro, todos os tampos cônicos aqui analisados usam um ângulo inferior a 30° , dispensando então tal exigência, assim como mostram as Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Tampo Cônico, Segundo ASME VIII



Os tampos cônicos são comumente fabricados de chapas calandradas com solda na posição longitudinal, garantindo um melhor aproveitamento de chapa.

Figura 5 - Tampo Cônico utilizado no trabalho



2.3.2 Bocas de Visita

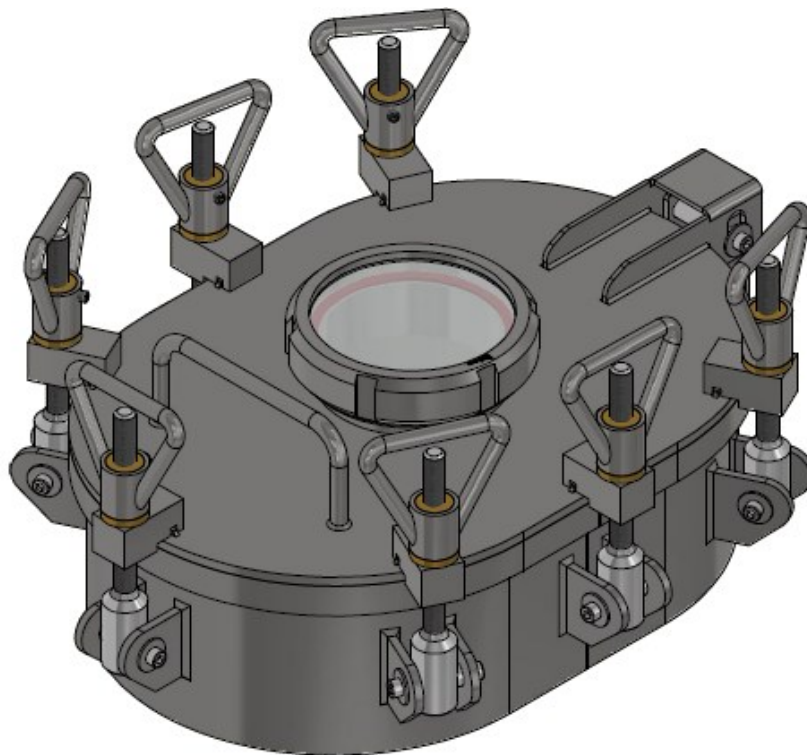
As bocas de visita são aberturas com tampos móveis, para permitir acesso à parte interna dos tanques, com o objetivo de permitir a inspeção, limpeza, montagem ou remoção de peças do interior do corpo do reator.

O código ASME, seção VIII, Divisão 1 define os parâmetros de construção e utilização de tais acessórios, além de também exigir sua presença para vasos de pressão ou que estejam sob possível efeito de oxidação dos componentes internos do tanque. Além disso a norma dita que vasos com diâmetro de 900 mm ou maior devem ter uma boca de acesso com diâmetro mínimo de 6 polegadas (152,4 mm), não obstante, para tanques de até 750 mm de diâmetro interno é permitido que seus tampos superiores sejam flangeados e removíveis, substituindo a necessidade de uma boca de visita, posteriormente será mostrado que em um dos tanques aqui

estudados esse é o caso, devido ao espaço limitado, a Figura 6 mostra a representação de uma Boca de Visita.

A ASME VIII também dita que a boca de visita deve ter no mínimo 400 mm se há a intenção de entrada de pessoas no interior do tanque, sendo mais comum o uso de entradas de 450 mm de diâmetro. Devido ao peso de tais tampos, que geralmente é elevado, é comum que as bocas de visitas sejam semi articuladas, conforme mostra a Figura 2.

Figura 6 - Boca de Visita com visor, vedação e manípulo de aperto, segundo ASME VIII para vasos de pressão.

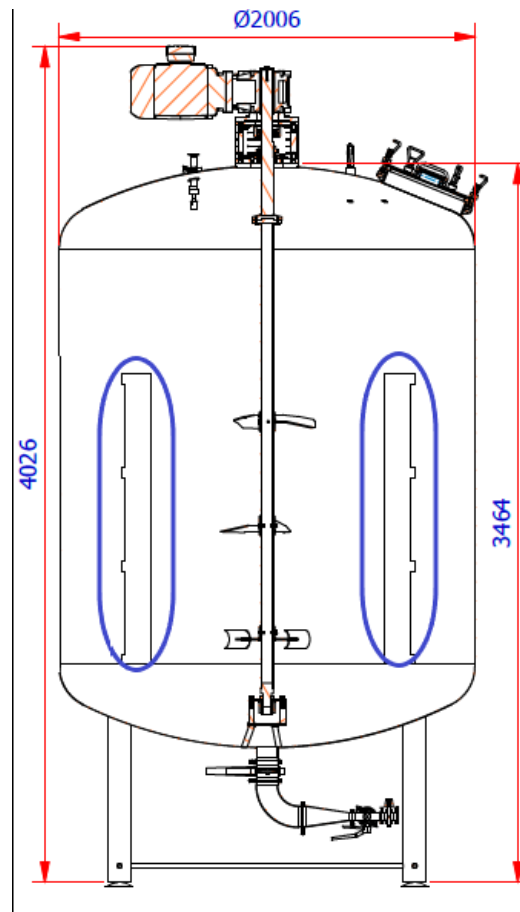


2.3.3 Chicanas

Normalmente, um tanque de mistura é equipado com chicanas, que são chapas metálicas montadas nas paredes do tanque. Essas chicanas promovem um distúrbio ou redistribuem o fluxo do fluido, evitando a formação de vórtices. Isso pois tanques sem chicanas podem apresentar uma formação recorrente de vórtices centrais, o que pode interferir na eficiência da mistura/agitação necessária no fluido.

Joaquin Junior, 2015 define que as chicanas são chapas dispostas de forma simétrica no interior do reator, conforme mostra a Figura 7, com largura de 10% em relação ao diâmetro do tanque, podendo chegar a 5% para altas concentrações de sólidos. Tem influência na suspensão de sólidos para direcionar o fluxo verticalmente, impedindo o acúmulo causado pelo vórtex. Comumente usa-se quatro chicanas, seu efeito primário é maximizar a transferência de potência para o fluido e minimiza a “rotação sólida”.

Figura 7 - Representação e posicionamento das Chicanas



2.4 Normas Regulamentadoras

2.4.1 Norma Regulamentadora NR-12

A Norma Regulamentadora de número 12, NR-12, define as referências técnicas e princípios fundamentais, além da proteção e garantia da saúde física dos trabalhadores, ditando os requisitos mínimos para a prevenção contra acidentes. Seu emprego na confecção de maquinário é obrigatório para qualquer equipamento que se enquadre em seu escopo, e todos os tanques aqui analisados foram fabricados respeitando essa norma. Todos os dispositivos elétricos e eletrônicos instalados recebem proteção contra possíveis choques e curtos além de serem blindados para evitar possível contato com o produto a ser formulado, a norma também rege a adequação do quadro de comando elétrico, porém esse trabalho não tem foco nos componentes eletrônicos dos equipamentos. Todos os reatores aqui analisados foram fabricados sob os requisitos para a segurança de todos aqueles que participaram da confecção, além de conterem dispositivos de segurança como sensor de abertura na boca de visita, que desliga o equipamento se o mesmo for aberto enquanto em funcionamento, além de botão de parada de emergência.

2.4.2 Norma Regulamentadora NR-13

A Norma Regulamentadora de número 13, NR-13, diz respeito à caldeiras e a vasos de pressão cujo o produto PV é igual ou maior do que 8, sendo P a pressão máxima em kPa(manométrica), em módulo, e V o volume interno, para tal então vamos definir o que a NR entende por caldeira. Caldeira a vapor é qualquer recipiente estanque construído com o objetivo de produzir ou armazenar vapor, a uma pressão maior do que a atmosférica, independente da fonte de energia utilizada. A norma também engloba equipamentos que chama de vasos de pressão, sendo esses recipientes estanques, de qualquer tipo, que contêm qualquer tipo de fluido a uma pressão interna ou externa diferente da atmosférica. Qualquer reator não atmosférico deve conter válvula de segurança além de um instrumento que indique a pressão de operação, como um manômetro.


Segundo Alves, 2023, na Norma Regulamentadora número 13 (NR-13) estabelece critérios técnicos para a instalação, operação, inspeção e manutenção de vasos de pressão, caldeiras a vapor e suas tubulações de interligação. Ela define requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural desses equipamentos, visando garantir a segurança operacional,

ambiental e a proteção dos trabalhadores e da sociedade civil. A NR-13 divide-se em quatro áreas de atuação: Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento, cada uma com normas específicas e itens a serem seguidos.

Além disso a norma dita e todos e qualquer equipamento que se enquadra em seu escopo deve conter placa de identificação, como mostra a Figura 8, contendo:

- Fabricante;
- Número de identificação;
- Ano de fabricação;
- PMTA - Pressão Máxima de Trabalho Admissível;
- Pressão de teste hidrostático de fabricação;
- Código de projeto e ano de edição;

Figura 8 - Placa de Identificação, segundo NR-13



GRUPO INNOVAR
É mais que solução. É inovação.

INNOVAR AUTOMATIZAÇÃO IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA

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

| | TANQUE | HALF PIPE | CAMISA |
|-------------------|-----------|-----------|----------|
| MATERIAL | AISI 316L | N/A | AISI 304 |
| ESPES. 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 | LÁ DE ROCHA | QUANTIDADE |
| | | | 2 |
| ESPESSURA | 2 mm | 33 mm | 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 |

2.4.3 Norma ASME VIII

A ASME (American Society of Mechanical Engineers) é uma norma internacional subdividida em 37 seções de ramos específicos, sendo responsável por certificar empresas do ramo industrial desde 1916, garantindo que seus equipamentos respeitem aos requisitos mínimos da norma. 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 1, Eq (3), que diz respeito à pressão máxima do corpo e a equação 4, Eq(4), que indica a pressão máxima nos tampos.

$$P = \frac{S.E.t}{R+0,6.t} \quad (3)$$

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);

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

Sendo:

- L = Raio da Coroa dos Tampos (mm);
- M = coeficiente (L/r);

Para o cálculo da espessura mínima usa-se a seção 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 fórmula (5) deve ser respeitada.

$$P \leq 0,385 * E * S \quad (5)$$

Circunferencial:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad (6)$$

Longitudinal:

$$t = \frac{PR}{2SE + 0,4P} \quad (7)$$

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.

Para os tanques atmosféricos se usam as normas da Petrobras N-0253 e N-0270, que apontam os requisitos necessários para projetos, fabricação, instalação e manutenção de tais tanques em território nacional.

Alves, 2023 explica que a norma ASME Seção VIII é uma das normas mais reconhecidas e utilizadas internacionalmente para a produção de equipamentos de pressão, como vasos de pressão e caldeiras. Ela estabelece os requisitos e diretrizes para o projeto, fabricação, inspeção e teste desses equipamentos, garantindo a segurança e a qualidade dos mesmos. A ASME Seção VIII define critérios para cálculos de pressão máxima de trabalho admissível, espessura mínima dos componentes, materiais a serem utilizados, métodos de soldagem, inspeções e testes não destrutivos, entre outros aspectos. Ao seguir as diretrizes da ASME Seção VIII, os fabricantes de equipamentos de pressão asseguram que seus produtos atendam aos padrões de segurança e desempenho exigidos pela indústria, proporcionando maior confiabilidade e conformidade com as normas internacionais

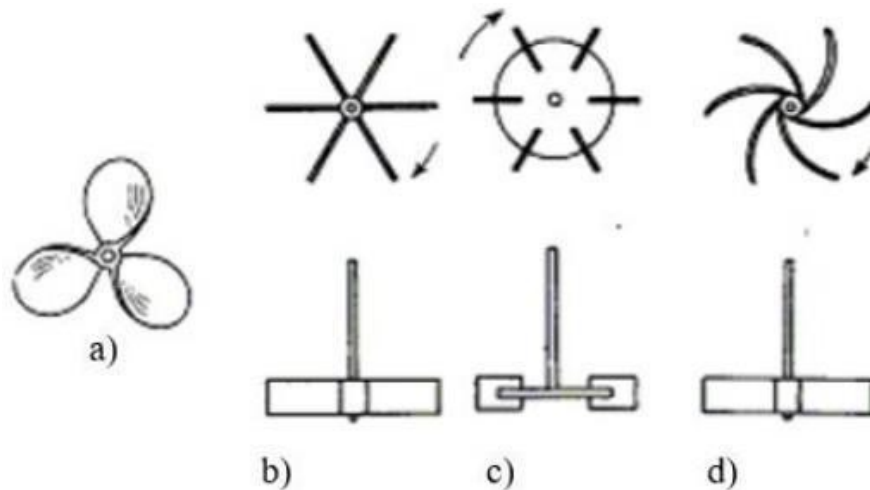
2.5 Agitação e Mistura

Pierini, 2020 define que os principais impelidores utilizados em tanques agitadores industriais são:

1. Propulsor naval: Indicado para fluxo axial e líquidos de baixa viscosidade.
2. Pá: Pode ser de pás retas ou inclinadas, sendo utilizadas para a mistura de líquidos miscíveis.
3. Turbina de disco: Utilizada em processos que necessitam de alta turbulência.

4. Pás curvas: Desenvolvem um fluxo radial e são indicadas para a mistura de líquidos.

Figura 9 - Principais tipo de Impelidores; a) Propulsor Naval; b) Pás Retas; c) Turbina de Disco; d) Pás Curvas (McCabe, 1985);



Esses impelidores tem uma representação na Figura 9, e são escolhidos de acordo com as características do fluido a ser agitado e as necessidades específicas de cada aplicação. Os impelidores principais utilizados em tanques agitadores são escolhidos de acordo com as características do fluido a ser agitado e as necessidades específicas de cada aplicação. O propulsor naval é indicado para fluxo axial e líquidos de baixa viscosidade, enquanto a pá pode ser reta ou inclinada e é utilizada para a mistura de líquidos miscíveis. A turbina de disco é usada em processos que necessitam de alta turbulência, e as pás curvas desenvolvem um fluxo radial, sendo indicadas para a mistura de líquidos.

Pierini, 2020 pontua que diversos processos industriais dependem da agitação e mistura de fluidos. O sistema mais utilizado para promover essa agitação são tanques equipados com impelidores, especialmente em casos que envolvem líquidos de viscosidades baixas e moderadas.

O tanque agitado desempenha dois processos principais: agitação e mistura. A agitação se refere ao movimento induzido de um fluido monofásico por meios mecânicos em um recipiente, enquanto a mistura está associada a fluidos com duas ou mais fases heterogêneas, visando reduzir não uniformidades no composto.

Joaquin Junior, 2015 define agitação sólida como sendo a ocorrência de uma movimentação do fluido como se fosse um corpo sólido, causando uma mistura pobre, assim como demonstra a Figura 10, fenômeno que a presença das chicanas evita de ocorrer.

Figura 10 - Representação da formação de vortex (Baseado em Silva, 2002)



Os impelidores utilizados são classificados de acordo com o regime de mistura, podendo ser laminar, turbulento ou transicional. A escolha do impelidor adequado depende do regime de mistura determinado, o que permite dimensionar as características do tanque conforme as necessidades do projeto. A literatura fornece extensos dados empíricos de diversos impelidores comerciais e suas faixas ótimas de utilização, a Figura 11 mostra os tipos de impelidores mais indicados para cada faixa viscosidade, enquanto a Figura 12 mostra um gráfico que relaciona a viscosidade com o volume do tanque e as faixas indicadas de velocidade de rotação para cada impelidor.

Figura 11 - Gráfico dos tipos mais usados de impelidores e faixa de aplicação pela viscosidade. (Adaptado de Martinez, 2016).

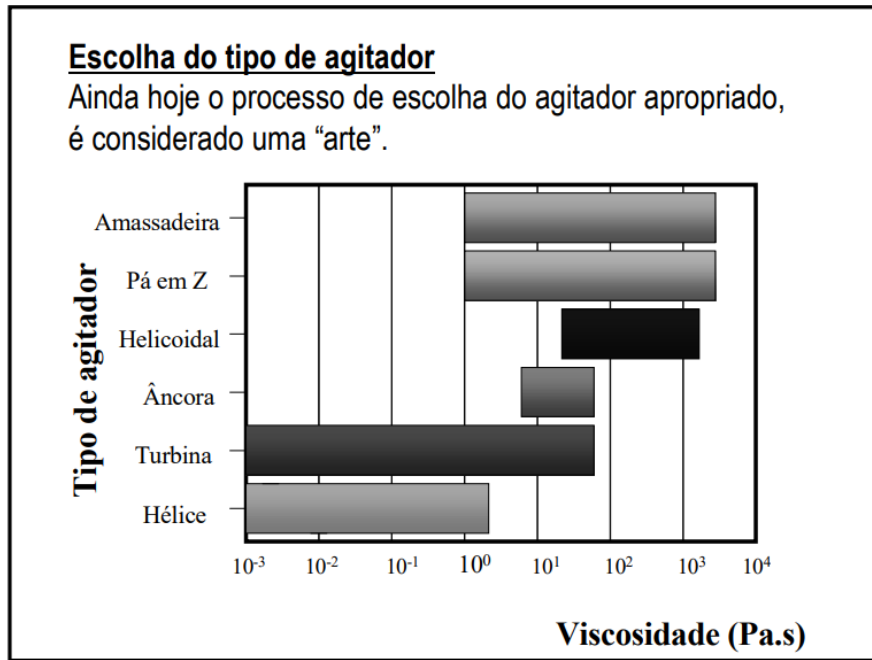
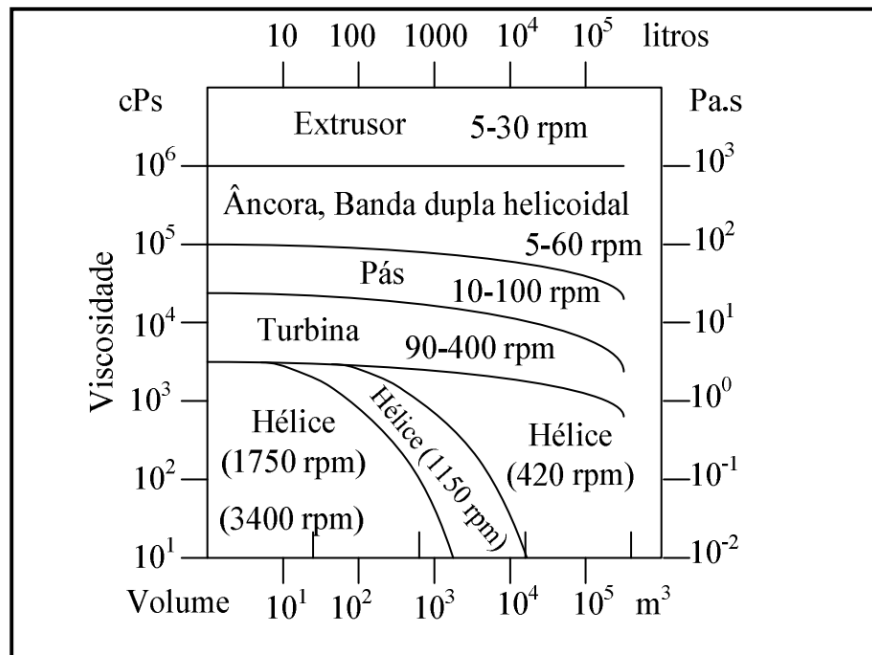


Figura 12 - Gráfico da viscosidade pelo volume útil do tanque, com as regiões de melhor uso de cada impelidor. (Adaptado de Pereira, 2019)



3. DIMENSIONAMENTO DE TANQUES REATORES

O levantamento dos requisitos de processo é fundamental para a escolha dos componentes necessários para cada um dos tanques aqui analisados. Todos os quatro tanques são dotados 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, já que agitadores de geometrias complexas usam métodos de fabricação como sinterização, que não estão ao alcance da fábrica.

Os objetivos dos agitadores são: promover a mistura de líquidos miscíveis ou imiscíveis, acelerar trocas térmicas, promover a incorporação de sólidos em meios líquidos, manter sólidos em suspensão, promover a formação de soluções ou suspensões, catalisar reações químicas e dispersar gases em um meio líquido.

Cada uma dessas aplicações requer diferentes relações dinâmicas entre os agitadores e o meio, fazendo com que diferentes tipos de agitadores sejam mais adequados para uma aplicação ou outra. Em casos em que existe mais de um objetivo mais de um agitador pode ser empregado.

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)

Mccabe & Smith (1967), descrevem que a agitação ocorre quando um fluido está em movimento, inserido em um reator e que a mistura é a organização aleatória de fases separadas no início. Segundo Paul et al. (2003), a agitação se refere ao movimento induzido em um fluido por meios mecânicos em um recipiente. O fluido pode circular no meio reacional ou possuir outro padrão de fluxo. Uma mistura é obtida com duas ou mais etapas, a priori separadas, que são de forma aleatória redistribuídas dentro ou através uma da outra.

Cada componente de um Tanque que é idealizado para operar a uma pressão diferente da atmosférica deve ser dimensionado para o caso mais extremo de temperatura e pressão esperados para sua atuação (ASME UG-21).

3.1. Impelidores

A agitação dentro de um tanque é promovida por elementos de mistura chamados de impelidores, existem diversos tipos e para escolher o mais apropriado deve-se conhecer a necessidade da agitação e as características do agitador, sendo primariamente divididos pelo regime de mistura, podendo ser laminar ou turbulento.

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, é comum também possuírem raspadores, dispensando assim o uso de chicanas.

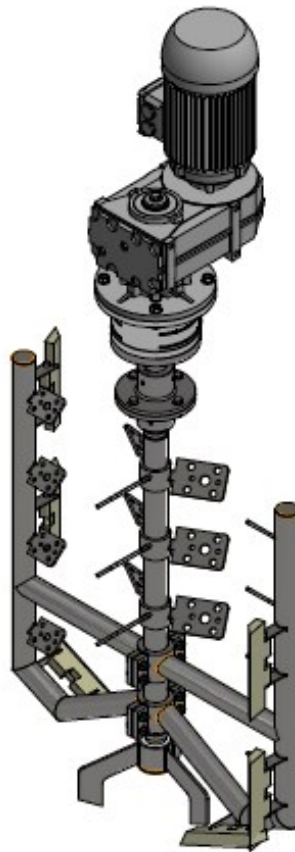
Exigem alto consumo de energia, com baixa movimentação vertical, impulsionando o fluido em movimentos circulares em torno das paredes do tanque, sendo então um impelidor do tipo radial. Sendo indicados para fluidos difíceis de se bombear. De acordo com Ho e Kwong (1973), o impelidor âncora é dotado de raspadores, evitando a aderência ou impregnação do fluido nas paredes do tanque. Para uma maior contribuição de transferência de calor em equipamentos com troca térmica. Removem o fluido quente da parede do tanque para que o fluido frio entre em contato com a superfície aquecida, melhorando as características de transferência de calor do sistema. As Figuras 13 e 14 mostram exemplos de impelidores do tipo Âncora.

Figura 13 - Foto em campo, Impelidor tipo Âncora



O uso do raspador em um sistema de agitação aumenta o consumo de potência devido ao atrito entre a parede do tanque e o raspador. Sendo que este tipo de impelidor é mais eficiente porque a agitação é mais homogênea. O material dos raspadores pode ser de teflon, por ser quimicamente estável e oferecer baixo atrito contra as paredes de tanques de aço.

Figura 14 - Impelidor do Tipo Âncora



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, enquanto os de baixa velocidade tem pás maiores e costumam operar em regime laminar, com baixa taxa de cisalhamento e são mais indicados à fluidos sensíveis, normalmente operam a uma pequena distância das paredes dos reatores, a exemplo dos tipo âncora, já definidos.

Fluxo radial, representado na Figura 15, ocorre quando a descarga do fluxo é paralela ao raio do impelidor e à parede do tanque e é indicado para dispersão de um sólido ou fluido em outro meio fluido, para emulsificação, para quebra de polímeros e redução de partículas, aumenta a taxa de transferência de calor se usado em conjunto com serpentinas de aquecimento.

Figura 15 - Fluxo Radial. (Adaptado de Curso de Agitação e Mistura em Processos Industriais - FATEC)

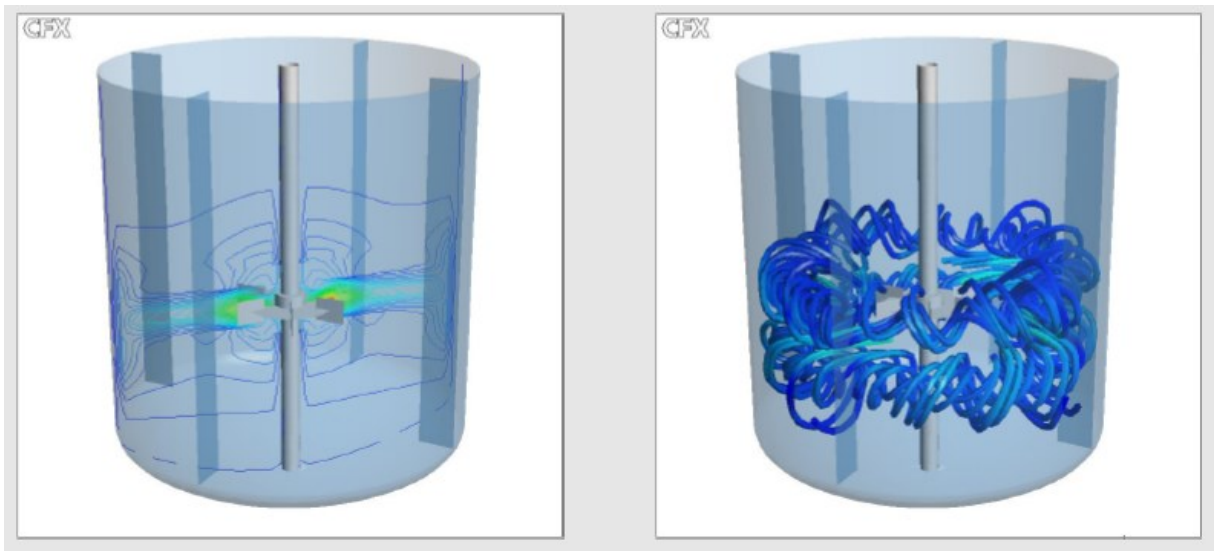
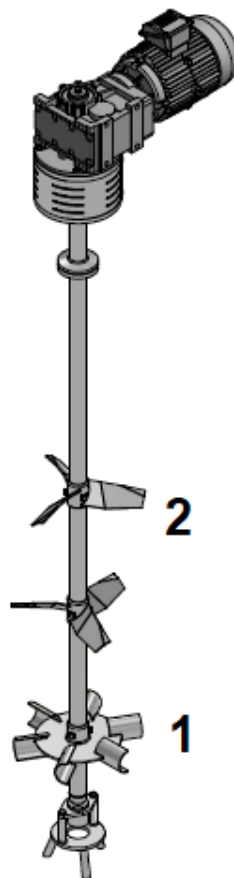


Figura 16 - Sistema de Agitação para Tanque de 5000L aqui estudado. 1 - Impelidor Rushton; 2- Impelidor de Alta Eficiência



Na década de 1980, houveram avanços significativos no desenvolvimento de impelidores destinados à dispersão eficiente de gases. O primeiro modelo concebido por Smith caracterizava-se por apresentar pás côncavas, cuja disposição direcionava o fluxo radialmente, proporcionando uma intensificação do processo de dispersão. As características geométricas empregadas assemelham-se à configuração de uma turbina de pás planas, enquanto o valor do número de potência situava-se na faixa entre 2,5 e 3,2. Destaca-se que o número de potência associado a este tipo de turbina é aproximadamente 50% inferior ao registrado em turbinas de pás planas.

No término da década de 1980, aproximadamente em 1988, foram introduzidas novas configurações de pás, ainda mais eficazes na dispersão de gases. Estas configurações baseiam-se nas pás côncavas, modificando a curvatura destas e introduzindo assimetrias entre a aba inferior e superior.

As turbinas radiais de pás côncavas foram concebidas com o propósito principal de aprimorar a dispersão de gases, visando otimizar a transferência de massa, além de de reduzir o consumo de energia. Por conseguinte, estas turbinas demonstram uma menor sensibilidade à injeção de gases em comparação às turbinas Rushton. As pás destas turbinas atualmente adotam a configuração de meio-tubo, conforme ilustrado na Figura 16.

Devido à sua utilização em regimes turbulentos, onde o número de potência permanece constante, não é necessário empregar uma correlação entre o número de potência e o número de Reynolds. Vale ressaltar que, na presença de gás, o consumo de potência pelos impelidores é reduzido. Entretanto, apesar deste menor consumo, estas turbinas devem ser dimensionadas com base na potência máxima, uma vez que, em determinadas etapas do processo, pode não ocorrer a injeção de gás no sistema.

O impelidor de alta eficiência foi concebido com o objetivo de alcançar uma maior eficácia em comparação ao impelidor de quatro pás retas inclinadas a 45°, empregando uma geometria simplificada. Ele consiste em quatro ou três pás retas inclinadas e deslocadas em 120°, compartilhando as mesmas características e aplicações do impelidor com quatro pás retas inclinadas a 45°. A vantagem reside na geometria das pás de alta eficiência, que minimiza a formação de vórtices atrás das mesmas, o mesmo pode ser visto da Figura 16.

Este tipo de impelidor é comumente utilizado em condições nas quais o número de Reynolds é superior a 100, especialmente em processos envolvendo misturas de líquidos miscíveis, suspensão de sólidos e transferência de calor. Esta faixa abrange tanto a transição entre os regimes de fluxo quanto o fluxo turbulento completo.

Apesar da sua alta eficiência em termos de potência e capacidade de bombeamento, este impelidor pode não ser adequado para aplicações que requerem altos níveis de turbulência, como agitação de líquidos imiscíveis, dissolução de gases e incorporação de sólidos leves.

Como resultado, para a mesma potência, o impelidor proporciona uma agitação mais vigorosa, resultando em uma redução no tempo necessário para o processamento do produto. Se a intensidade da agitação for mantida constante, a demanda de potência será significativamente reduzida.

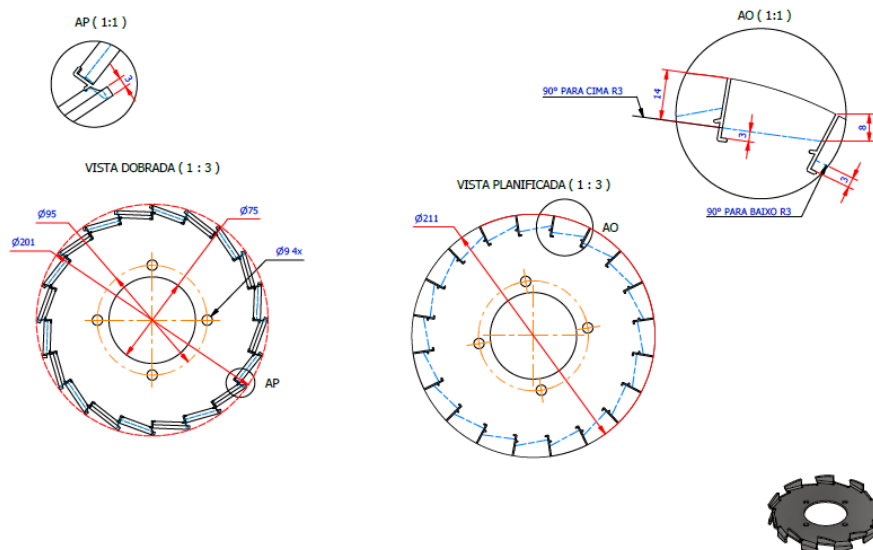
Diversas geometrias de impelidores de alta eficiência foram desenvolvidas e quando adequadamente projetadas, exibem um comportamento semelhante em termos de fluxo e potência.

O impelidor de 3 pás de alta eficiência pode gerar correntes ascendentes ou descendentes, com os mesmos objetivos do impelidor de 4 pás retas. É importante notar que, além da inversão da rotação, a dobra que anteriormente se localizava na parte superior das pás é deslocada para a borda inferior. Como resultado, um impelidor de alta eficiência opera em apenas um sentido de rotação.

O Impelidor do tipo Disco de Cowles, frequentemente referido como dispersor, define-se por um dispositivo composto por discos planos ou discos modificados que operam em altas rotações, promovendo o cisalhamento e a dispersão de partículas sólidas no líquido. Devido à ausência de pás ou, quando presentes, ao seu tamanho reduzido, esses dispersores não são capazes de gerar fluxos volumétricos elevados, porém são eficazes na geração de um intenso cisalhamento. Uma variedade de modelos está disponível, com pequenas variações de acordo com o fabricante.

Os impelidores de alto cisalhamento podem ser categorizados em discos planos, discos modificados, cone modificado e turbinas modificadas. Dentre estes, os discos modificados são amplamente utilizados em equipamentos industriais, pois incorporam "dentes de serra", como ilustrado na Figura 17, os quais combinam uma maior capacidade de bombeamento com a geração de cisalhamento pelo disco.

Figura 17 - Impelidor do tipo Disco de Cowles

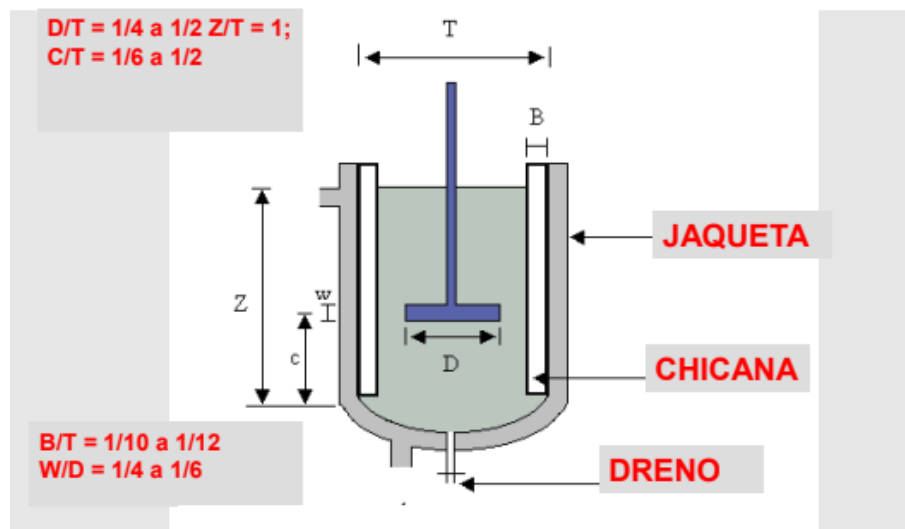


Os dentes não aumentam a capacidade de cisalhamento do impelidor, apenas aumentam a capacidade de bombeamento. Além disso, representa também um considerável aumento no consumo de potência. Devido à alta velocidade de rotação, as pás devem ter dimensões reduzidas para evitar inviabilidade no consumo de potência. Os discos modificados possuem um número de potência em torno de 0,5 para um número de Reynolds da ordem de 10^4 .

O cisalhamento é a capacidade de corte de um impelidor, sendo determinado principalmente pela forma do impelidor. Quanto maiores forem as bordas de ataque das pás do impelidor, menor será sua capacidade de cisalhamento, enquanto formas de ataque menores resultam em maior capacidade de cisalhamento. Em geral, impelidores de fluxo radial são mais agressivos e cisalhantes que os de fluxo axial. A velocidade periférica também influencia o grau de cisalhamento, sendo que maiores velocidades periféricas resultam em maior capacidade de corte. O diâmetro do impelidor e sua rotação também influenciam o grau de cisalhamento do sistema de agitação.

Os dispersores Cowles são amplamente empregados no processamento de tintas, vernizes, emulsões e diversos processos que requerem dispersão de sólidos, como plásticos, resinas, tintas à base de solventes, produtos biológicos e alimentícios, entre outros.

Figura 18 - Representação Tanque agitador; T - diâmetro interno no tanque; B - largura das Chicanas; D - diâmetro do impelidor; Z - altura de líquido no tanque; C - distância do impelidor ao fundo do tanque; w - altura das pás do impelidor. (Adaptado de Curso de Agitação e Mistura em Processos Industriais - FATEC)



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 18.

3.2 Motor Acionador

Segundo Pierini, 2020 um motorreductor é um dispositivo que combina um motor elétrico com um redutor de velocidade. O motor elétrico converte a energia elétrica em energia mecânica, enquanto o redutor de velocidade reduz a velocidade de rotação do motor para um nível adequado para a aplicação desejada.

Na indústria, o motorreductor é amplamente utilizado para acionar equipamentos que requerem diferentes níveis de velocidade e torque. Ele é aplicado em sistemas de transporte, máquinas industriais, esteiras, tanques agitadores, entre outros equipamentos. O moto redutor é essencial para garantir que a energia do motor seja convertida de forma eficiente para atender às necessidades específicas de cada aplicação

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:

$$R_e = \frac{F_i}{F_v} = \frac{\rho \cdot N \cdot D^2}{\mu} \quad (8)$$

ρ = Massa específica do fluido(kg/m^3);

N = Rotação do Impelidor (RPM)

μ = Viscosidade do fluido (Pa.s)

D = Diâmetro do Impelidor (metros)

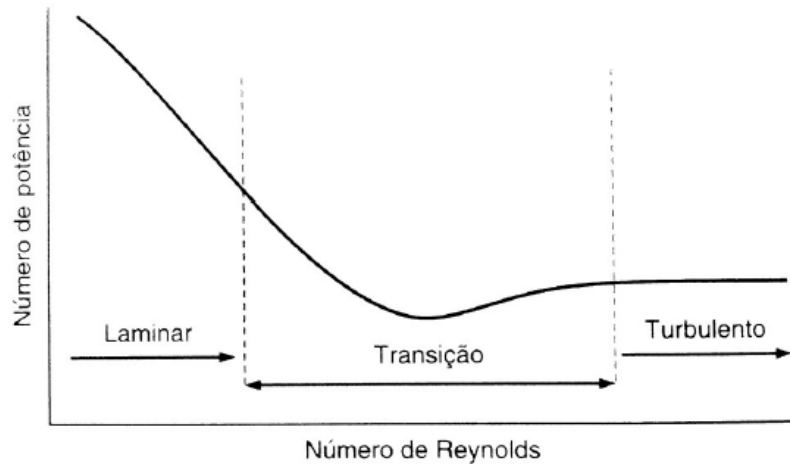
Para valores do Número de Reynolds menores do que 10 configura-se um fluxo laminar, enquanto para valores maiores do que 10^4 se trata de fluxo turbulento, qualquer valor entre os mencionados se trata de um regime de transição. Telles 2007.

Analisando a equação SPOGIS 2002, chega a conclusão de 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 o tipos de escoamento e evidenciando os diferentes casos

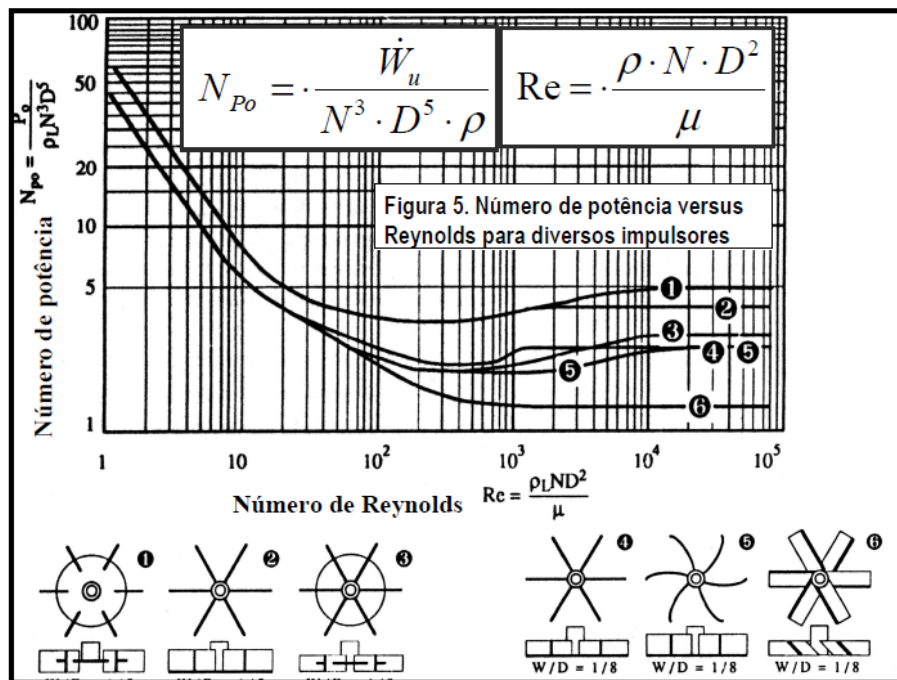
onde há predominância das forças viscosas ou das forças inerciais, como pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Gráfico do Número de Potência pelo Número de Reynolds, representando os tipos de Fluxo, entre Laminar, Turbulento e de transição. (Adaptado de White, 2011).



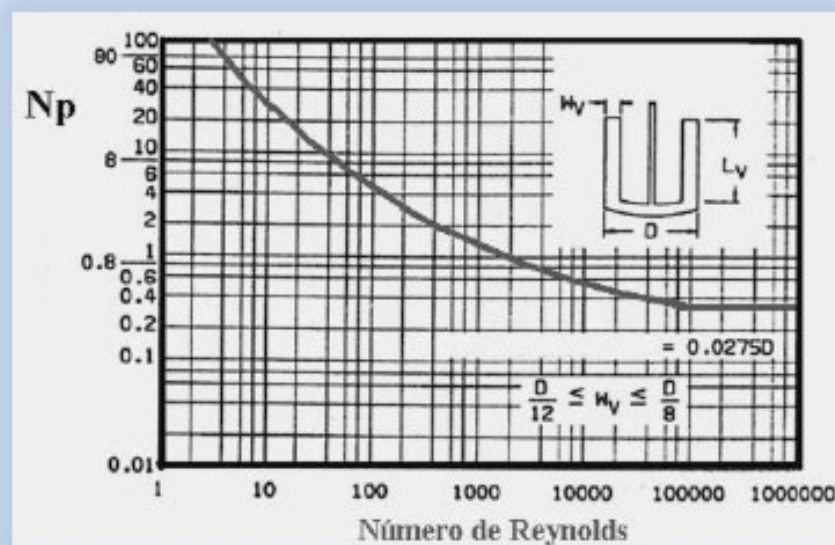
Hemrajani & Tatterson (2003), em estudo sobre o comportamento das curvas experimentais de Rushton et al (1950), configurando o número de potência em função do número de Reynolds para diversos impelidores diferentes, sendo diferenciados entre si pela relação entre os diâmetros do tanque e do impelidor, 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 20.

Figura 20 - Diagrama de Moody para diferentes tipo de impelidores.(Adaptado de Martinez, 2016).



sendo H_p o diâmetro do tanque e D_a o diâmetro do impelidor

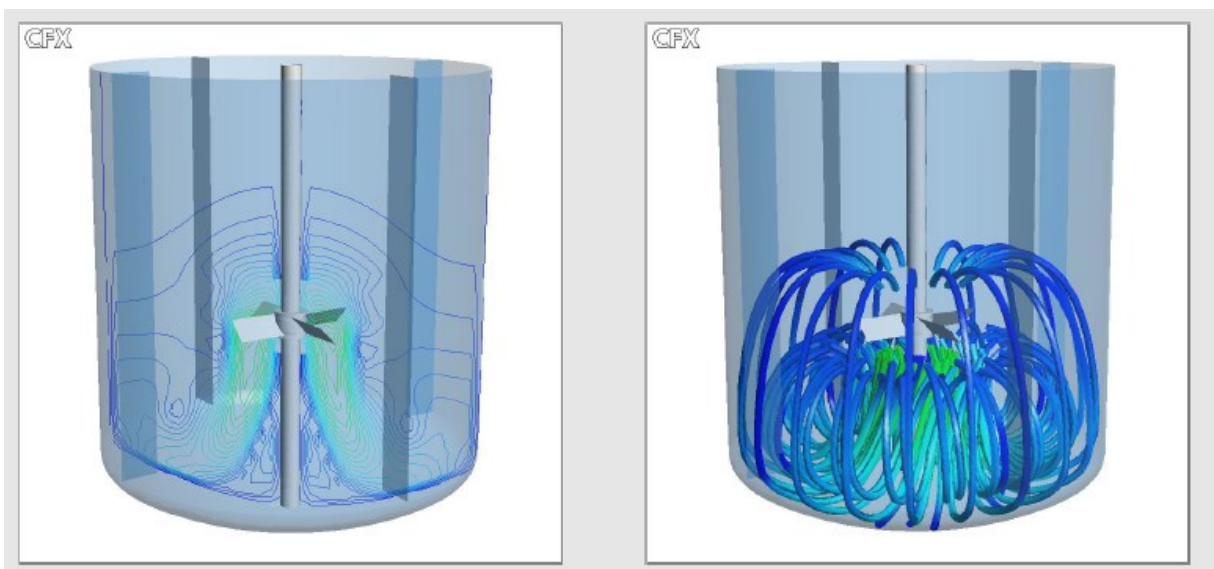
Figura 21 - Diagrama de Moody para Impelidor do tipo Âncora.(Adaptado de Martinez, 2016)



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 21.

O fluxo axial, representado na Figura 22, é a descarga do fluxo paralela ao eixo do agitador, o fluido atinge o fundo do tanque e sobe pela parede até a superfície livre, retornando então ao impelidor. Só gera uma zona de circulação em cada lado do tanque (direito e esquerdo) o que promove uma mistura mais homogênea e diminui o tempo necessário para a mesma. Consome menor potência do que o radial, usado para suspensão ou dissolução de sólidos, transferência de calor, controle de PH e uniformização de concentração e temperatura.

Figura 22 - Fluxo Axial. (Adaptado de Curso de Agitação e Mistura em Processos Industriais - FATEC)



Já o fluxo tangencial gera menor taxa de mistura, devido ao baixo gradiente de velocidade, eficientes para transferência de calor, para fluidos de alta viscosidade e para dispersão de partículas com alta tensão superficial. Comumente são usado em conjunto com impelidores de pás retas ou curvas.

O tipo de fluxo define como boa mistura “top to bottom”, quando se necessita de altas velocidade mas com baixa taxa de cisalhamento, já que cisalhar o fluido constantemente pode causar a emulsificação.

O tipo de tampo, tanto superior quanto inferior, está intimamente ligado ao tipo de agitador usado e vice-versa, além é claro da pressão e temperaturas sob as quais o reator estará operando. A resistência de tais tampos depende, além do material, também da geometria escolhida. Já se tratando do tampo inferior o mesmo tem direta influência no fluxo do fluido no interior do vaso, além de influenciar também no escoamento.

Seguindo então a fórmula do número de potência N_p podemos isolar a potência consumida e, dessa forma, obter o valor necessário em Watts para o acionamento e funcionamento do agitador projetado.

$$P_{\square} = n_a \cdot \rho \cdot N_p \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (9)$$

P = potência consumida (w);

n_a = número de impelidores no agitador;

ρ = Massa específica do fluido (kg/m^3);

N = Rotação do Impelidor (rotações por segundo)

N_p = Número de potência;

D = Diâmetro do Impelidor (metros)

3.3 Seleção de materiais

O aço carbono é o material mais amplamente empregado na fabricação de tanques e vasos de pressão, devido a sua elevada resistência, boa conformabilidade e baixo custo, além do fato de que a indústria hoje é amplamente equipada com a produção constante de aço carbono, tornando ainda mais vantajoso seu emprego. Porém em alguns casos seu emprego não é recomendado, para os casos aqui analisados o aço carbono não atende aos requisitos sanitários, já que existe um risco de oxidação provinda do contato do aço com o fluido de trabalho. Os tanques aqui analisados são todos construídos em aço inox 304, ou aço inox 316, devido a sua alta resistência à corrosão, a tração e viabilidade financeira.

Figura 23 - Tabela para aço inox 304, segundo API 650 (Americam Petroleum Institute) para projeto, construção e inspeção para tanques atmosféricos

| TABLE 1 Chemical Composition Requirements, % ^A | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|---------------------|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|--|
| UNS Designation ^B | Type ^C | Carbon ^D | Manganese | Phosphorus | Sulfur | Silicon | Chromium | Nickel | Molybdenum | Nitrogen | Copper | Other Elements ^{E,F} |
| Austenitic (Chromium-Nickel) (Chromium-Manganese-Nickel) | | | | | | | | | | | | |
| S30435 | ... | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 16,0-18,0 | 7,0-9,0 | ... | ... | 1,50-3,00 | ... |
| N08020 | ... | 0,07 | 2,00 | 0,045 | 0,035 | 1,00 | 19,0-21,0 | 32,0-38,0 | 2,00-3,00 | ... | 3,00-4,00 | Cb 8×C min, 1,00 max |
| N08367 | ... | 0,030 | 2,00 | 0,040 | 0,030 | 1,00 | 20,0-22,0 | 23,5-25,5 | 6,0-7,0 | 0,18-0,25 | 0,75 | ... |
| N08700 | ... | 0,04 | 2,00 | 0,040 | 0,030 | 1,00 | 19,0-23,0 | 24,0-26,0 | 4,3-5,0 | ... | 0,50 | Cb 8×C min 0,40 max |
| N08800 | 800 ^G | 0,10 | 1,50 | 0,045 | 0,015 | 1,00 | 19,0-23,0 | 30,0-35,0 | ... | ... | 0,75 | Fe ^H 39,5 min Al 0,15-0,60 Ti 0,15-0,60 |
| N08810 | 800H ^G | 0,05-0,10 | 1,50 | 0,045 | 0,015 | 1,00 | 19,0-23,0 | 30,0-35,0 | ... | ... | 0,75 | Fe ^H 39,5 min Al 0,15-0,60 Ti 0,15-0,60 |
| N08811 | ... | 0,06-0,10 | 1,50 | 0,040 | 0,015 | 1,00 | 19,0-23,0 | 30,0-35,0 | ... | ... | 0,75 | Fe ^H 39,5 min Ti ^I 0,15-0,60 Al ^I 0,15-0,60 |
| N08904 | 904L ^G | 0,020 | 2,00 | 0,045 | 0,035 | 1,00 | 19,0-23,0 | 23,0-28,0 | 4,00-6,00 | 0,10 | 1,00-2,00 | ... |
| N08926 | ... | 0,020 | 2,00 | 0,030 | 0,010 | 0,50 | 19,0-21,0 | 24,0-26,0 | 6,00-7,00 | 0,15-0,25 | 0,50-1,50 | ... |
| S20100 | 201 | 0,15 | 5,50-7,50 | 0,060 | 0,030 | 1,00 | 16,0-18,0 | 3,5-6,5 | ... | 0,25 | ... | ... |
| S20103 | ... | 0,03 | 5,50-7,50 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0-18,0 | 3,5-6,5 | ... | 0,25 | ... | ... |
| S20153 | ... | 0,03 | 6,40-7,50 | 0,045 | 0,015 | 0,75 | 16,0-17,5 | 4,0-6,0 | ... | 0,10-0,25 | 1,00 | ... |
| S20161 | ... | 0,15 | 4,00-6,00 | 0,040 | 0,040 | 3,00-4,00 | 15,0-18,0 | 4,0-6,0 | ... | 0,08-0,20 | ... | ... |
| S20200 | 202 | 0,15 | 7,50-10,00 | 0,060 | 0,030 | 1,00 | 17,0-19,0 | 4,0-6,0 | ... | 0,25 | ... | ... |
| S20400 | ... | 0,030 | 7,00-9,00 | 0,040 | 0,030 | 1,00 | 15,0-17,0 | 1,50-3,00 | ... | 0,15-0,30 | ... | ... |
| S20431 | ... | 0,12 | 5,00-7,00 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 17,0-18,0 | 2,0-4,0 | ... | 0,10-0,25 | 1,50-3,50 | ... |
| S20432 | ... | 0,08 | 3,00-5,00 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 17,0-18,0 | 4,0-6,0 | ... | 0,05-0,20 | 2,00-3,00 | ... |
| S20433 | ... | 0,08 | 5,50-7,50 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 17,0-18,0 | 3,5-6,5 | ... | 0,10-0,25 | 1,50-3,50 | ... |
| S20910 | XM-19 ^J | 0,06 | 4,00-6,00 | 0,040 | 0,030 | 0,75 | 20,5-23,5 | 11,5-13,5 | 1,50-3,00 | 0,20-0,40 | ... | Cb 0,10-0,30 V 0,10-0,30 |
| S21400 | XM-31 ^J | 0,12 | 14,00-16,00 | 0,045 | 0,030 | 0,30-1,00 | 17,0-18,5 | 1,00 | ... | 0,35 min | ... | ... |
| S21600 | XM-17 ^J | 0,08 | 7,50-9,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,5-22,0 | 5,0-7,0 | 2,00-3,00 | 0,25-0,50 | ... | ... |
| S21603 | XM-18 ^J | 0,03 | 7,50-9,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,5-22,0 | 5,0-7,0 | 2,00-3,00 | 0,25-0,50 | ... | ... |
| S21640 | ... | 0,08 | 3,50-6,50 | 0,060 | 0,030 | 1,00 | 17,5-19,5 | 4,0-6,5 | 0,50-2,00 | 0,08-0,30 | ... | Cb 0,10-1,00 |
| S21800 | ... | 0,10 | 7,00-9,00 | 0,060 | 0,030 | 3,5-4,5 | 16,0-18,0 | 8,0-9,0 | ... | 0,09-0,18 | ... | ... |
| S21904 | XM-11 ^J | 0,04 | 8,00-10,00 | 0,060 | 0,030 | 0,75 | 19,0-21,5 | 5,5-7,5 | ... | 0,15-0,40 | ... | ... |
| S24000 | XM-29 ^J | 0,08 | 11,50-14,50 | 0,060 | 0,030 | 0,75 | 17,0-19,0 | 2,3-3,7 | ... | 0,20-0,40 | ... | ... |
| S30100 | 301 | 0,15 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 16,0-18,0 | 6,0-8,0 | ... | 0,10 | ... | ... |
| S30103 | 301L ^G | 0,03 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 16,0-18,0 | 6,0-8,0 | ... | 0,20 | ... | ... |
| S30153 | 301LN ^G | 0,03 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 1,00 | 16,0-18,0 | 6,0-8,0 | ... | 0,07-0,20 | ... | ... |
| S30200 | 302 | 0,15 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,0-19,0 | 8,0-10,0 | ... | 0,10 | ... | ... |
| S30400 | 304 | 0,07 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,5-19,5 | 8,0-10,5 | ... | 0,10 | ... | ... |
| S30403 | 304L | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,5-19,5 | 8,0-12,0 | ... | 0,10 | ... | ... |
| S30409 | 304H | 0,04-0,10 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0-20,0 | 8,0-10,5 | ... | ... | ... | ... |
| S30415 | ... | 0,04-0,06 | 0,80 | 0,045 | 0,030 | 1,00-2,00 | 18,0-19,0 | 9,0-10,0 | ... | 0,12-0,18 | ... | Ce 0,03-0,08 |
| S30451 | 304N | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0-20,0 | 8,0-10,5 | ... | 0,10-0,16 | ... | ... |
| S30452 | XM-21 ^J | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0-20,0 | 8,0-10,5 | ... | 0,16-0,30 | ... | ... |
| S30453 | 304LN | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0-20,0 | 8,0-12,0 | ... | 0,10-0,16 | ... | ... |
| S30500 | 305 | 0,12 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,0-19,0 | 10,5-13,0 | ... | ... | ... | ... |
| S30530 | ... | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,50-2,50 | 17,0-20,5 | 8,5-11,5 | 0,75-1,50 | ... | 0,75-3,50 | ... |
| S30600 | ... | 0,018 | 2,00 | 0,020 | 0,020 | 3,7-4,3 | 17,0-18,5 | 14,0-15,5 | 0,20 | ... | 0,50 | ... |
| S30601 | ... | 0,015 | 0,50-0,80 | 0,030 | 0,013 | 5,0-6,6 | 17,0-18,0 | 17,0-18,0 | 0,20 | 0,05 | 0,35 | ... |
| S30615 | ... | 0,16-0,24 | 2,00 | 0,030 | 0,030 | 3,2-4,0 | 17,0-19,5 | 13,5-16,0 | ... | ... | ... | Al 0,80-1,50 |
| S30815 | ... | 0,05-0,10 | 0,80 | 0,040 | 0,030 | 1,40-2,00 | 20,0-22,0 | 10,0-12,0 | ... | 0,14-0,20 | ... | Ce 0,03-0,08 |

A240/A240M - 11

O aço inox 304, com suas principais propriedades descritas pelas Figuras 23 e 24, 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.

Figura 24 - Tabela para aço inox 304, segundo API 650 (American Petroleum Institute) para projeto, construção e inspeção para tanques atmosféricos

TABLE 2 Mechanical Test Requirements

| UNS Designation | Type ^A | Tensile Strength, min | | Yield Strength, ^B min | | Elongation in 2 in. or 50 mm, min, % | Hardness, max ^C | | Cold Bend ^D | |
|--|--------------------|-----------------------|-----|----------------------------------|------------------|--------------------------------------|----------------------------|-----------------|------------------------|--|
| | | ksi | MPa | ksi | MPa | | Brinell | Rockwell B | | |
| Austenitic (Chromium-Nickel) (Chromium-Manganese-Nickel) | | | | | | | | | | |
| S30435 | ... | 65 | 450 | 23 | 155 | 45 | 187 | 90 | ... | |
| N08020 | ... | 80 | 550 | 35 | 240 | 30 ^E | 217 | 95 | not required | |
| N08367 | ... | 100 | 690 | 45 | 310 | 30 | ... | 100 | not required | |
| Sheet and Strip | | 95 | 655 | 45 | 310 | 30 | 241 | ... | not required | |
| Plate | | 80 | 550 | 35 | 240 | 30 | 192 | 90 | not required | |
| N08700 | ... | 800 ^F | 520 | 30 ^G | 205 ^G | 30 ^H | ... | ... | not required | |
| N08800 | 800 ^F | 65 | 450 | 25 ^G | 170 ^G | 30 | ... | ... | not required | |
| N08810 | 800H ^F | 65 | 450 | 25 | 170 | 30 | ... | ... | not required | |
| N08811 | ... | 71 | 490 | 31 | 220 | 35 | ... | 90 | not required | |
| N08904 | 904L ^F | 94 | 650 | 43 | 295 | 35 | ... | ... | not required | |
| N08926 | ... | 75 | 515 | 38 | 260 | 40 | 217 | 95 | ... | |
| S20100 | 201-1 ^F | 95 | 655 | 45 | 310 | 40 | 241 | 100 | ... | |
| S20100 | 201-2 ^F | 95 | 655 | 38 | 260 | 40 | 217 | 95 | not required | |
| S20103 | 201L ^F | 95 | 655 | 45 | 310 | 45 | 241 | 100 | not required | |
| S20153 | 201LN ^F | 125 | 860 | 50 | 345 | 40 | 255 | 25 ^I | not required | |
| S20161 | ... | 90 | 620 | 38 | 260 | 40 | 241 | ... | ... | |
| S20200 | 202 | 95 | 655 | 48 | 330 | 35 | 241 | 100 | not required | |
| S20400 | ... | 90 | 620 | 45 | 310 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| S20431 | ... | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 201 | 92 | not required | |
| S20432 | ... | 80 | 550 | 35 | 240 | 40 | 217 | 95 | not required | |
| S20433 | ... | 105 | 725 | 60 | 415 | 30 | 241 | 100 | not required | |
| S20910 | XM-19 ^K | 100 | 690 | 55 | 380 | 35 | 241 | 100 | not required | |
| Sheet and Strip | | 100 | 690 | 60 | 415 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| Plate | | 90 | 620 | 50 | 345 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| S21600 | XM-17 ^K | 100 | 690 | 60 | 415 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| Sheet and Strip | | 90 | 620 | 50 | 345 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| Plate | | 95 | 650 | 45 | 310 | 40 | ... | ... | not required | |
| S21603 | XM-18 ^K | 95 | 655 | 50 | 345 | 35 | 241 | 100 | not required | |
| Sheet and Strip | | 100 | 690 | 60 | 415 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| Plate | | 90 | 620 | 50 | 345 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| S21640 | ... | 95 | 650 | 45 | 310 | 40 | ... | ... | not required | |
| S21800 | ... | 95 | 655 | 50 | 345 | 35 | 241 | 100 | not required | |
| S21904 | XM-11 ^K | 100 | 690 | 60 | 415 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| Sheet and Strip | | 90 | 620 | 50 | 345 | 45 | 241 | 100 | not required | |
| Plate | | 100 | 690 | 60 | 415 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| S24000 | XM-29 ^K | 100 | 690 | 55 | 380 | 40 | 241 | 100 | not required | |
| Sheet and Strip | | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required | |
| Plate | | 80 | 550 | 32 | 220 | 45 | 241 | 100 | not required | |
| S30100 | 301 | 80 | 550 | 35 | 240 | 45 | 241 | 100 | not required | |
| S30103 | 301L ^F | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 201 | 92 | not required | |
| S30153 | 301LN ^F | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 201 | 92 | not required | |
| S30200 | 302 | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 201 | 92 | not required | |
| S30400 | 304 | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 201 | 92 | not required | |
| S30403 | 304L | 70 | 485 | 25 | 170 | 40 | 201 | 92 | not required | |

API 650 A240/A240M - 11

Tabela 1 - Propriedades principais dos Aços Inox 304 e 316

| Material | Resistência a Tração(MPa) | Limite de Elasticidade (MPa) | Dureza Brinell | Densidade (g/cm ³) | Ponto de Fusão(°C) |
|----------|---------------------------|------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------|
| Inox 304 | 515 | 205 | 201 | 8 | 1400 |
| Inox 316 | 515 | 205 | 217 | 8 | 1420 |

Tabela 2 - Composição Química, em peso, dos Aços Inox 304 e 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 |

Excelente resistência à corrosão em ambientes marinhos e em presença de agentes corrosivos, tal propriedade é conferida pela adição de cromo(Cr), fazendo com que se forma uma camada apassivadora na superfície do material, impedindo assim a oxidação.

Já se tratando do Aço Inox 316, com suas principais propriedades descritas pelas Figuras 25 e 26, o molibdênio adicionado ao AISI 316 melhora significativamente sua resistência à corrosão em relação ao AISI 304. Essa melhoria torna o AISI 316 uma escolha comum em aplicações em que a resistência à corrosão é crítica, como em equipamentos utilizados na indústria química e em instalações marítimas. Isso ocorre porque o molibdênio aumenta a solubilidade do cromo no aço, além de contribuir para a camada apassivadora. As propriedades do aço inox 316 descritas na tabela 1, enquanto sua composição química, em peso, pode ser vista na tabela 2.

As propriedades dos aços aqui descritas foram adquiridas através da norma API 560 (American Petroleum Institute).

Figura 25 - Tabela 1 para aço inox 316, segundo API 650 (American Petroleum Institute) para projeto, construção e inspeção para tanques atmosféricos

TABLE 1 Continued

| UNS Designation ^d | Type ^c | Carbon ^d | Manganese | Phosphorus | Sulfur | Silicon | Chromium | Nickel | Molybdenum | Nitrogen | Copper | Other Elements ^{e,f} |
|------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------|------------|--------|---------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| S30940 | 309Cb ^d | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 22,0–24,0 | 12,0–16,0 | ... | ... | ... | Cb 10×C min, 1,10 max |
| S30941 | 309HCb ^d | 0,04–0,10 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 22,0–24,0 | 12,0–16,0 | ... | ... | ... | Cb 10×C min, 1,10 max |
| S31008 | 310S | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 1,50 | 24,0–26,0 | 19,0–22,0 | ... | ... | ... | ... |
| S31009 | 310H ^d | 0,04–0,10 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 24,0–26,0 | 19,0–22,0 | ... | ... | ... | ... |
| S31040 | 310Cb ^d | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 1,50 | 24,0–26,0 | 19,0–22,0 | ... | ... | ... | Cb 10×C min, 1,10 max |
| S31041 | 310HCb ^d | 0,04–0,10 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 24,0–26,0 | 19,0–22,0 | ... | ... | ... | Cb 10×C min, 1,10 max |
| S31050 | 310 MoLN ^d | 0,020 | 2,00 | 0,030 | 0,010 | 0,50 | 24,0–26,0 | 20,5–23,5 | 1,60–2,60 | 0,09–0,15 | ... | ... |
| S31060 | ... | 0,05–0,10 | 1,00 | 0,040 | 0,030 | 0,50 | 22,0–24,0 | 10,0–12,5 | ... | 0,18–0,25 | ... | Ce + La 0,025–0,070 B 0,001–0,010 |
| S31254 | ... | 0,020 | 1,00 | 0,030 | 0,010 | 0,80 | 19,5–20,5 | 17,5–18,5 | 6,0–6,5 | 0,18–0,22 | 0,50–1,00 | ... |
| S31266 | ... | 0,030 | 2,00–4,00 | 0,035 | 0,020 | 1,00 | 23,0–25,0 | 21,0–24,0 | 5,2–6,2 | 0,35–0,60 | 1,00–2,50 | W 1,50–2,50 |
| S31277 | ... | 0,020 | 3,00 | 0,030 | 0,010 | 0,50 | 20,5–23,0 | 26,0–28,0 | 6,5–8,0 | 0,30–0,40 | 0,50–1,50 | ... |
| S31600 | 316 | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | 0,10 | ... | ... |
| S31603 | 316L | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | 0,10 | ... | ... |
| S31609 | 316H | 0,04–0,10 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | ... | ... | ... |
| S31635 | 316Ti ^d | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | 0,10 | ... | Ti 5 × (C + N) min, 0,70 max |
| S31640 | 316Cb ^d | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | 0,10 | ... | Cb 10 × C min, 1,10 max |
| S31651 | 316N | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | 0,10–0,16 | ... | ... |
| S31653 | 316LN | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 16,0–18,0 | 10,0–14,0 | 2,00–3,00 | 0,10–0,16 | ... | ... |
| S31700 | 317 | 0,08 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0–20,0 | 11,0–15,0 | 3,0–4,0 | 0,10 | ... | ... |
| S31703 | 317L | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0–20,0 | 11,0–15,0 | 3,0–4,0 | 0,10 | ... | ... |
| S31725 | 317LM ^d | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0–20,0 | 13,5–17,5 | 4,0–5,0 | 0,20 | ... | ... |
| S31726 | 317LMN ^d | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 17,0–20,0 | 13,5–17,5 | 4,0–5,0 | 0,10–0,20 | ... | ... |
| S31727 | ... | 0,030 | 1,00 | 0,030 | 0,030 | 1,00 | 17,5–19,0 | 14,5–16,5 | 3,8–4,5 | 0,15–0,21 | 2,80–4,00 | ... |
| S31753 | 317LN ^d | 0,030 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 0,75 | 18,0–20,0 | 11,0–15,0 | 3,0–4,0 | 0,10–0,22 | ... | ... |
| S32050 | ... | 0,030 | 1,50 | 0,035 | 0,020 | 1,00 | 22,0–24,0 | 20,0–23,0 | 6,0–6,8 | 0,21–0,32 | 0,40 | ... |
| S32053 | ... | 0,030 | 1,00 | 0,030 | 0,010 | 1,00 | 22,0–24,0 | 24,0–26,0 | 5,0–6,0 | 0,17–0,22 | ... | ... |

A240/A240M - 11

Figura 26 - Tabela 2 para aço inox 304, segundo API 650 (American Petroleum Institute) para projeto, construção e inspeção para tanques atmosféricos

TABLE 2 Continued

| UNS Designation | Type ^a | Tensile Strength, min | | Yield Strength, min | | Elongation in 2 in. or 50 mm, min, % | Hardness, max ^c | | Cold Bend ^d |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----|---------------------|-----|--------------------------------------|----------------------------|------------|------------------------|
| | | ksi | MPa | ksi | MPa | | Brinell | Rockwell B | |
| S30500 | 305 | 70 | 485 | 25 | 170 | 40 | 183 | 88 | not required |
| S30530 | ... | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 201 | 92 | not required |
| S30600 | ... | 78 | 540 | 35 | 240 | 40 | ... | ... | not required |
| S30601 | ... | 78 | 540 | 37 | 255 | 30 | ... | ... | not required |
| S30615 | ... | 90 | 620 | 40 | 275 | 35 | 217 | 95 | not required |
| S30815 | ... | 87 | 600 | 45 | 310 | 40 | 217 | 95 | ... |
| S30908 | 309S | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S30909 | 309H ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S30940 | 309Cb ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S30941 | 309HCb ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31008 | 310S | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31009 | 310H ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31040 | 310Cb ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31041 | 310HCb ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31050 | 310 MoLN ^f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | not required |
| | t ≤ 0,25 in. | 84 | 580 | 39 | 270 | 25 | 217 | 95 | not required |
| | t > 0,25 in. | 78 | 540 | 37 | 255 | 25 | 217 | 95 | not required |
| S31060 | ... | 87 | 600 | 41 | 280 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31254 | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | not required |
| | Sheet and Strip | 100 | 690 | 45 | 310 | 35 | 223 | 96 | not required |
| | Plate | 95 | 655 | 45 | 310 | 35 | 223 | 96 | not required |
| S31266 | ... | 109 | 750 | 61 | 420 | 35 | ... | ... | not required |
| S31277 | ... | 112 | 770 | 52 | 360 | 40 | ... | ... | not required |
| S31600 | 316 | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31603 | 316L | 70 | 485 | 25 | 170 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31609 | 316H | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31635 | 316Ti ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31640 | 316Cb ^f | 75 | 515 | 30 | 205 | 30 | 217 | 95 | not required |
| S31651 | 316N | 80 | 550 | 35 | 240 | 35 | 217 | 95 | not required |
| S31653 | 316LN | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |
| S31700 | 317 | 75 | 515 | 30 | 205 | 35 | 217 | 95 | not required |
| S31703 | 317L | 75 | 515 | 30 | 205 | 40 | 217 | 95 | not required |

A240/A240M - 11

4 PARTE EXPERIMENTAL

O primeiro grande fato que influencia o processo é a geometria do tanque, sendo comum vasos cilíndricos verticais devido a relação entre o diâmetro e a altura do costado, além do tipo de fechamento. Isso depende de alguns fatores como, aproveitamento de chapa, existência ou não de pressão interna ou externa, a forma de sustentação, a forma que é idealizada o dreno, as recomendações das normas, limitações da planta onde o tanque será instalado e requisitos de projeto, Joaquim Junior (2015).

Alguns vasos podem necessitar de mais de uma camada de parede, chamadas de camisas ou jaquetas, as mesmas são empregadas para o aquecimento ou resfriamento do fluido contido no vaso. Telles, 2007 enumera as vantagens do uso de camisas, pois permitem o uso de uma variedade de fluidos de aquecimento, já que o mesmo não tem contato direto com o fluido a ser formulado, o que também evita a contaminação. Leva a um aquecimento mais uniforme de fácil controle e facilita a manutenção e limpeza do interior do reator.

Um dos tipos mais comuns é a camisa dupla, com uma serpentina helicoidal em forma de espira, do tipo Dimple, também chamado de Half-Pipe, onde a espira fica alocado em um espaço confinado entre o costado e a camisa, conforme pode ser observado na Figura 2.

4.1 Procedimentos de Fabricação

O primeiro grande desafio provém do setor comercial, que em contato com um cliente em potencial lista as necessidades do mesmo e em comunicação com a engenharia tenta encontrar um equipamento que absorva todas as soluções requeridas pelo produto a ser formulado. Porém muitas vezes o próprio cliente não tem informações cruciais para a otimização do projeto, como as características do fluido que se tornará o produto final, ou até mesmo dos insumos utilizados, sendo essas a viscosidade e massa específica, o quão corrosivo é o produto, dentro outros pontos que possam ser pertinentes, a depender do projeto. Com isso o projeto é comumente idealizado com base em uma breve descrição do produto, como um cosmético ou até um insumo agrícola, em conjunto com as experiências anteriores dos engenheiros e técnicos da empresa com produtos de finalidade similares. Por fim a solução é apresentada ao cliente com um layout ilustrativo, um orçamento e uma data de entrega do reator pelo técnico responsável pela instalação e treinamento daqueles destinados a fazerem uso do equipamento.

Cada um dos tanques aqui analisados passaram por essa fase acima descrita, e uma vez que o pedido é formalizado e aprovado por parte do cliente a engenharia então recebe um documento, aos padrões da empresa, com os dados compilados da compra onde constam o volume útil do tanque, o tipo de material da carcaça, o tipo de sistema de agitação e qualquer outra necessidade que o produto, para o qual o tanque será dimensionado necessita, como uma camisa para aquecimento e/ou resfriamento, jaqueta de isolamento térmico, os tipos de tampos a serem utilizados, a presença de mais de um tipo de sistema de agitação, todas as tomadas para acessórios e sensores com suas bitolas em polegadas, o tipo de boca de visita e qualquer outra informação necessária para dar início ao projeto.

Com o documento em mãos o engenheiro responsável então dimensiona a carcaça do tanque, com a espessura e material das chapas e os tipos de tampos, respeitando a ASME VIII, para o caso de vasos de pressão, e a N-0270 da Petrobras para tanques atmosféricos. É de extrema importância ter conhecimento do local onde o tanque será instalado, para saber as limitações da geometria do vaso, principalmente o pé direito do galpão, com isso sendo levado em consideração as dimensões do costado são o mais próximo possível de 1:1, sendo essa a relação entre a altura do costado e seu diâmetro interno, com uma sobre medida de segurança para a altura, vale ressaltar que leves alterações podem ser feitas a depender da necessidade. O mesmo processo é feito quando há presença de camisa e jaqueta externa, tomando cuidado para que exista espaço necessário para o fluido de aquecimento e para o material do isolante térmico.

Em seguida o tipo de agitador é escolhido, seu eixo é dimensionado junto da potência requerida, o que leva a escolha do motor elétrico que será utilizado, ou motoredutor se houver necessidade de redução da rotação ou torque.

O terceiro passo é a escolha dos acessórios e sensores a serem instalados, o que depende da necessidade e dos processos que serão vigentes durante a formulação, como válvula de segurança e manômetro (ou transmissor de pressão) quando se trata de um vaso de pressão, o tipo de dreno, comumente sendo usadas válvulas borboleta para a saída do produto, luminária para visualização do interior do tanque, moega de alimentação e qualquer outro acessório necessário devido às normas ou a pedido do cliente.

Por fim se inicia o projeto estrutural, onde é feito um modelo em 3D fidedigno do Reator completo, usando os softwares Inventor e Autocad, com todos os equipamentos que o compõem sendo representados com todas suas características importantes, como peso e massa específica, dimensão e geometria. Cada peça de cada um dos componentes deve ser desenhada tendo em

mente sua função final e todo e qualquer processo de solda ou usinagem pela qual a mesma deva passar, de forma ordenada e com todas as informações pertinentes sendo evidenciadas. Com o modelo 3D completo e a montagem feita, respeitando quaisquer limitações físicas que se apresente para se montar os diversos componentes que fazem parte do reator é feito então um detalhamento em 2D, também através do softwares Inventor e Autocad, respeitando a NBR 10067, com os desenhos de cada uma das peças contendo sua matéria-prima e os processos de usinagem e soldagem que a mesma leve. As montagens que contém duas ou mais peças também são detalhadas dessa forma, evidenciando cada uma das peças que estão presentes e diferenciando a solda dos processos de pré-usinagem e pós-usinagem, então é feita uma vista explodida, para auxiliar os profissionais responsáveis pela montagem em reunir as peças e acessórios como conexões aparafusadas, com indicação de como deve ser feita a montagem daquele equipamento. Em seguida, todas as peças e montagens que serão fabricadas são cadastradas no sistema da empresa para rastreabilidade e é gerado um código único para cada uma, código esse que consta nas folhas de desenho, para tal é usado o software de gerenciamento Sankhya.

Em seguida é feita uma lista contendo toda e qualquer matéria-prima necessária para construção das peças, além de qualquer utilidade. Nessa lista então constam todas chaparias além do tubos e tarugos usados para o equipamento, e as utilidades englobam todas as conexões aparafusadas, conexões sanitárias, vedações, abraçadeiras, motorização e sensores. Por fim, após revisão e conferência do engenheiro responsável então o projeto está completo e é passado para os diversos setores da fábrica, como almoxarifado, caldeiraria, usinagem e montagem, para que seja feita a compra e corte da matéria-prima, feita através de terceiros para o caso de corte de chapas, além da compra das utilidades necessárias e para o planejamento do gestor da fábrica quanto aos diversos processos de confecção, tendo em mente das datas de entrega, os limites construtivos e a ordem a fabricação dos diversos componentes, geralmente casando também com outros equipamentos que estão em processo paralelo de confecção.

Após a entrega do projeto, juntamente com toda lista de matéria-prima e utilidades do reator, cabe ao engenheiro responsável acompanhar cada um dos passos de construção, para se adequar a possíveis mudanças e dúvidas dos diversos outros profissionais.

Cada um dos reatores aqui descritos passaram pelo processo acima descrito, para facilitar a compreensão e acompanhamento foi feita uma tabela contendo as características de cada um deles.

Todo o processo de união permanente de qualquer peça ou equipamento é feito por meio de solda, feita dentro da fábrica por profissionais qualificados para tal e com o acompanhamento do engenheiro chefe, para garantir a integridade da união. O processo usado é o TIG (Tungtein Inert Gas) devido a sua maior qualidade, mesmo sendo mais caro e complexo, faz uso de um eletrodo de tungstênio. A técnica de TIG é um tipo de solda com eletrodo não consumível de tungstênio, fazendo uso de proteção gasosa, o que garante uma estabilidade do arco e da poça. Oferece um controle do calor cedido, não há adição de metal e é indicado para chapas finas. Uma das características positivas é a qualidade final que é alta obtendo o melhor acabamento possível dentre os processos mais usuais de solda, além de gerar poucos fumos, o arco é suave. Para o processo de soldagem TIG faz-se o uso de um inversor, para transformar a saída dos bornes em corrente contínua, além disso é necessário um cilindro com o gás argônio comprimido, como mostram as Figuras 27 e 28, tirada em campo durante o processo de solda dos tanques.

Figura 27 - Cilindro pressurizado com gás Argônio (Ar)



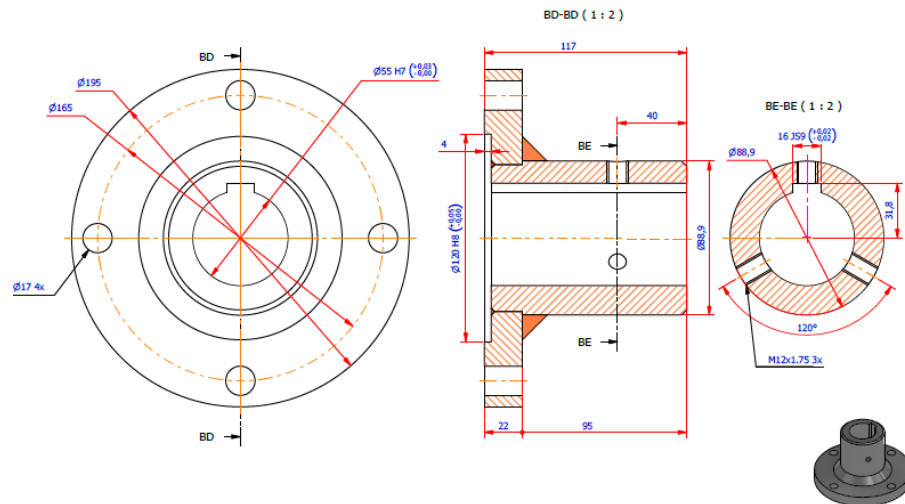
Figura 28 - Solda do tipo TIG, realizada em campo



4.2 Representação em Desenho Técnico

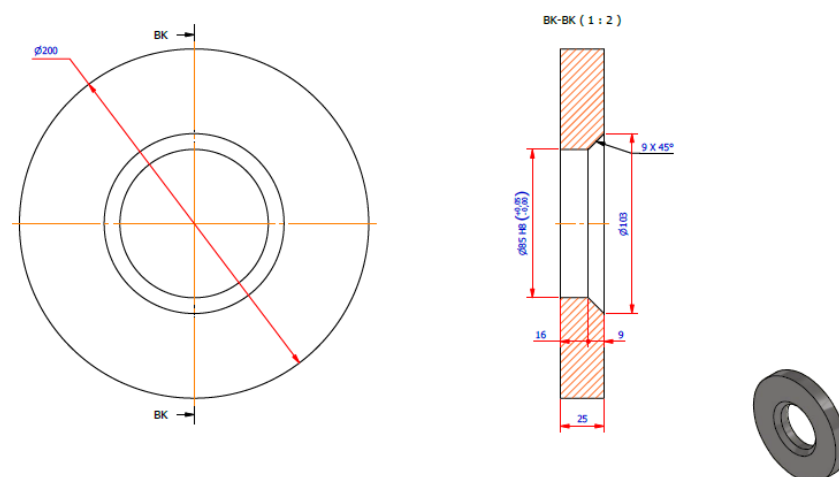
O desenho técnico deve ser feito respeitando todos os processos de fabricação e usinagem que o equipamento possa sofrer. No caso dos reatores aqui analisados isso leva em conta a compra da matéria-prima, a forma com que a mesma é cortada e trabalhada para gerar a geometria mínima necessária para que o torneiro responsável possa dar seguimento à usinagem de precisão. Para exprimir melhor esse conceito iremos usar o acoplamento projetado para o Reator IRS-TT-3000L.

Figura 29 - Representação montagem final, Acoplamento para agitador



A Figura 29 foi retirada do projeto do reator em questão e mostra a usinagem final do componente Acoplamento Fêmea, que faz parte do sistema de agitação do Tanque Reator IRR-TT-3000L. Nesta imagem são evidenciadas as usinagens finais que devem feitas, porém essa peça é composta de uma chapa de aço inox 316, com uma espessura de uma polegada (25,4 mm) e um tarugo de aço inox 316 de 3 ½ polegadas (88,9 mm), que devem sofrer uma pré-usinagem para então serem soldados e por fim possam passar pelo processo final, evidenciado na imagem.

Figura 30 - Representação flange do Acoplamento para agitador



Acima temos a Figura 30, que mostra o detalhamento da Flange Acoplamento, fabricada através de uma chapa de aço inox 316 de uma polegada, como explicado anteriormente. Essa chapa

sofre um processo de corte a laser para gerar a forma desejada, porém isso tem como resultado um produto com geometria grosseira, com rebarbas, desvios dimensionais e acabamento comprometido. Portanto o desenho deve levar em conta a retirada de rebarbas nas arestas e o faceamento de ambas as faces para garantir o paralelismo. Note então que mesmo que a chapa usada tenha uma espessura de 25,4 mm, o desenho mostra a flange com uma espessura de 25,0 mm, evidenciando o faceamento efetuado pelo profissional do setor de usinagem. Além disso o diâmetro externo é, em média 5 mm maior do que aquele da peça crua, pós corte a laser, e também leva em consideração uma usinagem posterior que diminui ainda mais esse diâmetro, devido aos desvios geométricos causados pelo processo de solda, por essa razão que a peça cortada tem um diâmetro externo de 205,00 mm, ao passar pelo primeiro processo de usinagem tem um diâmetro de 200,00 mm e por fim 195,00 mm, como mostram as imagens. Além disso a única usinagem de precisão é feita no diâmetro interno, isso porque a peça deve ser acoplada na Bucha acoplamento, que é o tarugo de aço inox 316 acima mencionado, e por fim um chanfro é feito, também chamado de bisel, para posteriormente ser preenchido com o material de solda.

Figura 31 - Representação bucha do Acoplamento para agitador

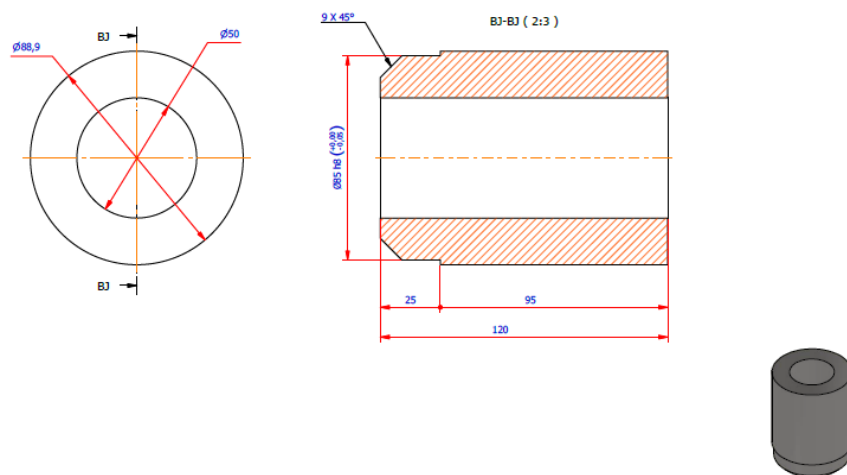


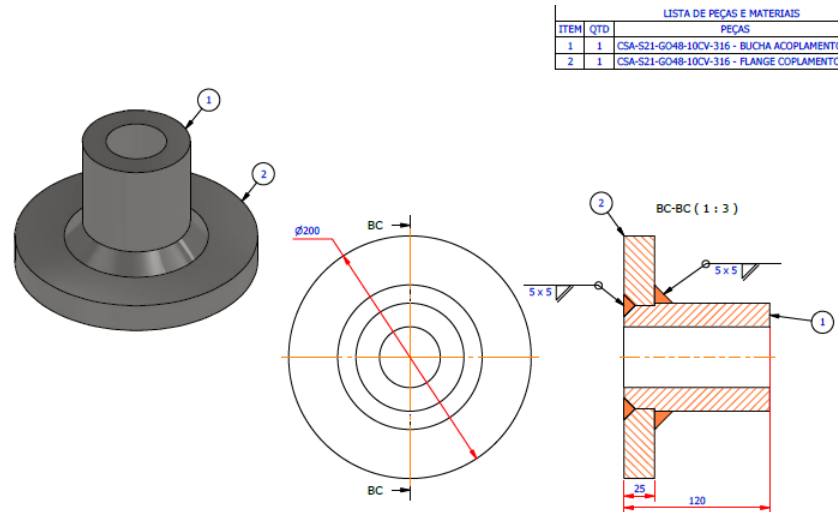
Figura 32 - Legenda para Desenho Técnico da Bucha do Impelidor

| | | | | | | | | |
|------|------|--------------|-------------------|-------|------|------|-------|-------|
| 2 | PÇ | AÇO INOX 316 | TARUGO CILINDRICO | 88,9 | - | - | - | 125 |
| Qtde | Unid | Material | Descrição | Diâm. | Esp. | Alt. | Larg. | Comp. |

Em seguida vamos analisar a Bucha Acoplamento, fabricada de um tarugo de aço inox 316 de 88,9 mm, mostrada na Figura 21. O processo de corte do tarugo é feito através de um serra, e por isso um comprimento maior deve ser considerado para que uma pré-usinagem seja feita, pelos mesmos motivos elucidados acima para a Flange acoplamento. Note que seu comprimento no cabeçalho do desenho diz 125 mm, como mostra a Figura 32, enquanto a

usinagem da peça mostra a mesma com um comprimento total de 120 mm, evidenciando a usinagem que garante a tolerância dimensional, faceando o tarugo cortado de forma grosseira. Por fim é importante ressaltar que a única usinagem de precisão que ocorre nesse passo da fabricação é justamente na porção onde a bucha irá ser acoplada na flange para o processo de solda, e assim como na flange um chanfro também é feito, idealizado para a solda.

Figura 33 - Representação vista de solda do Acoplamento para agitador



Por fim temos o desenho que evidencia a solda das suas peças analisadas, Figura 33, usando a solda TIG. Esse desenho é destinado para o profissional de soldagem, para mostrar a quantidade de material e o acabamento da solda, além de mostrar as dimensões principais da montagem, note que as dimensões são as mesmas das peças individuais, já que ainda é necessário uma pós-usinagem para só então se obter a peça final.

Na primeira imagem mostrada então temos o último passo, onde a matéria prima já foi adquirida e cortada, sofreu o processo de pré-usinagem, solda e por fim pós-usinagem. O projetista então deve idealizar cada um dos processos de fabricação acima listados para auxiliar cada profissional presente na cadeia produtiva. Para tal ele deve se ater às dimensões e geometrias necessárias para então ter conhecimento do dimensionamento, não só do componente final, mas também dos intermediários. Esse exemplo deixa claro o raciocínio que deve estar sempre presente nessa fase de projeto, como o diâmetro da flange que sofre 3 alterações para garantir as tolerâncias necessárias e as usinagem de maior precisão, para garantir o funcionamento do produto final, que devem ser idealizadas de forma correta para evitar retrabalho, já que o processo de solda pode inutilizar qualquer usinagem de precisão feita anteriormente, fazendo com que a mesma tenha de ser feita novamente.

4.3 Espessura de Casco

Para definirmos a pressão máxima suportada pelo tanque utilizamos a equação fornecida pelo código ASME VIII Div 1, já descrita anteriormente. A título de comparação, o dimensionamento das espessuras dos tanques atmosféricos foram calculados segundo a ASME UG-27 para uma pressão de até duas atmosferas, garantindo seu funcionamento, mesmo que os tanques não funcionem como um sistema fechado, ou seja, a pressão sempre será atmosférica, mas a título de segurança, para o caso de falha, se garante pela NR-13 e a ASME VII que o tanque opera em segurança. 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

| TANQUES | IRR-CC-50L | IRL-TT-500L | IRS-TT-3000 | IRS-TT-5000L |
|--|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| MATERIAL | AISI 316 | AISI 316 | AISI 316 | AISI 304 |
| VOLUME(L) | 50 | 500 | 3000 | 5000 |
| TAMPO SUPERIOR | Cônico | Torisferico | Torisferico | Torisferico |
| TAMPO INFERIOR | Cônico | Torisferico | Torisferico | Torisferico |
| DIÂMETRO INTERNO(mm) | 400 | 850 | 1500 | 2000 |
| ALTURA DE COSTADO(mm) | 500 | 820 | 1850 | 2000 |
| ALTURA DE LÍQUIDO(mm) | 473 | 945 | 1891 | 1727 |
| ESPESSURA DO COSTADO(mm) | 2 | 4 | 3 | 3 |
| CAMISA MATERIAL | AISI 304 | AISI 304 | Ausente | Ausente |
| ESPESSURA DA CAMISA(mm) | 2 | 2 | Ausente | Ausente |
| JAQUETA MATERIAL | AISI 304 | AISI 304 | Ausente | Ausente |
| ESPESSURA DA JAQUETA(mm) | 2 | 2 | Ausente | Ausente |
| PMTA(kgf/cm²) | atmosférico | 1,5 | atmosférico | 0,5 |
| PMTA(Mpa) | - | 0,1472 | - | 0,0491 |
| SISTEMA DE AGITAÇÃO | âncora e turbo de fundo | âncora, turbo de fundo e cowles | âncora e turbo de fundo | alta eficiência e smith |
| espessura min circunferencial(ASME)(mm) | 0,266 | 0,4159 | 0,9975 | 0,3263 |
| espessura min longitudinal(ASME)(mm) | 0,1329 | 0,2078 | 0,4982 | 0,1631 |
| espessura 1-foot method(mm) | 0,0016 | 0,0125 | 0,0544 | 0,065 |

A norma da Petrobras N-0253 também ressalta que, para tanques em aço inox não devem ter espessura inferior a 2 milímetros, por esse motivo mesmo os tanques menos solicitados foram fabricados em chapas de 2 mm de espessura.

4.4 Características de Cada Reator

Para a escolha de cada um dos impelidores empregados foi feito um estudo, já descrito acima, levando em conta a necessidade do cliente que efetuou a compra do equipamento, além das propriedades dos fluidos a serem formulados. Para melhor elucidar cada um dos casos estudados neste trabalho vamos analisar os sistemas de agitação de forma separada.

4.4.1 Tanque Misturador IRS-TT-3000 INOX 316

Tanque dotado de um Impelidor do tipo âncora e um turbo fundo de tanque, de pás retas. Destinado para formulação e mistura de produtos químicos líquidos e baixa e alta viscosidade, tipo saneantes de mistura a frio. Respeitando a NR-13 e NR-12, vide projeto, Layout na Figura 34.

Figura 34 - Layout Tanque IRS-TT-3000 INOX 316

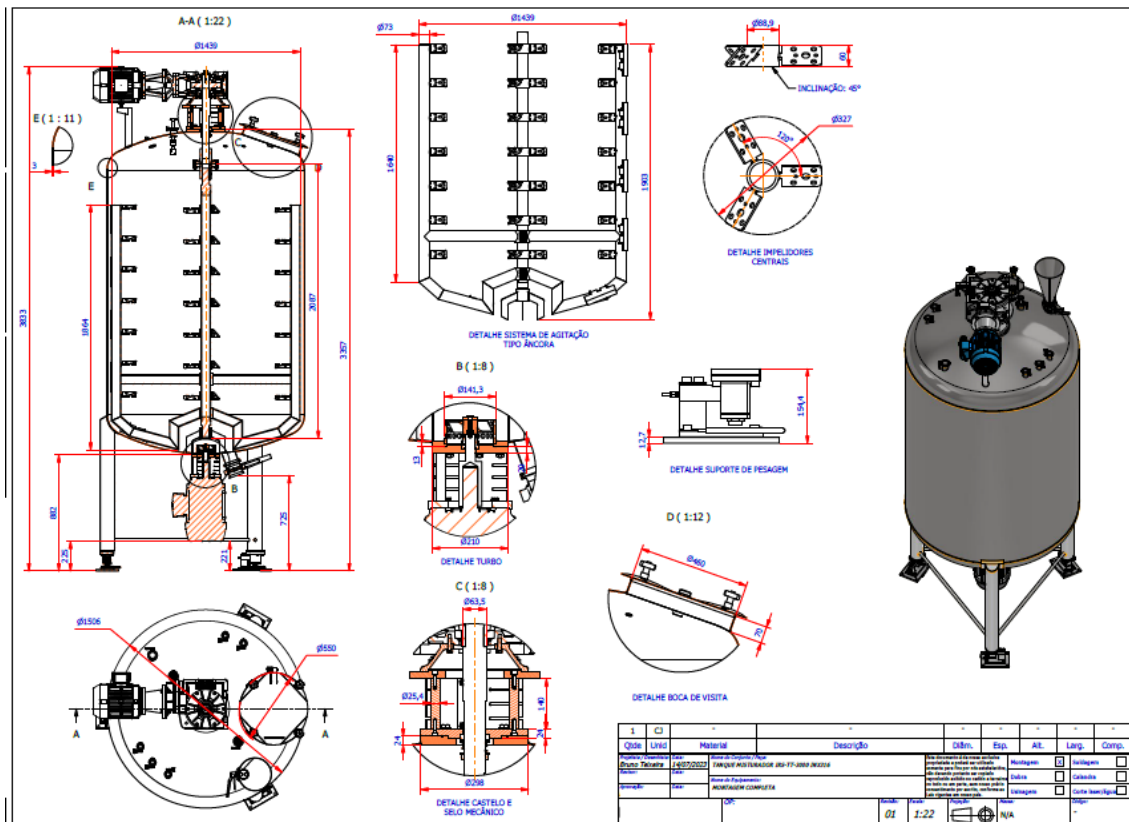


Figura 35 - Foto em campo, montagem e teste hidrostático, Tanque IRS-TT-3000 INOX 316



Figura 36 - Foto em campo, Sistema de agitação tipo Âncora do tanque IRS-TT-3000 INOX 316, após teste hidrostático



O processo de formulação passa por mais de uma etapa, onde inicialmente o fluido no tanque se trata de uma mistura heterogênea de baixa viscosidade, nessa etapa se faz necessário o uso do Turbo Fundo de Tanque. Esse agitador se encontra no fundo do tanque, como diz em seu nome, centralizado com o tampo inferior promovendo uma alta taxa de cisalhamento e mistura, um exemplo pode ser visto na Figura 2. A alta rotação do rotor promove uma zona de baixa pressão, atraindo o líquido para dentro do Emulsificador, em seguida a força centrífuga expulsa o líquido radialmente para fora, forçando o mesmo contra o emulsificador, forçando assim o cisalhamento hidráulico intenso na passagem para fora do emulsificador, com um escoamento turbulento que promove uma mistura mais eficiente, um desenho pode ser visto na Figura 38. Em um segundo momento, quando adicionadas matéria-prima que torna o fluido um líquido de alta viscosidade se torna necessária a ação do misturador do tipo âncora, mostrado na Figura 36, que promove uma mistura homogênea e eficiente até atingir o produto final. A âncora é dotada de raspadores de teflon, mostrados na Figura 37, que tem a função de impedir que o produto não misturado fique aderido às paredes do tanque, já que essa é a tendência

devido ao escoamento promovido. O teflon é ideal para essa função, já que o mesmo é resistente a qualquer tipo de reação com o produto, impedindo assim a contaminação do produto e suas propriedades mecânicas o impedem de sofrer desgaste ao se movimentarem em contato com as paredes internas do tanque. Além disso as pás da âncora são soldadas em um ângulo de 45° com o eixo e cada uma das pás é dotada de furos simetricamente espaçados. A âncora tem formato de garfo, fabricada em Tubos do tipo Schedule 40 de 2 e ½ polegadas de diâmetro com sete pás em cada um de seus braços externo e mais 7 impelidos centrais.

O tanque é dotado de um sistema de pesagem, sendo esses equipamentos distribuídos aos pés do tanque em um sistema de três pontos, impedindo qualquer desnivelamento que pode afetar a segurança e integridade do tanque, além de evitar sobrecarga em alguns dos pés e até mesmo afetar a leitura do peso. Cada um dos Suporte Pesagem contém uma célula de carga, devidamente calibrada para o reator em questão, que faz com que seja possível ter controle da quantidade de massa sendo adicionada e formulada durante o funcionamento do tanque misturador.

O reator simples foi dimensionado para mistura a frio, por isso é dotado apenas de um costado em chapa lisa de 3 milímetros de espessura, tampos inferior e superior do tipo torisférico ASME 10%. No tampo superior, além da flange de acesso do sistema de agitação Âncora, também é montada uma boca de visita do tipo padrão do fabricante, para acesso ao interior do tanque, um sistema de adição de material do tipo moega de 3 polegadas com válvula borboleta além três tomadas sanitárias do tipo TC de 2 polegadas, três de 1 e ½ polegadas e mais duas de 1 polegadas.

As entradas sanitárias de 2 polegadas são acopladas a um sprayball cada um, sendo esse um equipamento padrão do fabricante do tanque, com a função de promover a lavagem interna do reator entre utilizações. Todas as demais tomadas são adicionadas a pedido do cliente para utilização interna e são dotadas de tampões, para impedir a entrada de qualquer contaminantes. Para a descargam e simpleza é acoplada uma saída ao tampo inferior, deslocada já que o turbo toma a parte central do tampo inferior. Tal saída tem a função de descarga do produto final e é soldada em um tubo de 4 polegadas com um TC e conectada a uma válvula borboleta.

Os pés são fabricados em tubo schedule 10 de 4 polegadas, com altura dimensionada de acordo com a plataforma de acesso do cliente, levando em conta também o pé direito da construção onde o mesmo será alocado.

As dimensões do corpo do tanque são definidas de acordo com o volume útil de 3000 litros, mantendo-se um padrão ideal de relação um para um entre a altura do tanque e seu diâmetro,

sofrendo alterações leves devido a necessidades geométricas impostas pelo cliente. Além disso a âncora e o turbo fundo de tanque tem suas dimensões e geometrias definidas de acordo com o diâmetro e altura de líquido do volume útil, respeitando todos os conceitos mencionados anteriormente neste trabalho. Com todos esses dados em mãos, juntamente com a densidade e viscosidade dos fluidos formulados, é possível dimensionar os motores, após descrição de todos os tanques aqui estudados vamos elucidar a escolha da motorização de cada um dos impelidores. Todos os componentes do reator que têm contato direto com o produto são fabricados em aço inox 316, devido à alta taxa de oxidação promovida pelos líquidos formulados. Os demais equipamentos são fabricados em aço inox 304.

Figura 37 - Desenho técnico para os Raspadores de Teflon para agitador do tipo Âncora

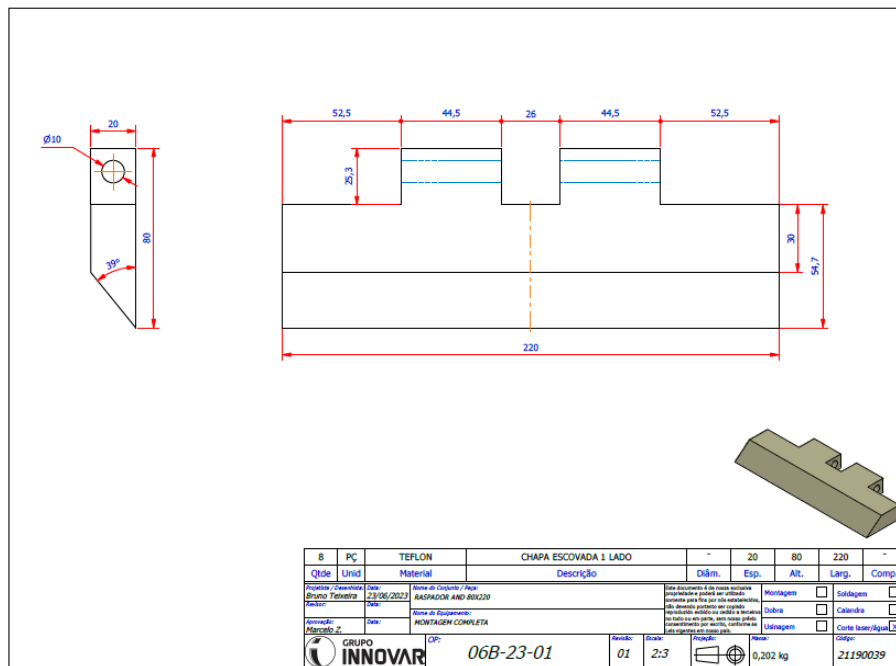
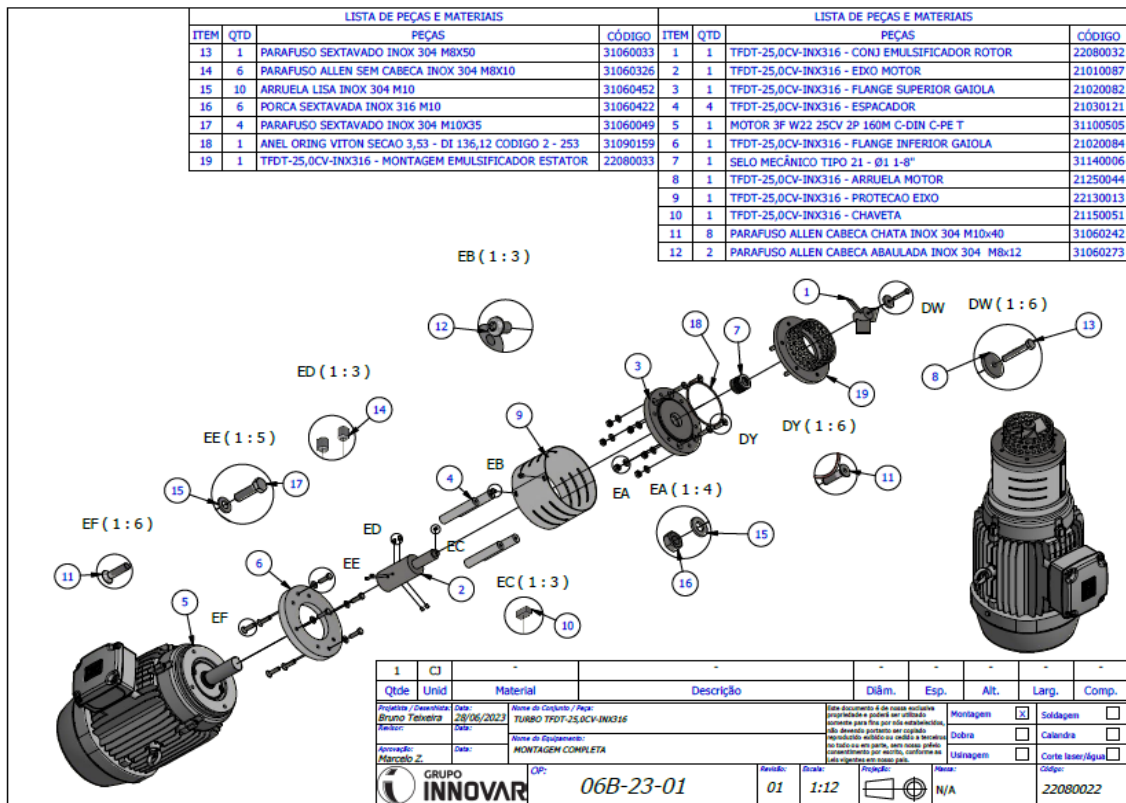


Figura 38 - Vista explodida do Sistema de Agitação do tipo Turbo Fundo de Tanque, para Tanque IRS-TT-3000 INOX 316



4.4.2 Tanque Misturador IRS-TT-5000 INOX 304

Tanque dotado de um Impelidor do tipo alta eficiência e impelidos Smith. Destinado para formulação e mistura de produtos biológicos líquidos e baixa e alta viscosidade, tipo calda fermentada de bactérias e fungos. Respeitando s NR-13 e NR-12, vide projeto.

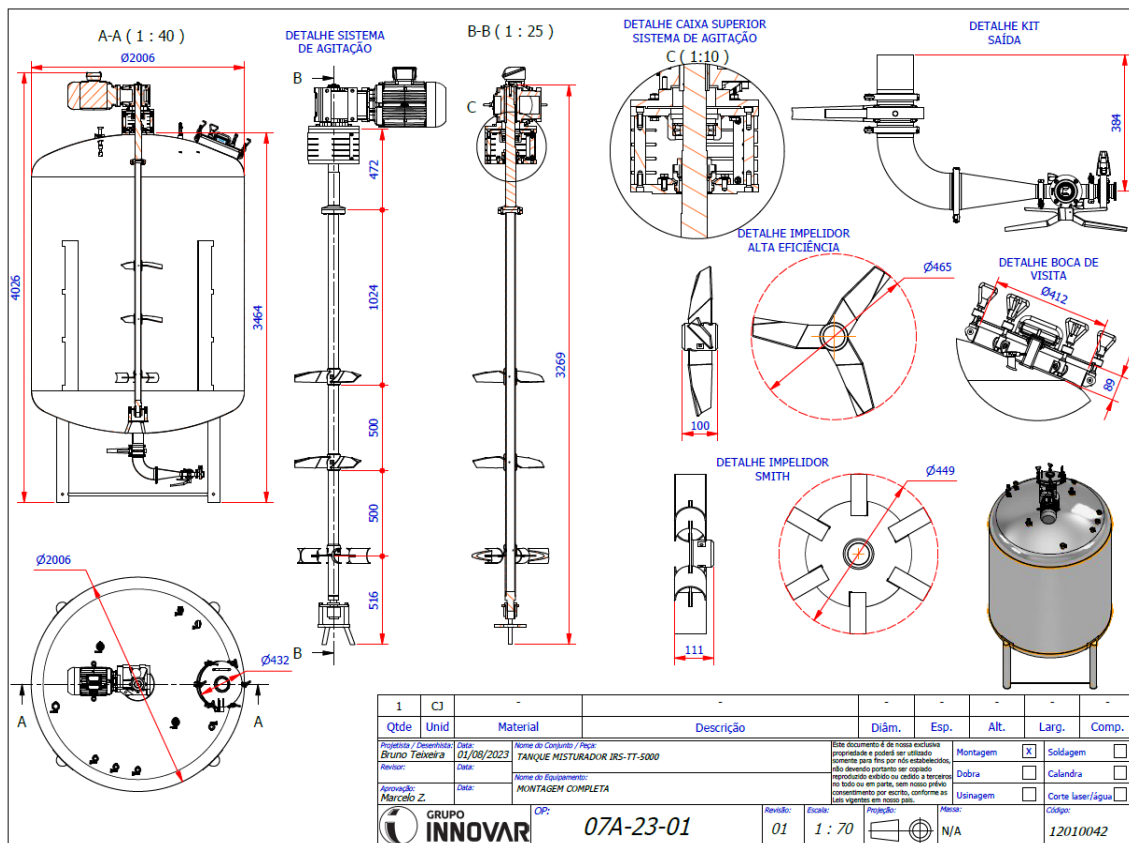
O reator é dimensionado para operar com uma pressão de até 0,5 Bar, com impelidores que promovem um escoamento turbulento com alta taxa de cisalhamento. Por esses motivos o tanque é dotado de 4 chicanas em seu interior, simetricamente espaçadas, com o objetivo de evitar a formação de um vortex central, que é a tendência de tal escoamento e além de prejudicar a mistura ainda promove um gasto maior energético e cria zonas onde a formulação não ocorre. Além disso, respeitando a ASME VIII os tampos são do tipo torisférico ASME 10% com válvula de segurança e manômetro para controle da pressão interna, como demanda a NR-13.

O costado é fabricado em chapa de 3 milímetros de espessura. Os pés são fabricados em tubo schedule 10 de 4 polegadas, com altura dimensionada de acordo com a plataforma de acesso do cliente, levando em conta também o pé direito da construção onde o mesmo será alocado, de

forma análoga ao IRS-TT-3000, porém nesse projeto são montados 4 pés distribuídos de forma simétrica, promovendo maior estabilidade, já que não se faz necessário um sistema de pesagem. Para descarga do produto final é soldado ao tampo inferior um tubo de 4 polegadas com conexão sanitária do tipo TC, conectada a uma válvula borboleta com um redução para 1 e ½ polegadas e derivação, conforme solicitação do cliente.

O tampo superior tem acoplado duas tomadas com conexão sanitária do tipo TC de 2 polegadas para dois equipamento do tipo sprayball, além de três tomadas de 1 e ½ polegadas, três de 1 polegada e uma extra de 2 polegadas, para que atendam as necessidades impostas pelo cliente e para conexão da válvula de segurança e manômetro. A boca de visita é feita sob padrão do fabricante, com vedação e manípulos de aperto que garante a estanqueidade e segurança, já que o tanque vai operar a uma pressão mais alta que a atmosférica, um Layout pode ser visto na Figura 39.

Figura 39 - Layout Tanque IRS-TT-5000 INOX 304



4.4.3 Tanque Misturador IRR-CC-50 INOX 316

Figura 40 - Foto em Campo, Tanque IRR-CC-50 INOX 316



Tanque dotado de um Impelidor do tipo âncora e um turbo fundo de tanque, de pás retas. Destinado para formulação e mistura de produtos químicos líquidos e baixa e alta viscosidade,

para a produção de cosméticos. Respeitando s NR-13 e NR-12, vide projeto, Uma foto do tanque finalizado pode ser vista na Figura 40.

Figura 41 - Foto em campo, Tampo removível com sistema de agitação do tipo Âncora, para Tanque IRR-CC-50 INOX 316



Tanque destinado a mistura a quente, acoplado com resistências por imersão, elevando o produto a ser formulado em até 90° C. Por tal motivo o tanque é dotado de um costado, fabricado em aço inox 316 com espessura de 2 milímetros, uma camisa intermediária fabricada em aço inox 316 com espessura de 2 milímetros e com uma jaqueta externa fabricada em aço inox 304 com espessura de 2 milímetros.

Tanque reator atmosférico com tampos superior e inferior cônicos, pela facilidade de confecção e disponibilidade do sistema. Devido às limitações espaciais o tampo superior é removível, acoplado com flanges em aço inox 316 e presa com manípulos de aperto, conforme mostra a Figura 41, garantindo assim a integridade e estanqueidade do sistema, além de tornar possível alocar todos os acessórios necessário para o equipamento, sendo esses:

- Flange de acoplamento do sistema de agitação tipo Âncora;

- Um sistema de admissão de matéria prima do tipo Moega de 2 polegadas, com válvula borboleta;
- Duas tomadas de 2 polegadas com saídas sanitárias do tipo TC, para utilização do cliente;
- Um visor de nível com vedação de viton, vidro de borossilicato e porca SMS de 4 polegadas, acompanhamento visual da formulação, sem a necessidade de se abrir a tampa;

Além disso, devido a presença da camisa intermediária para aquecimento do produto se faz necessário alguns acessórios extras, sendo esses:

- Um sensor do tipo PT-100 no fundo do tanque, com acesso ao costado interno para medição e controle da temperatura do produto a ser formulado;
- Um sensor do tipo PT-100 na camisa para controle e medição da temperatura do fluido de aquecimento, sendo esse a água;
- Um sensor de nível na camisa do tanque, para controlar o nível de líquido enquanto a água é adicionada ao sistema para promover o aquecimento;
- Duas resistências por imersão, de 3 KW cada, copladas ao fundo do tanque, com acesso direto a camisa, para aquecimento da água pelo processo conhecido como banho maria;
- Uma saída superior, lidada a camisa, chamada de suspiro, para evitar o aumento da pressão interna da camisa enquanto o aquecimento é feito, já que o sistema não é dimensionado para ser pressurizado;
- Uma jaqueta externa, como já mencionado, com a função de isolamento térmico, garantindo assim a segurança do usuário, já que a superfície da camisa intermediária irá ultrapassar os 120°C. O espaço entre a camisa e a jaqueta é preenchido com um material isolante térmico, lã de rocha, diminuindo assim a perda de calor para o ambiente, além de tornar segura a manipulação externa do tanque, que terá temperaturas seguras ao toque;

O tanque é dotado de quatro pés tubulares, fabricados em tubo do tipo OD de 2 polegadas, mas diferente dos outros tanques aqui estudados, os pés são soldados a jaqueta do tanque por meio de curvas sanitárias de 90° graus, em aço inox 304, devido a limitações geométricas do equipamento. A altura dos pés é dimensionada tendo em vista o local onde o reator será alocado e o conforto do operador a utilizar o tanque.

Os sistemas de agitação do tanque são um impelidor do tipo âncora central e um Turbo Fundo de Tanque, com funcionamento análogo ao descrito no Tanque IRS-TT-3000L, devido a

proximidade de características fluidodinâmicas dos produtos a serem formulados, em ambos os casos.

4.4.4 Tanque Misturador IRL-TT-500 INOX 316

Tanque dotado de um Impelidor do tipo âncora, um impelidor descentralizado do tipo Disco de Cowles e um turbo fundo de tanque, de pás retas. Destinado para formulação e mistura de produtos químicos líquidos de baixa e alta viscosidade, tipo saneantes de mistura a quente, submetidos a uma pressão negativa de até 0,5 kgf/cm². Respeitando s NR-13 e NR-12, vide projeto, a Figura 2 mostra uma vista de corte de tal tanque.

Figura 42 - Foto em campo, Sistema de agitação tipo Âncora e disco de Cowles do tanque IRL-TT-500 INOX 316, após teste hidrostático



Tanque destinado a mistura a quente acoplado com resistências por imersão, além de um sistema de aquecimento por vapor superaquecido, chamado de Half-Pipe, elevando o produto a ser formulado em até 120° C. O sistema de Half-pipe consiste em um trocador de calor simples dimensionado para suportar uma pressão de até 3 kgf/cm², consiste em uma cavidade em espiral soldada em volta do costado, por onde irá transitar vapor d'água superaquecido, tal cavidade se

encontra enclausurada entre o costado e a camisa, onde também existe um sistema de aquecimento por banho maria, semelhante ao sistema descrito para o aquecimento do Tanque Reator IRR-CC-50, usando duas resistências de 9KW. Por tal motivo o tanque é dotado de um costado, fabricado em aço inox 316 com espessura de 4 milímetros, uma camisa intermediária fabricada em aço inox 304 com espessura de 2 milímetros e com uma jaqueta externa fabricada em aço inox 304 com espessura de 2 milímetros.

Tanque reator atmosférico com tampos superior e inferior torisféricos, segundo a ASME 10%, pela facilidade de confecção e necessidade do sistema, já que se trata de um vaso de pressão.

O tampo externo da camisa é de formato cônico, já que a mesma não é dimensionada para atuar à pressão atmosférica, viabilizando o uso de um tampo de confecção mais simples. Similar ao sistema do Tanque Reator IRR-CC-50, entre a camisa e a jaqueta é acoplado lã de rocha, para garantir o isolamento térmico, na Figura 43 pode-se ver o tampo com a entrada para Boca de Visita e tomadas.

Figura 43 - Foto em Campo, tampo torisférico Superior com tomadas, para Tanque IRL-TT-500 INOX 316



Figura 44 - Foto em Campo Tanque IRL-TT-500 INOX 316



O tampo superior contém os seguintes acessórios:

- Três saídas de Tubo OD de 1 polegada com conexão sanitária do tipo TC, onde serão acopladas a válvula de segurança e o transmissor de pressão, deixando uma tomada sobressalente para uso;
- Duas saídas de Tubo OD de 2 polegadas com conexão sanitária do tipo TC, para a luminária, equipamento declinado para iluminação no interior do tanque para acompanhamento do processo, além de um sistema de sprayball para limpeza;
- Uma saída de Tubo OD de 3 polegadas com conexão sanitária do tipo TC, onde será acoplado um sistema de admissão de matéria-prima do tipo Moega de 3 Polegadas, com válvula borboleta;
- Cinco saídas de Tubo OD de 1 ½ polegadas com conexão sanitária do tipo TC, onde será acoplado o sensor de nível, destinado a controlar a formação de espuma durante o processo de mistura, além de quatro saídas sobressalentes para acesso ao interior do tanque;

- Conexões flangeadas para o sistema de agitação do tipo Âncora e Cowles descentralizado;
- Uma boca de visita Oval, para acesso ao interior do tanque, com manípulos de aperto e vedação, garantindo assim a estanqueidade do Reator, além de visor, para observação do operador;

Além disso outros sensores e acessórios são adicionados ao corpo e tampo inferior, afim de acompanhar o processo de forma mais segura e controlada, sendo esses:

- Visor de nível com conexão SMS de 1 ½ polegadas, e borossilicato, para acompanhar o nível de líquido de aquecimento no interior da camisa;
- Sensor PT-100 acoplado a camisa e ao tampo inferior, para acompanhar a temperatura do líquido de aquecimento e do produto a ser formulado;
- Sonda de PH esterilizável acoplada ao fundo do tanque, para acompanhar o nível de PH durante a mistura;

O sistema de sustentação consiste em quatro pés tubulares do tipo Tubo Schedule 10 de 3 ½ polegadas, com altura condizente à plataforma de acesso e ao pé direito do galpão onde o tanque será instalado, na Figura 44 pode-se ver o tanque completo com acessórios.

4.5 Sistemas de agitação e Potência Consumida

Conforme especificado anteriormente, todos os sistemas de agitação utilizados nos quatro diferentes reatores, são dimensionados primeiramente analisando a função da formulação desejada, ou seja, qual o fluxo ideal ao processo, além de se analisar as propriedades físicas dos fluidos presentes na mistura. Após a escolha apropriada do tipo de impelidor e da necessidade ou não de mais de um tipo de impelidor, suas geometrias são dimensionadas, para isso o fator de maior importância é a dimensão interna do tanque, seu volume útil, diâmetro interno e altura de líquido, já que a relação entre diâmetro do impelidor e diâmetro do tanque é fator decisivo no fluxo gerado, no número de potência e conseqüentemente na potência consumida.

Com o impelidor selecionado e seus parâmetros geométricos definidos, faz-se uso da massa específica e viscosidade dos líquidos formulados para se calcular o número de Reynolds do fluxo próximo às pás dos impelidores, usando as fórmulas acima descritas. Em seguida, usando

o diagrama de Moody com a curva apropriada para cada impelidor se obtém o número de potência (N_{po}). Por fim faz-se o cálculo da potência consumida, assumindo um fator de segurança, e se obtém em KW.

Sabendo a potência consumida é possível selecionar o motor que melhor se enquadra ao uso, além de se dimensionar o diâmetro do eixo árvore, evitando assim sobrepeso, desperdício de material e também garantindo que o eixo suportará o torque ao qual será submetido. Os motores usados são fornecidos pela empresa WEG Cestari, que fabrica motores e motorreduzidores elétricos de 2, 4 e 6 polos. Por fim, cada fluxo e, por consequência, cada tipo de impelidor tem uma faixa de velocidade de rotação ideal, com isso em mente também é possível selecionar, quando necessário, um redutor, já que os motores do fabricante tem rotação nominal proporcional ao número de pólos, sendo 3600RPM para o de 2 polos, 1750 RPM para o de 4 pólos e 1175 para o de 6 pólos.

Todas as informações foram compiladas e organizadas na tabela 4 abaixo, evidenciando cada um dos agitadores estudados e suas características, a massa específica e viscosidade do líquido formulado, o cálculo do número de Reynolds (Re), do número de potência (N_{po}), da potência consumida em KW e em CV e por fim a potência do motor comercial selecionado.

Tabela 4 - Potência consumida dos Impelidores

| Impelidor | Número de Agitadores | Diâmetro (mm) | Densidade (kg/m³) | Viscosidade (Cp) | Rotação (RPM) | Número de Reynolds (Re) | Número de potência | Potência Consumida (Kw) | Potência Consumida (CV) | Potência do Motor (CV) |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Âncora Tanque 3000L | 1 | 1440 | 1200 | 30 | 30 | 41,472 | 7,5 | 6,9657 | 9,4707 | 10 |
| Turbo F.T. Tanque 3000L | 1 | 126 | 1200 | 1 | 3600 | 1143,07 2 | 2 | 16,4633 | 22,3839 | 25 |
| Pás inclinadas 5000L | 2 | 465 | 1000 | 30 | 220 | 26,4275 | 5 | 10,7171 | 14,5712 | 15 |
| Smith 5000L | 1 | 449 | 1000 | 30 | 220 | 24,6401 2222 | 5 | 4,4980 | 6,1155 | 15 |
| Âncora Tanque 50L | 1 | 385 | 1000 | 30 | 55 | 4,52909 7222 | 90 | 0,5864 | 0,7973 | 1 |
| Turbo F.T. Tanque 50L | 1 | 78 | 1000 | 1 | 3600 | 365,04 | 1 | 0,6236 | 0,8479 | 1 |
| Âncora Tanque 500L | 1 | 820 | 1200 | 30 | 42 | 18,8272 | 18 | 2,7467 | 3,7345 | 4 |
| Cowles Tanque 500L | 1 | 200 | 1200 | 1 | 1150 | 920 | 1,7 | 4,5964 | 6,2494 | 7,5 |
| Turbo F.T. Tanque 500L | 1 | 104 | 1200 | 1 | 3600 | 778,752 | 1 | 3,1536 | 4,2876 | 5 |

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de idealização, projeto, planejamento e desenvolvimento, confecção e testagem foram executados entre o período de julho de 2023 até dezembro de 2023, com uma média de 70 dias de duração para cada um dos reatores entre início até a entrega do produto final, com vários deles sendo trabalhos em diferentes estágio de forma concomitante. Da mesma forma ocorreu com outros projetos, não pertinentes para esse trabalho, ocorrendo em paralelos com os descritos e ainda assim todos foram entregues em prazo.

Em cada um dos casos foi necessário o dimensionamento da motorização e das dimensões principais dos reatores, já que a compra dos acessórios principais como selos mecânicos e motores além da compra das chapas necessárias leva em torno de 30 a 45 dias. Essa necessidade faz com que seja imprescindível os cálculos corretos, já que a substituição de tais componentes significa atraso na entrega do produto, ou até mesmo em seu cancelamento. Mas com auxílio do engenheiro responsável pela fábrica foi garantida a compra correta de todos os acessórios e matérias-primas utilizadas.

Durante todo o processo de confecção correções se tornaram necessárias à medida que o graduando acompanhou cada etapa, já que alguns serviços foram fornecidos por terceiros, que acarretaram em falhas como a integridade da espessura dos tampo após a solda e acabamento das conexões sanitárias, já que foi deixado uma espessura abaixo na mínima em tais conexões, que por si só já são locais de concentração de tensões e contaminantes, porém tais falhas foram apontadas a tempo e corrigidas em todos os casos possíveis e naqueles que não foi possível, como no tampo cônico superior do Tanque IRR-CC-50 foi feita a troca do tampo completamente.

Também foi necessária a intervenção na confecção do Tanque IRS-TT-3000, pois a boca de visita foi fabricada com um diâmetro menor do que o apontado em projeto, fazendo com que fosse impossível posicionar os componentes do sistema de agitação tipo Âncora do interior do reator. Além disso tais componentes já se encontravam fabricados e confeccionar um novo par seria dispendioso demais. Dessa forma foi necessário projetar um complemento com um sistema de meia lua, dividindo a âncora em mais partes, para que só assim fosse possível montar o impelidor.

Notou-se também que, devido a defeitos na fabricação e usinagem, alguns dos eixos dos impelidores dotados de mais de um eixo árvore se tornaram inadequados por não terem sido projetados para as dimensões apresentadas na realidade. Como solução foi aconselhado ao

gerente de fábrica que os eixos superiores de tais impelidores fossem cortados e usinados apenas após montagem do corpo do reator e do eixo inferior, para que o corpo de engenharia pudesse então tirar as medidas reais e realizar as correções necessárias para o eixo superior. Isso ocorre pois esse eixo tem vários pontos em sua extensão que requerem usinagem de precisão, onde serão encaixados vedações, selos mecânicos, motores e acoplamentos, demandando assim um controle rigoroso de suas dimensões.

Por fim se fez necessária a conferência de todas as peças que necessitavam de usinagem de precisão e acabamento, já que as mesmas poderiam apresentar defeitos que comprometeriam a segurança, estanqueidade, vedação e sanitariedade, além de possíveis desvios geométricos que pudessem ocorrer em vibrações excessivas e possível falha do sistema de agitação. Algumas flanges e acoplamentos apresentaram tais defeitos, em alguns casos foi necessária a substituição da peça, enquanto em outros foi possível alterar o projeto de forma a se adequar a peça.

Com o controle e acompanhamento do corpo de engenharia os projetos foram completados em tempo hábil e os testes demonstraram que os equipamentos atendiam aos requisitos descritos em norma e solicitados pelo cliente que efetuou a compra. Fato que posteriormente foi comprovado pelo técnico responsável pelo transporte e treinamento dos funcionários destinados a operar cada um dos reatores aqui estudados.

6. CONCLUSÃO

Depois de acompanhar de forma ativa um total de 5 projetos semelhantes àqueles aqui estudados, no ano de 2022 e início do ano de 2023, o graduando pôde colocar em prática vários dos conhecimentos adquiridos durante a graduação, sendo necessário os conceitos de Resistência dos Materiais para garantir a integridade dos tanques, Mecânica dos fluidos para se definir as características do fluxos gerados e características fluidodinâmicas predominantes nas misturas realizadas, MPM para a seleção dos materiais utilizados na fabricação, Desenho Técnico e Desenho de máquinas para que seja possível realizar um desenho de forma correta e entendível de cada uma das peças e montagens a serem fabricadas, já que de outra forma seria impossível para os técnicos e montadores realizarem de forma correta o que foi idealizado. Além disso Transferência de Calor I foi necessária para que fosse possível garantir que os tanque que levariam aquecimento iriam atender as expectativas, elevando a temperatura do produto em tempo hábil e garantido a segurança e a estrutura dos componentes, Instrumentação para o entendimento do princípio de funcionamento dos sensores utilizados e os cuidados necessários em seu manuseio, Metrologia para a conferência correta de cada uma das peças, foi imprescindível para se notar todos os erros elucidados e então prontamente apontar uma possível correção, ainda a tempo.

Dito isso, a fabricação de tais equipamentos é um grande desafio do ponto de vista da engenharia mecânica, sendo necessário diversos conhecimentos distintos e os mesmos devem ser postos em prática em pouco tempo, devido a demanda do dia-a-dia do mercado. Tal vivência foi de extrema importância para solidificar os conhecimentos adquiridos durante a graduação, além de se facilitar o entendimento de vários dos conceitos descritos, já que vê-los em funcionamento torna ainda mais claro seu entendimento. Além de praticar os conhecimento técnico de um engenheiro mecânico também foi adquirido diversos conhecimentos pertinentes para um profissional, que muitas vezes não é possível se obter na universidade, como planejamento de cada etapa do processo, do ponto de vista financeiro, conhecimento de acessório e equipamento necessários para o dia-a-dia de tal trabalho e o porquê de sua utilização, além da importância das capacidades físicas, químicas, dinâmicas ou térmicas de cada componente. A exemplo são os diferentes tipos de conexões aparafusadas, para além dos cálculos dos esforços e das geometrias das roscas de um parafuso, diferenciando tipos distintos de tais conexões e a função de cada uma, um outro exemplo são os diversos acessórios padronizados pela indústria metal mecânica que, barateia a confecção de tais peças e garante a

funcionalidade do produto, como os diferentes tipos de vedações e conexões sanitária do tipo TC e SMS, além das próprias conexões.

Por fim se tornou clara as diversas complexidades que um projeto de tal magnitude apresenta e o porquê do engenheiro mecânico responsável por tal projeto deve ter conhecimento vasto das ciências aqui mencionadas, ajudando o graduando a entender a necessidade de prática de várias delas. Além de oferecer uma visão mais ampla dos desafios que o engenheiro de projetos enfrenta ao se deparar com as dificuldades que foram se apresentado no decorrer da fabricação, o que enriqueceu muito o entendimento do graduando a respeito de sua área de atuação.

7. CONTRIBUIÇÃO AO TRABALHO

Os aprendizados foram numerosos durante o prosseguimento do trabalho e pontos de possíveis melhorias foram levantados e postos e considerados pelo engenheiro chefe e pela empresa. Como mencionada acima, após vivenciar o problema dos eixos dos sistemas de agitação, que demandavam usinagem de precisão mas que acabavam sendo descartados por não se adequarem as dimensões finais da carcaça dos tanques o graduando sugeriu que os eixos superiores de cada projeto só fossem fabricados após confecção e montagem do corpo, do eixo inferior e da aferição das dimensões reais. A medida foi adotada e se provou útil para evitar desperdícios.

Também notou-se problemas com o sistema de luminárias, que consistia em uma carcaça de aço inox que enclausuravam uma lâmpada de 3,5 W, mas com o passar do tempo a lâmpada superaquecia e queimava, inutilizando o equipamento antes do tempo previsto. Para resolver tal problema foi sugerido um novo sistema que consistia um tubo prolongador abaixo da lâmpada, separada por duas chapas de teflon. O novo sistema cria um bolsão maior de ar onde a lâmpada se encontrava, que juntamente com o teflon contribuiu para amenizar a troca de calor na região que acabava por danificar a lâmpada. O sistema não era o mais eficiente, já que outras ideias foram levantadas, levando em conta materiais isolantes, mas o sistema proposto foi aceito por resolver o problema de forma satisfatória sem aumentar os custos ou dispendir muito tempo de fabricação.

Por fim, notou-se que muitas das vezes faltavam informações cruciais sobre os produtos a serem formulados, principalmente a densidade e viscosidade, seja por que os cliente não detiam tal conhecimento ou porque não desejavam compartilhá-lo. O graduando então solicitou amostras dos produtos para os cliente afim de se testar e então dimensionar os impelidores de acordo, já que as propriedades usadas durante o dimensionamento dos sistemas de agitação aqui estudados foram usados com base na literatura e na experiência do corpo de engenheiros e técnicos. Sendo assim um laboratório de tamanho diminuto, com investimento relativamente baixo, conseguiria aferir as principais propriedades dos produtos e serem formulados e assim possibilitando uma otimização dos impelidores usados. Além disso, no mesmo laboratório seria possível fazer testes com miniaturas dos tanques e dos impelidores, aliado a uma análise em elementos finitos, otimizando as dimensões e geometria dos impelidores, o que possibilita um menor gasto de energia e uma mistura mais eficiente, cortando custos com motores e material. O argumento se deu através do diagrama de Moody e do cálculo do número de potência, pois a teoria demonstrava que mantendo as mesmas relações entre os impelidores e o tanque, poderia se obter as mesmas características dos fluxos gerados. A proposta então foi levada e analisada

pelos gestores, que atualmente trabalham com uma análise de custo para a construção de tais equipamentos.

REFERÊNCIAS

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

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.

PEREIRA, Felix. **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.

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

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, p. 90. 2008.

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

TELLES, P.C.S. **Vasos de Pressão**. 2ª Edição Atualizada. Rio de Janeiro . LTC, 2006.

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

MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Unit operations of chemical engineering**. 7ed. Boston: McGraw-Hill, 1140 p. 2005;

PRADA, R. **Obtenção de Correlações de Nusselt em Reatores de Tanque Agitado Através da Fluido dinâmica Computacional (CFD)**. Tese de doutorado em Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas - Campinas, p. 160. 2015.

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

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.

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

JOAQUIM JR, Celso. **Crítérios Para a Seleção de Impelidores**. Apostila o Curso de Agitação e Mistura em Processos Industriais - Faculdade de Tecnologia de Botucatu, Botucatu.

SILVA, Jefferson. **Análise Crítica das Correlações e Parâmetros Fundamentais em Sistemas de Agitação**. 2002. 193p. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

CALLISTER, William D; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 8ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

WHITE, F.M. **Mecânica dos Fluidos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro. Bookman, 2011.

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.

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

BRASIL. Ministério do Trabalho. **Norma Regulamentadora NR-12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília, DF, 2019.

PETROBRÁS. **N-0253 - Transporte rodoviário de produtos perigosos.** Rio de Janeiro, 2017.

PETROBRÁS. **N-0270 - Segurança, meio ambiente e saúde - SMS - Comunicação de Acidentes Graves.** Rio de Janeiro, 2017.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10067: Princípios gerais de representação em desenho técnico.** Rio de Janeiro, 1995.