

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Edilaine Aparecida Chagas**

**Plínio de Oliveira Junior**

**PROCESSO DE VITRIFICAÇÃO EM REATORES QUÍMICOS**

**Taubaté – SP**

**2018**

**Edilaine Aparecida Chagas**  
**Plínio de Oliveira Junior**

## **PROCESSO DE VITRIFICAÇÃO EM REATORES QUÍMICOS**

Trabalho de Graduação apresentado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Profa. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Correa Lindgren

**Taubaté – SP**

**2018**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado  
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

C824f	<p>Chagas, Edilaine Aparecida</p> <p>Processo de vitrificação em reatores químicos. / Edilaine Aparecida Chagas, Plínio de Oliveira Junior. - 2018.</p> <p>28f. : il; 30 cm.</p> <p>Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018</p> <p>Orientador: Profa. Ma. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.</p> <p>Coorientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.</p>
-------	---

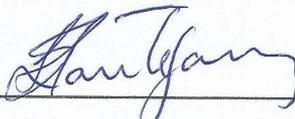
Edilaine Aparecida Chagas

Plínio de Oliveira Junior

**PROCESSO DE VITRIFICAÇÃO EM REATORES QUÍMICOS**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE  
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM  
ENGENHARIA MECANICA"

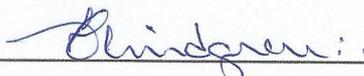
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Fabio Henrique Fonseca Santejani

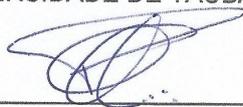
Coordenador de Trabalho de Graduação

**BANCA EXAMINADORA:**



Profª MSc. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. MSc. Paulo César Correa Lindgren

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. MSc. Carlos Evany Pinto

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

17 de Maio de 2018

## **DEDICATÓRIA**

Dedicamos este trabalho de graduação primeiramente a Deus, por ter nos dado saúde e forças para superar todas as dificuldades. Aos nossos pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Aos nossos irmãos, por todo carinho e admiração. A Universidade de Taubaté, pelo corpo de docentes e funcionários que estiveram presente durante esses anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, por sempre estar presente em nossas vidas, proporcionando bênçãos e conquistas diárias e nos encorajando a enfrentar os obstáculos. Aos nossos pais, nossos exemplos, os heróis de nossas vidas, nos momentos difíceis de desânimo e cansaço, nos deram a mão para continuar e seguir em busca dos nossos sonhos, com muito carinho e compreensão, não mediram esforços para que chegássemos até o dia de hoje e estarão conosco em todas as próximas conquistas. Aos nossos irmãos por compreenderem a ausência em alguns momentos e torcerem pela nossa conquista. Também agradecemos pela Universidade de Taubaté, pelo corpo docente que contribuiu para todo o aprendizado no curso de engenharia mecânica, aos professores orientadores deste trabalho e a todos que contribuíram para nossa trajetória acadêmica.

## RESUMO

O Processo de Vitriificação em Reatores Químicos trata-se de um estudo técnico relacionado ao uso do vidro como revestimento de vasos de pressão e tanques de armazenamento de produtos químicos. Este trabalho tem como finalidade demonstrar a eficiência da resistência á corrosão do processo de vitriificação nos reatores químicos em relação ao uso de ligas especiais. Com este assunto em estudo, será possível a disponibilidade da informação e conhecimento do processo ao público não especializado. O processo de vitriificação apresenta baixa taxa de corrosão, sendo assim, justifica-se esse tipo de reator ser utilizado para realizar reações químicas que certamente não seria possível sem esse revestimento. Para realização desta pesquisa foram utilizadas as metodologias: visita técnica na empresa Pfaudler, pesquisa bibliográfica e entrevista com especialistas. Os resultados obtidos, além de proporcionar o conhecimento do público não especializado, poderão ser utilizados para ajuda visual e em manuais nas empresas onde foram realizadas as pesquisas.

**Palavras-chave:** Reator químico, Vitriificação, Corrosão.

## **ABSTRACT**

The Vitrification Process in Chemical Reactors is a technical study related to the use of glass as a coating of pressure vessels and chemical storage tanks. This work aims to demonstrate the corrosion resistance efficiency of the vitrification process in chemical reactors in relation to the use of special alloys. With this subject under study, it will be possible the availability of information and knowledge of the process to the public non-specialized. The vitrification process presents a low corrosion rate, so it is justified that this type of reactor is used to perform chemical reactions that would certainly not be possible without this coating. To carry out this research the methodologies were used: technical visit at Pfaudler company, bibliographic research and interview with specialists. The results obtained, besides providing the knowledge of the non-specialized public, can be used for visual aid and manuals in the companies where the research was carried out.

**Keywords:**Chemicalreactor, Vitrification, Corrosion

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 Exemplo de reator químico.....	10
Figura 02 Modelo de vaso de pressão .....	15
Figura 03 Comparação de resistência à corrosão do Glassteel .....	17
Figura 04 Processo de Calandragem .....	20
Figura 05 Processo de Estampagem .....	21
Figura 06 Montagem de bocais nos tampos.....	21
Figura 07 Processo de soldagem SAW .....	23
Figura 08 Aplicação do vidro no aço com utilização do forno.....	23

## SUMÁRIO

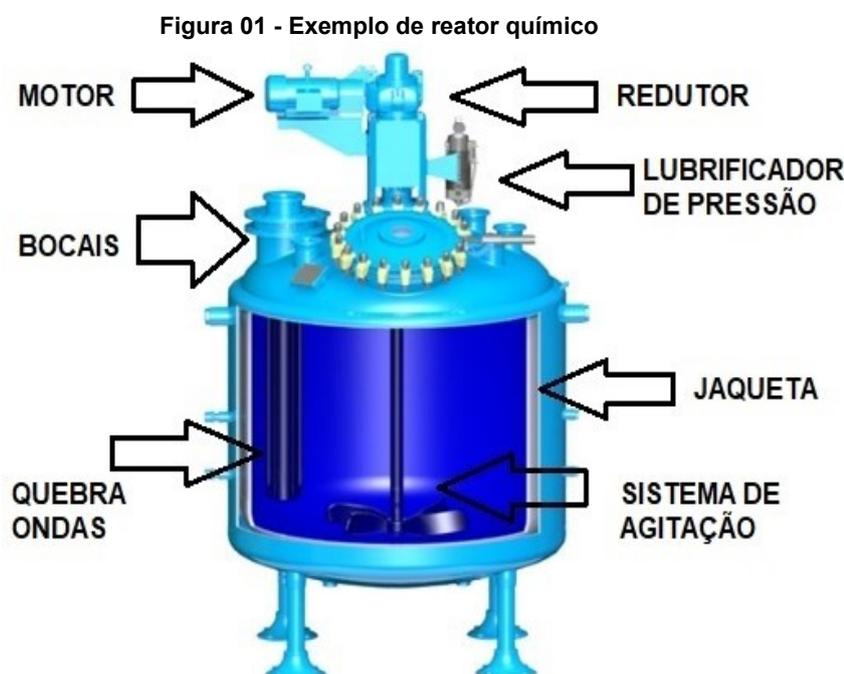
1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 Objetivos .....	11
1.1.1 Objetivo Geral .....	11
1.1.2 Objetivos Específicos.....	11
1.2 Delimitação do Estudo .....	11
1.3 Relevância do Estudo .....	11
1.4 Organização do Trabalho .....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 História da Indústria Química.....	13
2.2 Equipamentos utilizados na Indústria Química.....	13
2.3. Vasos de Pressão.....	14
2.4. Reator Químico.....	16
2.5. Processo de fabricação do Reator Químico Vitrificado.....	18
2.6 Etapas do processo de fabricação.....	19
3 METODOLOGIA.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	25
5 CONCLUSÃO .....	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria química tem a fabricação de uma lista amplificada de produtos e matérias primas para vários setores. Nestas fabricações estão os produtos para proteção de casas que são as tintas, produtos para manter a saúde da população e dos animais, conhecidos como os remédios e vacinas utilizados por várias décadas, incluindo os fertilizantes e defensivos agrícolas. Destacam-se entre as matérias primas, a fabricação de componentes para tintas, tais como solventes, pigmentos e resinas.

O reator químico é um dispositivo utilizado para conter reações químicas controladas. As reações ocorrem no interior do reator, em condições que podem ser monitoradas e controladas para a máxima segurança e eficiência do equipamento. Estes tipos de reatores são utilizados na produção de produtos químicos, tais como componentes de compostos farmacêuticos, insumos agrícolas, e podem operar em vários modos diferentes. Os reatores químicos trabalham muitas vezes com altas pressões e temperaturas, a fim de maximizar as reações químicas. Estes fatores conferem ao reator químico a necessidade de possuir adequadas propriedades mecânicas em seus constituintes. A jaqueta de um reator é o constituinte responsável pelo controle da temperatura da reação, através de trocas térmicas utilizando fluidos, gases ou vapores.

O processo de fabricação de reatores vitrificados é detalhado e inicia-se desde o recebimento e conferência da matéria prima segundo a norma ASME empregada no processo de fabricação de vasos de pressão. A **Figura 01** mostra um exemplo de um reator químico.



## **1.1Objetivos**

### **1.1.1Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é demonstrar a eficiência da resistência de corrosão do processo de vitrificação nos reatores químicos em relação ao uso de ligas especiais.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Um dos objetivos específicos é familiarizar academicamente os leitores de como o vidro pode ter empregado como revestimento de tanques e vasos de pressão que são muito utilizados nas indústrias químicas.

## **1.2 Delimitação do Estudo**

Este trabalho, apesar de oferecer uma visão geral sobre o processo de vitrificação de Reatores químicos não irá abordar cálculos detalhados e todos os processos empregados para se fabricar um reator químico, uma vez que faz parte do sigilo industrial.

## **1.3 Relevância do Estudo**

A busca de materiais que podem ser empregados em tanques e vasos de pressão nas indústrias químicas com grande resistência à corrosão e com um custo menor do que os tanques e vasos revestidos com ligas especiais.

## **1.4 Organização do Trabalho**

Este trabalho está dividido em seis capítulos, sendo que no primeiro capítulo encontram-se a Introdução, Objetivos, Delimitação e Relevância do estudo realizado.

No segundo capítulo, denominado de Revisão Bibliográfica, é retratado num contexto geral a história da Indústria Química e os conceitos técnicos do projeto.

No terceiro capítulo tem-se a Metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto, quinto e sexto capítulos são abordados os Resultados, a Discussão e a Conclusão do trabalho, respectivamente, seguidos das necessárias Referências utilizadas para compor este trabalho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 História da Indústria Química

A indústria química se iniciou a partir do século XIX, tendo como grande desenvolvimento originado da realização de descobrir novos produtos e materiais através de ensaios de laboratório e de produzir em uma escala industrial estes produtos e materiais através dos resultados obtidos nos ensaios. Sendo que os ensaios correspondem a química e as produções dos ensaios correspondem a engenharia química. Seu desenvolvimento foi baseado em duas fontes distintas: “indústria química alemã, que foi desenvolvida por químicos, partindo da química derivada do carvão” e a “indústria química norte americana, que foi desenvolvida por engenheiros químicos, partindo da química derivada do petróleo”.

No Brasil iniciou-se a experiência industrial com a fabricação de açúcar, em 1520 já se instalava o seu primeiro engenho. Entre 1500 e 1530 os corantes vegetais como Pau-Brasil, anil e ururu iniciaram o crescimento de exportação. Já em 1881 foi fundada em Sorocaba, interior do Estado de São Paulo a empresa F.Matarazzo operando inicialmente no ramo alimentício. Em 1911 mudou para a cidade de São Paulo, sendo responsável pela ampliação de um grande parque industrial onde se destacou os seguintes setores de fabricação química: óleos e gorduras no ano de 1920, raion-viscose no ano de 1924, pequena refinaria de petróleo no ano de 1936, ácido cítrico no ano de 1942, e a Geon do Brasil em associação com a BF Goodrich, empresa norte americana no ano de 1951, para a produção de PVC.

### 2.2 Equipamentos utilizados na Indústria Química

Os equipamentos que cumprem funções específicas em uma unidade fabril ou planta industrial são os principais equipamentos para utilização de uma indústria química, tais como:

✓ Bombas centrífugas: São equipamentos rotativos que tem como função a transferência de líquidos de um ponto a outro utilizando a força centrífuga de um rotor acionado por um motor elétrico ou uma turbina a vapor.

- ✓ Compressores de ar: São equipamentos destinados a elevar a pressão do ar atmosférico até uma pressão pré-estabelecida para a execução do trabalho. Este ar é confinado em um reservatório e daí descarregado através de dutos para a sua utilização.
- ✓ Ventiladores: São equipamentos que tem por finalidade movimentar o ar atmosférico em ambientes ou dutos.
- ✓ Caldeiras: São equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão maior que a pressão atmosférica, utilizando-se de qualquer fonte de energia.
- ✓ Trocadores de calor: São equipamentos de vários tipos e configurações onde ocorre transferência de energia sob a forma de calor entre duas ou mais massas de fluido que podem ou não estar em contato direto.
- ✓ Tubulações: São condutos fechados, podendo ser metálicos ou não, utilizados para o transporte de gases, óleos, vapores, lubrificantes e demais líquidos industriais, podendo ter variados diâmetros e espessura de parede.
- ✓ Acessórios: São todas as peças que tem a finalidade de unir, mudar de direção ou sentido, derivar, estrangular ou tamponar uma tubulação, tais como: *Curva, Tee, Joelho, Cruzeta, Luva, etc.*
- ✓ Válvulas: São dispositivos com a finalidade de reter, bloquear, aliviar um determinado fluido. As mais importantes no processo são as válvulas de gavetas, globos, retenção, agulhas, esferas e de alívio e segurança.
- ✓ Vasos de pressão: São equipamentos destinados a armazenar fluidos sobre pressão interna ou externa, também conhecido como unidade de processo de uma indústria química.

### 2.3 Vasos de Pressão

Os vasos de pressão são equipamentos que compõe uma unidade de processo de uma indústria química, tendo como a finalidade armazenar fluidos sobre uma pressão interna ou externa, o fluido armazenado pode sofrer uma alteração de estado como uma combinação com outros reagentes, conforme modelo na **Figura 02**. O vaso de pressão deve ser projetado com um alto cuidado respeitando suas especificações para não ocorrer nenhum tipo de ruptura, que pode se resultar em uma explosão podendo acabar com vidas

humanas e propriedades. A parede sujeita à pressão de um vaso é composta pelo casco (ou cascos) e seus tampos de fechamento. O casco tem o formato de uma superfície de revolução, sendo as formas, cilíndrica, cônica e esférica, podendo haver a combinações das três. Para a segurança do vaso existem alguns dispositivos de segurança, que tem como objetivo impedir que a pressão interna do vaso alcance valores que possam prejudicar sua estrutura. São exemplos de dispositivos de segurança: discos de ruptura, válvula quebra vácuo, plugues fusíveis, válvulas de alívio e segurança, etc.

Os instrumentos utilizados para indicação de pressão (manômetros) podem ter mostradores analógicos ou digitais, instalados no próprio vaso ou em uma sala de controle apropriada. Todos os vasos de pressão devem conter fixados em seu corpo a placa de identificação com as informações do fabricante, seu numero de identificação, ano de fabricação, pressão máxima de trabalho admissível, pressão de teste hidrostático, código de projeto e ano de edição.

**Figura 02 - Modelo de vaso de pressão**



**Fonte: Site Dgvitec**

## 2.4 Reator Químico

Os reatores químicos são vasos projetados para realizarem reações químicas de interesse e escala industrial e são ideais para trabalhos envolvendo agitação, misturas, homogeneização de substâncias, dissolução de sólidos em meio a líquidos ou materiais pastosos, podendo ser abertos para realizarem misturas ou fechados para suportar a pressão gerada durante a reação. As principais diferenças de um reator para um vaso de pressão são a presença de dispositivos de agitação (radial, tangencial, longitudinal), dispositivos de aquecimento ou resfriamento, a geometria, tipos de materiais e modo operacional. Os reatores químicos podem ser fabricados com diferentes tipos de materiais como aço carbono (com ou sem revestimento), aço inoxidável, polipropileno, titânio entre outros levando sempre em consideração as condições operacionais e as características físico-químicas dos reagentes e dos produtos utilizados no processo.

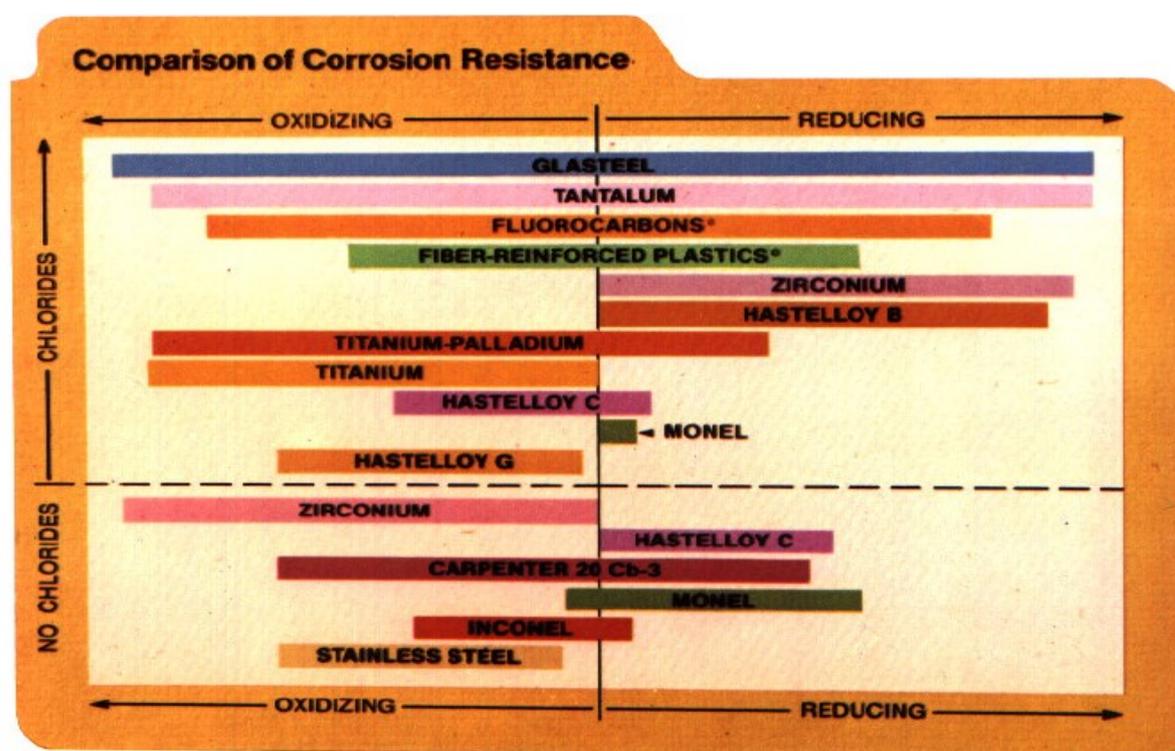
O modo de operação de um reator químico pode ser um processo contínuo onde a massa de alimentação e os produtos fluem continuamente enquanto dura o processo, descontínuo no qual a massa não é adicionada nem removida do processo durante a operação ou semi-contínuo onde ocorre entrada de massa, mas não é removido durante a operação ou não havendo entrada de massa e só remoção de produto. Diversas variáveis afetam o desempenho de um reator químico tais como tempo de residência, volume, temperatura, pressão, concentração dos componentes químicos, coeficientes de transferência de calor, entre outros fatores que afetam direta ou indiretamente o processo.

Geralmente os reatores químicos são envoltos por uma serpentina por onde circulam fluidos ou gases a fim de controlarem a temperatura (refrigeração para reações exotérmicas ou aquecimento para reações endotérmicas). Por realizarem reações de produtos químicos, o projeto de reatores químicos trata com muitos aspectos de engenharia química sendo que um deles é a corrosão. Uma das soluções para esse tipo de problema é a utilização de reatores em aço carbono revestidos internamente com vidro que é o tema do nosso estudo.

Quando o Sr. Casper Pfaudler combinou, pela primeira vez, vidro com aço, em 1884, para acelerar a fermentação da cerveja, ele não imaginava as amplas aplicações que a sua invenção teria nas indústrias de processamentos químicos. Certas características associam-se, de imediato, a estes materiais comuns. O vidro é polido, inerte e resistente à corrosão porém frágil. O aço é forte, durável, pode ser cortado e laminado porém não resistente aos ataques corrosivos. Unidos, no entanto, obtém-se um material de propriedades únicas: o GLASTEEL Pfaudler.

Este material torna possível a fabricação dos reatores vitrificados, que são muito utilizados em indústrias químicas, devido a sua grande resistência ao ataque de ácidos e álcalis conforme ilustrado na **Figura 03**. Na tabela abaixo é comparada a resistência à corrosão do GLASSTEEL, e vários materiais em um ambiente ácido. A extensão da aplicação de cada material é a parte total da tabela que se encontra abaixo da faixa indicativa do material. Os materiais com faixas mais longas são mais apropriados numa extensão maior de serviços de oxidação e redução do que aqueles com faixas mais curtas.

Figura 03—Comparação de resistência à corrosão do Glassteel



Fonte: Catálogo da Pfaudler: Como e Porque usar Glassteel

O vidro é um material que possui características únicas, tanto por sua constituição natural quanto por seus variados processos de fabricação. Por ser um sólido bastante parecido com um líquido, cada alteração aplicada às gotas de vidro podem gerar novos materiais. No processo de vitrificação em reatores químicos foi utilizado como revestimento o vidro borossilicato, também conhecido como refratário, sendo um material que possui um baixíssimo coeficiente de dilatação, o que o torna resistente a choques térmicos, suportando tanto altas quanto baixas temperaturas, sendo resistente também aos agentes químicos.

O vidro borossilicato possui um coeficiente de dilatação menor que o do vidro comum, e, por isso, é menos maleável às variações de temperatura. Sua temperatura de fusão também é mais alta, fazendo dele menos vulnerável ao aquecimento. Essas características garantem mais resistência ao material, fazendo com que ele seja um utensílio perfeito para laboratórios e indústrias químicas.

Ele foi inventado na Alemanha pelo químico e técnico de vidros Otto Schott, após um processo de desenvolvimento que decorreu entre 1887 e 1893, altura em que começou a ser comercializado. Entretanto foram registradas várias marcas de vidro borossilicato, como por exemplo, *Pyrex* pela Corning Glass Works em 1915, que se tornou um sinônimo deste tipo de vidro.

A única substância que não pode ser usada no reator químico vitrificado é o ácido clorídrico, pois ele ataca a sílica, resultando em uma não garantia de boa resistência a corrosão.

## **2.5 Processo de fabricação do Reator Químico Vitrificado**

Os Reatores químicos vitrificados passam por diversos tipos de processos de conformação mecânica durante o seu processo de fabricação, tais como:

✓ Calandragem: É um processo de conformação no qual a chapa passa entre rolos cilíndricos para formar um cilindro, tubo, etc. conferindo uma curvatura, espessura constante e um acabamento de qualidade.

- ✓ Estampagem: É um processo de fabricação no qual o metal é fixado em uma matriz e submetido a uma força de punção, para adquirir a forma geométrica da matriz.
- ✓ Soldagem: É um processo de união dos materiais, similares ou não, de forma permanente, podendo ou não empregar uma determinada pressão ou aplicação de calor.
- ✓ Fundição: É um processo de conformação a quente, no qual o metal ou ligas metálicas, em seu estado líquido, são inseridos em um molde para a formação de vários tipos de peças.
- ✓ Teste ultrassônico: O teste ultrassônico de materiais é feito com o uso de ondas mecânicas ou acústicas colocadas no meio em inspeção, ao contrário da técnica radiográfica, que usa ondas eletromagnéticas. O ensaio por ultrassom caracteriza-se por ser um método não destrutivo com o objetivo de detectar discontinuidades internas, presentes nos mais variados tipos ou formas de materiais ferrosos ou não ferrosos.
- ✓ Ensaio por líquido penetrante: O ensaio por líquido penetrante tem por finalidade detectar discontinuidades superficiais do material, tais como, trincas, poros, dobras, etc. Com a superfície a ser ensaiada totalmente limpa aplica-se o líquido penetrante, que por um fenômeno denominado capilaridade, penetra nas discontinuidades. Após a aplicação remove-se o excesso do penetrante e aplicasse um filme uniforme de revelador na superfície que absorve o líquido penetrante das discontinuidades, revelando-as.
- ✓ Raios-X: O ensaio por raios-X em materiais é utilizado com o intuito de identificar fissuras internas, o método está baseado na variação da atenuação da radiação eletromagnética (Raios X ou Gama), causada pela presença de discontinuidades durante a passagem da radiação pela peça, sendo a imagem registrada em um filme radiográfico ou em um sistema de radioscopia, tipo intensificador e integrador de imagem que mostra o resultado em um monitor.

## **2.6 Etapas do processo de fabricação**

O processo de fabricação de um reator vitrificado inicia-se pela engenharia de processos realizando todos os estudos das condições

operacionais do reator, levando – se em consideração aspectos como pressão de trabalho, tipo de revestimento, condições do produto a ser fabricado, tipo de sistema de agitação, etc. A primeira etapa após o estudo da engenharia é o processo de calandragem da chapa especificada, para formar o corpo do vaso. Com a utilização de uma calandra a chapa passa entre rolos cilíndricos para adquirir a forma desejada, neste caso, a forma de tubo, conforme as dimensões especificadas pela necessidade do cliente. Assim demonstrado na **Figura 04** a seguir.

Para a confecção dos tampos superiores e inferiores do vaso são cortados discos desenvolvidos que passarão pelo processo de estampagem e rebordamento, assumindo assim o formato de uma calota abaulada, no qual serão estampados todos os bocais, inclusive o bocal de visita na tampa superior do vaso. Primeiramente são traçados as orientações dos bocais, descritas no desenho, que serão cortados e estampados a fim de obter uma superfície curva e de bom acabamento para aplicação adequada do vidro, em operações posteriores conforme demonstrado na **Figura 05**, após a estampagem, são soldados os stub-ends e flanges que darão a forma e dimensão aos bocais, demonstrado na **Figura 06**.

**Figura 04 - Processo de Calandragem**



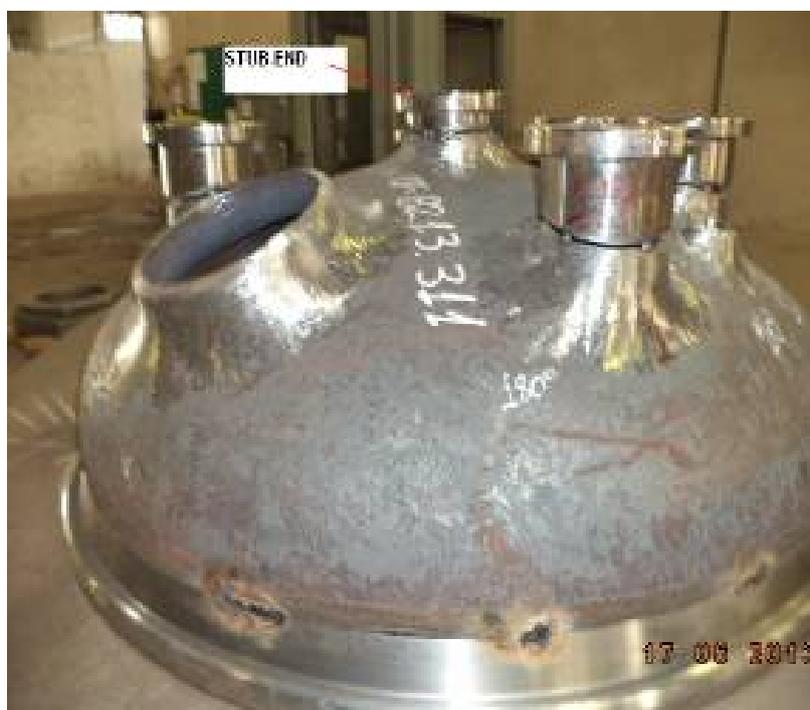
Fonte: Site Everton600

**Figura 05 - Processo de Estampagem**



**Fonte: Catálogo Equipamentos metálicos - BV-91-100-1**

**Figura 06 - Montagem de bocais nos tampos**



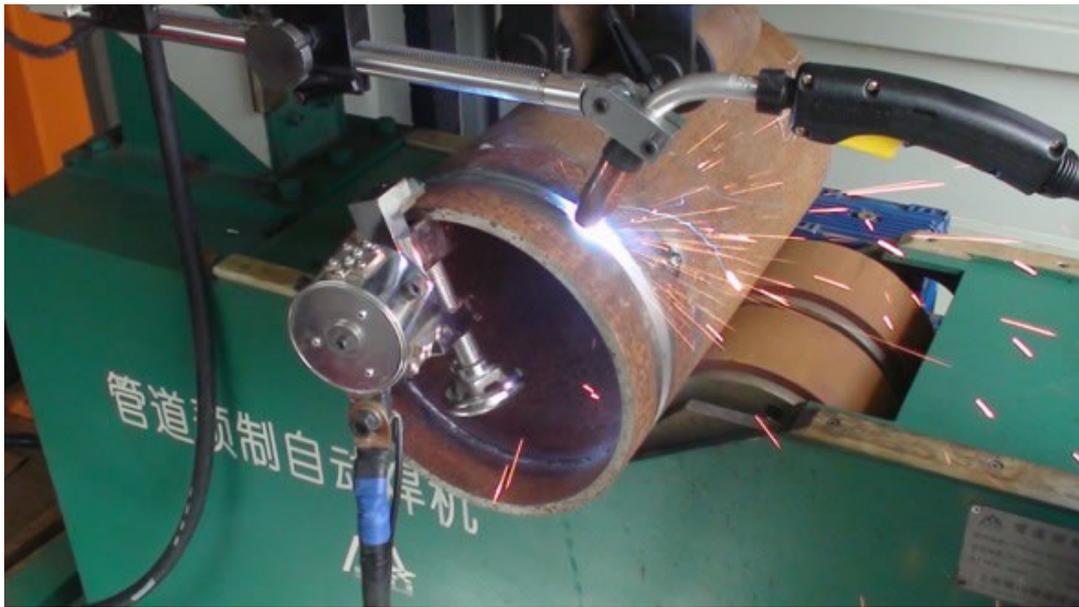
**Fonte: Teste Auditoria ASME**

Com o corpo e os tampos prontos inicia-se o processo de soldagem, que é de extrema importância no processo de fabricação do vaso e exige um cuidado muito especial. Máquinas e dispositivos automáticos, asseguram soldas contínuas e uniformes no corpo do vaso, tampos e bocais, ilustrado na **Figura 07**. Após todas as soldas serem realizadas, elas são submetidas a ensaios não destrutivos como Líquido penetrante, Raios-X, Ultrassom para garantir que a solda não apresente nenhum tipo de descontinuidade que poderá acarretar em uma grande complicação no processo de vitrificação. Após o vaso estar totalmente acabado ele passa pelo processo de jateamento com granalha de aço, a fim de preparar uma superfície limpa e apropriada para receber o vidro. Até aqui temos um vaso em aço carbono, que será revestido primeiramente com duas camadas de esmalte, que faz com que seja possível a aplicação do vidro no aço, e utilizando fornos elétricos com temperaturas em torno de 900°C para a queima dos equipamentos, consegue-se a fusão aço+vidro conforme demonstra a **Figura 08**.

O vaso vai ganhando uma nova aparência, à medida que o vidro vai sendo aplicado. Serão aplicadas duas camadas de esmalte base e, depois, várias camadas de vidro até que a superfície torna-se dura e lisa, com um acabamento natural. O processo de vitrificação é acompanhado pelo controle de qualidade que faz diferentes tipos de inspeções nos equipamentos, desde medições de espessura e inspeção visual após cada camada de queima, até o teste elétrico, com voltagem de 20 KV, do revestimento que garante um revestimento perfeito e assegurando uma ótima proteção contra a corrosão. Após todas essas etapas temos um vaso vitrificado, que irá receber acessórios, tais como, sistema de agitação, sistema de resfriamento e aquecimento, tampas, dispositivos de medição de pressão a fim de se tornar um reator vitrificado.

Após todos os acessórios serem montados no vaso, tornando-o assim um reator, o mesmo passa por testes de pressão e funcionamento a fim de garantir que o equipamento não apresente nenhum tipo de vazamento e que esteja em conformidade com o projeto.

**Figura 07 - Processo de soldagem SAW**



Fonte: Site Etwinternational

**Figura 08 - Aplicação do vidro no aço com utilização de forno**



Fonte: Site Pfaudler

### 3 METODOLOGIA

A finalidade deste estudo é relacionar as características do processo de vitrificação. As informações necessárias foram obtidas pela empresa Pfaudler, por meio de visitas técnicas, entrevistas com especialistas como inspetores de vitrificação, engenheiros e diretores da empresa. Na visita técnica foi possível verificar o processo de fabricação dos reatores vitrificados passando por todas as etapas, incluindo a correta utilização dos equipamentos industriais.

As entrevistas com os especialistas foram com os Srs. André Boigues, Emilio Giannella Neto e Gustavo Dias, sendo eles, respectivamente, diretor geral, diretor de tecnologia e inspetor de vitrificação, que nos mostraram o processo como um todo, identificando em cada etapa dos componentes já descritos anteriormente nos itens 2.5 e 2.6.

O processo de vitrificação é realizado seguindo a norma ASME, que juntamente com as especificações requisitadas e o estudo do departamento de engenharia, proporcionam em seus produtos a qualidade e segurança de seus reatores vitrificados utilizados em vários países.

A ASME é a sigla oficial da Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos e oferece uma diretriz padronizada para uma variedade de equipamentos nas indústrias para uma variedade de equipamentos nas indústrias. Essa organização é composta por engenheiros que verificam as variáveis para os equipamentos sob pressão. A certificação ASME U – Stamp é empregada por fabricantes deste tipo de equipamento e os conselhos de certificação estejam confortáveis com o padrão e manutenção do equipamento. A certificação ASME U – Stamp é respeitada pelos profissionais do setor e faz parte do processo que garante a segurança e a produção ideais não sejam comprometidas. Essa certificação aprova caldeiras, reatores e outros vasos de pressão envolvidos na indústria, esses tipos de equipamentos suportam pressão excessiva e desgaste elementar, criando a necessidade de um conjunto de padrões e protocolos para minar o mau funcionamento e aperfeiçoar a eficiência dessas máquinas.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A formação do corpo do reator se dá por meio da calandragem e dos tampos por estampagem, ambos seguidos por soldagem. O reator, quando acabado, passa por jateamento com granalha de aço, preparando-se uma superfície limpa e apropriada para receber o vidro. Revestido com duas camadas de esmalte base, o vaso recebe, em seguida, várias camadas de vidro. A cada camada de vidro ele é levado ao forno elétrico a cerca de 900°C.

O processo de vitrificação é acompanhado pelo controle da qualidade, que realiza diferentes tipos de inspeções, desde medições de espessura e inspeção visual, até o teste elétrico, com voltagem de 20 KV, garantindo um revestimento homogêneo, sem falhas, e assegurando uma eficiente proteção contra a corrosão.

## 5 CONCLUSÃO

A escolha de reatores químicos vitrificados está intrinsecamente relacionada às aplicações em processos que necessitam de alta resistência à corrosão. O equipamento possui um custo relativamente menor em relação a outros, fabricados em ligas especiais, além de ter grande vida útil, apesar de ter elevada fragilidade em seu interior vitrificado. Na fabricação do reator vitrificado são necessários os estudos operacionais e desenvolvimentos do departamento de engenharia, seguindo os requisitos da norma ASME, que certifica as empresas e garante que os produtos possuem o padrão solicitado pelo mercado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aplicação reator químico. Disponível em <http://www.guesap.com.br/reactores-quimicos-industriais>, acesso em 07 de setembro de 2017.

FELDER, Richard M., ROUSSEAU, Ronald W., Princípios Elementares de Processos Químicos, Editora: LTC, 2005, 3ª. Ed.

Funções reator químico. Disponível em <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3970-funcoes-de-um-reator-quimico/> , acesso em 07 de setembro de 2017.

Imagem montagem de bocais nos tampos. Disponível em <http://www.metaltampos.com.br/empresa-tampos>, acesso em 07 de setembro de 2017

Imagem processo de calandragem. Disponível em <https://calandrasdechapa.wordpress.com/page/3/>, acesso em 07 de setembro de 2017

Imagem processo de soldagem SAW. Disponível em [http://www.ibarga.com/pt/secciones\\_servicios.asp](http://www.ibarga.com/pt/secciones_servicios.asp), acesso em 07 de setembro de 2017

Imagem reator químico. Disponível em <https://www.pfaudler.com/pt/solu%C3%A7%C3%B5es/Solucoes-farmaceuticas-API>>, acesso em 07 de setembro de 2017

Imagem reator vitrificado. Disponível em <https://www.pfaudler.com/pt/produtos/Reactores-para-grandes-volumes>, acesso em 07 de setembro de 2017

Reator químico. Disponível em

<[http://engenhariaquimica2.blogspot.com.br/2015/10/reatores-quimicos-g6\\_43.html](http://engenhariaquimica2.blogspot.com.br/2015/10/reatores-quimicos-g6_43.html)>, acesso em 07 de setembro de 2017.

SHREVE, R. Norris, JUNIOR, Joseph A. Brink. Indústrias de Processos Químicos. Editora: Guanabara, Rio de Janeiro, 1994. 4<sup>a</sup>. Ed.

Imagem figura 03 – comparação de resistência a corrosão. Catálogo Pflauder 1117B, Como e porque usar GlassteelPfaudler.

Vidro Borossilicato. Disponível em:

<http://www.anavidro.com.br/o-que-e-vidro-borossilicato/>, acesso em 20/05/2018.

ASME, Boiler and Vesses Code 2017