

## **Vassos de pressão: projeto mecânico segundo fundamentos teóricos e normativos em revisões recentes**

*Pressure Vessels: Mechanical Design According to Theoretical and Normative Fundamentals in Recent Reviews*

**Alex Teixeira Tejas** Graduando em Engenharia Mecânica - [alex.pvh201235@gmail.com](mailto:alex.pvh201235@gmail.com)

**Professor Orientador(a): Leonardo Felipe Deblino Leite** - Faculdade Unesc Unama de Porto Velho PortoVelho, RO, Brasil

### **RESUMO**

O presente trabalho aborda os fundamentos teóricos, construtivos e normativos aplicáveis ao projeto mecânico de vasos de pressão, equipamentos amplamente utilizados em diversos setores industriais, como o petroquímico, alimentício e energético. O estudo tem como objetivo analisar as exigências das normas ASME Section VIII e ABNT NBR 13.531, bem como seus impactos na segurança e na integridade estrutural desses dispositivos. Foram discutidos aspectos como esforços e tensões atuantes, formas construtivas e cálculo da espessura mínima, além da importância da aplicação adequada dos fatores de segurança. A pesquisa também enfatiza os métodos de avaliação de integridade e os critérios de falha, essenciais para garantir a operação segura e contínua dos vasos. A partir da revisão bibliográfica, conclui-se que a observância das normas técnicas e o correto dimensionamento mecânico são determinantes para a confiabilidade, eficiência e longevidade dos vasos de pressão.

**Palavras-chave:** vasos de pressão; projeto mecânico; ASME Section VIII; ABNT NBR 13.531; integridade estrutural; segurança operacional.

### **ABSTRACT**

This study addresses the theoretical, constructive, and normative fundamentals applicable to the mechanical design of pressure vessels, which are widely used across various industrial sectors such as petrochemical, food, and energy. The main objective is to analyze the requirements established by ASME Section VIII and ABNT NBR 13.531 and their impact on the safety and structural integrity of these devices. The discussion covers aspects such as acting stresses and loads, constructive forms, and the calculation of minimum wall thickness, in addition to the importance of properly applying safety factors. The research also emphasizes integrity assessment methods and failure criteria, which are essential to ensure the safe and continuous operation of pressure vessels. Based on the bibliographic review, it is concluded that compliance with technical standards and proper mechanical design are crucial for the reliability, efficiency, and longevity of pressure vessels.

**Keywords:** pressure vessels; mechanical design; ASME Section VIII; ABNT NBR 13.531; structural integrity; operational safety.

### **INTRODUÇÃO**

Os vasos de pressão são recipientes destinados à contenção de fluidos pressurizados e desempenham papel fundamental em diversos setores da economia, como nas indústrias petroquímica, alimentícia e de geração de energia. Devido às condições severas de operação, torna-se indispensável que seu projeto mecânico atenda rigorosamente aos requisitos

normativos de funcionamento e segurança, assegurando sua integridade estrutural e eficiência operacional (Silva, 2017). Diante dessa relevância, este estudo propõe-se a revisar os fundamentos teóricos e as normas técnicas que regulamentam o projeto de vasos de pressão, com ênfase nas diretrizes da ASME Section VIII e nas normas da ABNT, buscando compreender como essas regulamentações contribuem para o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos.

O problema central que orienta esta pesquisa é: de que forma as diretrizes das normas técnicas da ASME Section VIII e da ABNT contribuem para a integridade e segurança nos projetos mecânicos de vasos de pressão? Parte-se da hipótese de que tais normas têm papel essencial ao garantir a padronização dos critérios de dimensionamento, a seleção adequada de materiais e a redução de falhas durante a operação, o que assegura maior confiabilidade e segurança às instalações industriais

O objetivo geral deste estudo é analisar os fundamentos teóricos e as normas técnicas aplicáveis ao projeto mecânico de vasos de pressão, com base em literatura científica e técnica atualizada. Como objetivos específicos, busca-se identificar os principais critérios de dimensionamento mecânico, abrangendo os esforços atuantes e os tipos de tensões mais relevantes; apresentar os fatores de segurança exigidos pelas normas; e comparar os requisitos estabelecidos pela ASME Section VIII e pela ABNT.

A metodologia adotada consiste em uma revisão bibliográfica qualitativa, com levantamento de artigos científicos, manuais técnicos, normas e documentos especializados. As pesquisas serão realizadas em bases de dados como SciELO, Google Acadêmico, ABNT e ASME, priorizando publicações entre 2015 e 2025. Essa abordagem permitirá identificar os principais critérios e padrões que orientam o projeto mecânico de vasos de pressão, contribuindo para uma compreensão aprofundada das boas práticas de engenharia e dos parâmetros normativos que sustentam a segurança e a eficiência desses equipamentos.

## CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DOS VASOS DE PRESSÃO

Os vasos de pressão, além de armazenarem fluidos sob pressão, desempenham papel estratégico em processos industriais complexos, nos quais a confiabilidade e a segurança são indispensáveis. Sua concepção requer atenção rigorosa aos parâmetros de projeto, como espessura das paredes, materiais empregados e condições de operação. Conforme salientam Martins, Brandão e Rodrigues (2020), o projeto de um vaso de pressão deve sempre priorizar

a integridade estrutural, de modo a evitar colapsos, vazamentos ou rupturas decorrentes de sobrepressão ou fadiga dos materiais.

Esses equipamentos podem operar sob pressão interna, quando a pressão interna é superior à atmosférica, ou sob pressão externa, como ocorre em vasos de vácuo. Em ambos os casos, a resistência mecânica deve ser dimensionada com base em cálculos precisos que levem em consideração fatores como tensões tangenciais, longitudinais e radiais. Henn e Konno (2022) destacam que a análise dessas tensões é crucial para a prevenção de falhas, sendo um dos pontos centrais das normas internacionais de projeto, como a ASME Section VIII.

A escolha do material utilizado na fabricação também influencia diretamente o desempenho do vaso. Materiais como aço carbono, aço inoxidável e ligas especiais são frequentemente empregados, variando conforme o tipo de fluido e a faixa de temperatura de operação. Em aplicações que envolvem fluidos corrosivos, o uso de revestimentos internos ou a seleção de ligas resistentes à corrosão é essencial para prolongar a vida útil do equipamento e garantir a segurança operacional (Martins; Brandão; Rodrigues, 2020).

Além dos aspectos estruturais, a geometria do vaso de pressão é outro elemento determinante para sua eficiência. Vasos cilíndricos e esféricos são as configurações mais comuns, pois distribuem uniformemente as tensões e permitem melhor aproveitamento do material. Vasos esféricos, por exemplo, suportam pressões mais elevadas com menor espessura de parede, sendo indicados para armazenamento de gases em alta pressão. Já os vasos cilíndricos são preferidos por sua facilidade de fabricação e manutenção (Henn; Konno, 2022).

No que se refere à classificação normativa, a ASME Section VIII subdivide os vasos em Divisão 1, 2 e 3, de acordo com o nível de complexidade e o grau de risco associado. A Divisão 1 contempla projetos mais simples, enquanto a Divisão 2 envolve cálculos detalhados e exigências mais rigorosas de projeto e inspeção. A Divisão 3, por sua vez, aplica-se a vasos de altíssima pressão, geralmente utilizados em processos críticos da indústria química e nuclear (Santos, 2022).

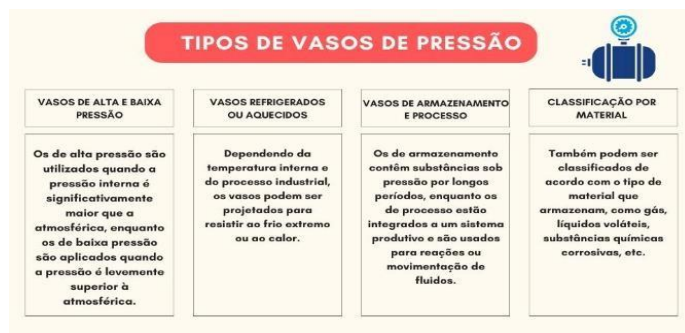
A ABNT também adota critérios semelhantes em suas normas correlatas, enfatizando a importância de se considerar a categoria de risco e o potencial de danos em caso de falhas. Essa padronização nacional busca garantir a harmonização entre os requisitos brasileiros e os internacionais, contribuindo para a segurança industrial e a competitividade das empresas. Dessa forma, a conformidade normativa é uma exigência não apenas técnica, mas também legal, uma vez que regula a fabricação, a operação e a inspeção periódica dos vasos (Martins;

Brandão; Rodrigues, 2020).

Na classificação dos vasos segundo sua função dentro do processo industrial. Vasos de armazenamento têm como principal finalidade reter fluidos pressurizados; vasos de processo realizam transformações químicas ou físicas sob pressão; e vasos intercambiadores de calor são projetados para transferir energia térmica entre fluidos. Cada categoria exige requisitos específicos de projeto e manutenção, considerando variáveis como troca térmica, expansão térmica e resistência à fadiga (Santos, 2022).

A manutenção e a inspeção periódica dos vasos de pressão são etapas indispensáveis para a preservação da segurança operacional. As normas da ASME e da ABNT determinam a necessidade de ensaios não destrutivos, verificações dimensionais e controle rigoroso de soldas, com o objetivo de identificar possíveis defeitos estruturais antes que resultem em falhas catastróficas. Segundo Henn e Konno (2022), a correta aplicação dessas medidas preventivas reduz significativamente o risco de acidentes e prolonga a vida útil dos equipamentos, reforçando a importância do cumprimento das normas desde o projeto até a operação.

**Figura 1:** Tipos de vasos de pressão



Fonte: <https://www.mindus.com.br/blog-posts/vasos-de-pressao>

## ESFORÇOS E TENSÕES ATUANTES: INTERNAS, EXTERNAS, TÉRMICAS E POR MONTAGEM

Os vasos de pressão estão submetidos a um conjunto complexo de esforços e tensões que variam de acordo com as condições de operação, o tipo de fluido, a temperatura e o processo de fabricação. A análise adequada dessas tensões é essencial para garantir a integridade estrutural do equipamento e prevenir falhas catastróficas. Segundo Silva (2017), compreender o comportamento dos esforços internos e externos permite dimensionar

corretamente as espessuras das paredes, os reforços e os suportes estruturais, assegurando que o vaso opere dentro dos limites seguros.

As tensões internas são as mais comuns e decorrem da pressão exercida pelo fluido contido no interior do vaso. Essa pressão gera esforços de tração nas paredes, distribuídos em tensões circunferenciais (ou de aro) e

longitudinais. A tensão circunferencial é a mais crítica, pois tende a separar o vaso ao longo do seu comprimento, sendo o principal fator de dimensionamento. Já a tensão longitudinal atua no sentido do eixo do vaso e, embora de menor intensidade, também deve ser considerada para garantir estabilidade e segurança (Henn; Konno, 2022).

Quando o vaso opera sob condições de vácuo ou submetido a pressões externas, o comportamento estrutural se inverte. Nessas situações, as paredes do recipiente sofrem compressão, podendo ocorrer instabilidade e colapso por flambagem se não houver reforços adequados. O cálculo para pressão externa é, portanto, distinto e mais rigoroso, exigindo verificações adicionais de espessura mínima, rigidez e resistência ao colapso elástico. Esses parâmetros são estabelecidos pelas normas ASME Section VIII e ABNT, que orientam o projeto de vasos de pressão sujeitos a vácuo parcial ou total (Santos, 2022).

Além das tensões geradas pela pressão, há também aquelas provenientes das variações térmicas. Em ambientes industriais, a diferença de temperatura entre o interior e o exterior do vaso pode ser significativa, ocasionando dilatações diferenciais que induzem tensões térmicas. Essas tensões tendem a se concentrar em regiões de solda, bocais e conexões, onde as variações geométricas são maiores. A análise térmica, portanto, é indispensável no projeto e deve considerar gradientes de temperatura, ciclos térmicos e efeitos de fadiga, garantindo que o material resista a repetidas variações sem perda de resistência (Henn; Konno, 2022).

Os efeitos térmicos tornam-se ainda mais relevantes em vasos utilizados em processos cíclicos, como em reatores e trocadores de calor, onde o aquecimento e o resfriamento ocorrem continuamente. Nessas condições, a fadiga térmica pode provocar microtrincas superficiais que evoluem para falhas mais graves. Por isso, o uso de materiais com elevada resistência à fadiga e boa condutividade térmica é recomendado, assim como a implementação de revestimentos internos e sistemas de controle de temperatura (Silva, 2017).

Durante o processo de fabricação e montagem, surgem as chamadas tensões residuais, resultantes principalmente da soldagem e da conformação a frio. Essas tensões permanecem no material mesmo após o término da produção, podendo afetar o desempenho

do vaso em operação. De acordo com Santos (2022), se não forem devidamente tratadas, as tensões residuais podem gerar deformações, trincas e falhas prematuras, especialmente em equipamentos submetidos a ciclos repetitivos de carga e descarga.

Para reduzir os efeitos das tensões residuais, é comum empregar tratamentos térmicos de alívio, realizados após a soldagem. Esse procedimento consiste em aquecer o vaso até uma temperatura controlada e, em seguida, resfriá-lo lentamente, promovendo a redistribuição uniforme das tensões internas. Esse tratamento aumenta a ductilidade do material, reduz o risco de trincas e melhora o comportamento mecânico sob carga (Henn; Konno, 2022).

No controle dimensional e a precisão durante a montagem do equipamento. Pequenos desalinhamentos, soldas mal executadas ou deformações locais podem gerar tensões adicionais que comprometem a segurança do vaso. Por isso, o monitoramento rigoroso das etapas de fabricação, inspeção e ensaio não destrutivo é indispensável. Segundo Silva (2017), a análise conjunta dos esforços internos, externos, térmicos e residuais permite um projeto mais robusto, alinhado às normas técnicas e capaz de garantir segurança e durabilidade durante toda a vida útil do equipamento.

## **FATORES DE SEGURANÇA: HISTÓRICO E APLICAÇÃO PRÁTICA**

O conceito de fator de segurança tem suas origens nos primórdios da engenharia estrutural, quando o conhecimento sobre as propriedades dos materiais e os métodos de cálculo era limitado. Nos primeiros projetos de vasos de pressão e outras estruturas metálicas, os engenheiros adotavam valores elevados de fator de segurança como forma de compensar as incertezas associadas às variações de carga, imperfeições geométricas e falhas nos processos de fabricação. De acordo com Zeferino (2023), esse critério empírico garantia uma margem de segurança ampla, ainda que resultasse em equipamentos superdimensionados e economicamente menos eficientes.

Com o avanço da ciência dos materiais e o desenvolvimento de técnicas experimentais, o fator de segurança passou a ser estabelecido com base em fundamentos estatísticos e em análises de resistência mecânica. As normas internacionais, como a ASME Section VIII, e as normas brasileiras, como a ABNT NBR 13.531, definem critérios

específicos de dimensionamento que levam em consideração as tensões admissíveis, o comportamento dos materiais sob pressão e as condições ambientais às quais o vaso será

exposto (Conceição, 2023). Assim, o conceito evoluiu de uma simples margem empírica para um parâmetro técnico fundamentado em dados científicos.

Na aplicação prática, o fator de segurança é empregado para garantir que o vaso de pressão suporte esforços superiores aos previstos durante a operação normal, oferecendo uma reserva de resistência contra eventuais sobrecargas. Segundo Oliveira H.G.D. (2023), o dimensionamento deve considerar a pressão de projeto, que é maior que a pressão de operação, assegurando que pequenas variações não comprometam a integridade do equipamento. Essa diferença entre os valores de pressão garante que, mesmo em situações de emergência, o vaso mantenha sua estabilidade estrutural.

Os fatores de segurança são determinados levando-se em conta diversos elementos, como o tipo de material, o processo de fabricação, o método de soldagem e as condições ambientais. Em vasos sujeitos à corrosão, por exemplo, são adotadas espessuras adicionais e margens de segurança maiores, prevenindo a perda de resistência ao longo do tempo. Já em equipamentos expostos a ciclos térmicos intensos, o fator de segurança deve contemplar as tensões térmicas e os efeitos de fadiga, que podem reduzir a vida útil do material (Zeferino, 2023).

Historicamente, a ASME Section VIII recomenda fatores de segurança na faixa de 3,5 a 4,0 para materiais metálicos, valores que foram sendo ajustados ao longo das décadas conforme o avanço da tecnologia e a melhoria nos processos de controle de qualidade. A ABNT NBR 13.531 segue princípios semelhantes, mas adapta os critérios à realidade industrial brasileira, considerando aspectos de fabricação, inspeção e manutenção específicos do país (Conceição, 2023). Esses ajustes permitem alcançar um equilíbrio entre segurança, desempenho e viabilidade econômica.

Além da fase de projeto, o fator de segurança tem papel relevante durante a operação e as inspeções periódicas dos vasos de pressão. Em auditorias técnicas e fiscalizações, o valor utilizado no dimensionamento é verificado como item essencial de conformidade, sendo parte integrante da documentação técnica do equipamento. Oliveira

H.G.D. (2023) destaca que o não atendimento aos valores normativos pode implicar na interdição do equipamento e até em penalidades legais, dada a gravidade dos riscos associados a possíveis falhas.

A correta aplicação do fator de segurança também impacta diretamente a confiabilidade operacional e os custos de manutenção. Vasos projetados com margens adequadas apresentam menor probabilidade de falha, demandam menos intervenções corretivas e têm maior durabilidade. No entanto, um fator de segurança

excessivamente alto pode aumentar o peso e o custo do equipamento, comprometendo sua eficiência econômica. Dessa forma, o engenheiro projetista deve buscar o equilíbrio ideal entre segurança e otimização estrutural, considerando o contexto de uso do vaso (Zeferino, 2023).

O observa-se que o fator de segurança, mais do que um simples número no cálculo de resistência, representa um princípio de responsabilidade técnica e ética na engenharia. Ele traduz a necessidade de garantir a proteção das pessoas, do meio ambiente e das instalações industriais contra acidentes decorrentes de falhas estruturais. A aplicação criteriosa desse conceito, sustentada por normas e práticas consolidadas, assegura que os vasos de pressão operem de forma confiável, segura e sustentável ao longo de toda sua vida útil (Oliveira H.G.D., 2023).

## **FORMAS CONSTRUTIVAS E GEOMETRIA: CILÍNDROS, ESFÉRICOS, TAMPAS ELÍPTICAS, ENTRE OUTROS**

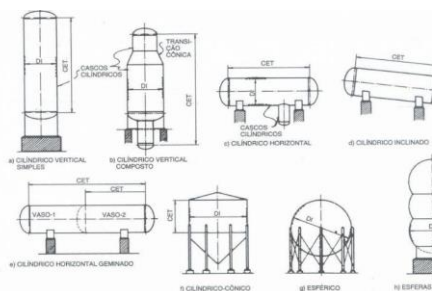
A geometria dos vasos de pressão exerce influência direta sobre sua capacidade de suportar cargas internas e externas, bem como sobre a eficiência do uso de materiais. Entre as diversas formas possíveis, a cilíndrica é a mais amplamente empregada em processos industriais, especialmente pela simplicidade de fabricação, facilidade de transporte e manutenção. Segundo Santos (2022), os vasos cilíndricos são preferidos em aplicações de médio porte, nas quais o custo e a praticidade de montagem são fatores determinantes. Além disso, a forma cilíndrica permite o uso de chapas metálicas planas curvadas, reduzindo o desperdício de material e facilitando a execução das soldas longitudinais e circunferenciais. Os vasos esféricos, por outro lado, apresentam um comportamento estrutural superior no que se refere à distribuição de tensões. Essa geometria é capaz de suportar pressões internas elevadas com espessuras menores de parede, devido à uniformidade na distribuição dos esforços em todas as direções. Entretanto, a fabricação de vasos esféricos é mais complexa e dispendiosa, exigindo processos de soldagem de alta precisão e controle rigoroso de qualidade. Por esse motivo, são mais utilizados em sistemas de armazenamento de gases comprimidos e líquidos voláteis, nos quais a segurança e a resistência à pressão são prioritárias (Santos, 2022).

As tampas elípticas, semiesféricas e torisféricas são amplamente aplicadas nas extremidades dos vasos de pressão, pois reduzem significativamente as concentrações de

tensões que ocorrem nas regiões de transição entre o corpo e as tampas. As tampas elípticas são as mais comuns, oferecendo um bom equilíbrio entre resistência mecânica e facilidade de fabricação. Já as tampas semiesféricas proporcionam melhor desempenho estrutural, mas demandam maior precisão na conformação. As tampas torisféricas, por sua vez, são uma solução intermediária, muito utilizadas em vasos de grande diâmetro ou pressão moderada, por apresentarem excelente relação entre custo e eficiência (Santos, 2022).

Além da forma e da geometria, a escolha do tipo de construção deve considerar aspectos práticos como o espaço disponível para instalação, o tipo de fluido armazenado e as condições de operação. Vasos horizontais são geralmente empregados quando há restrição de altura ou necessidade de montagem sobre fundações lineares, enquanto os vasos verticais são indicados para espaços reduzidos em planta ou quando é necessário facilitar a separação de fases. Assim, a definição da forma construtiva e geométrica do vaso de pressão não é apenas uma questão de resistência, mas também de otimização do processo, manutenção e segurança, garantindo o melhor desempenho técnico e econômico possível dentro das exigências normativas (Santos, 2022).

**Figura 2:** Vasos de pressão e formas construtivas



Fonte: <https://tercal.com.br/vasos-de-pressao/>

## FUNDAMENTOS DO CÁLCULO DE ESPESSURA MÍNIMA DE PAREDE

O cálculo da espessura mínima de parede é um dos elementos mais críticos no projeto de vasos de pressão, pois define a resistência estrutural necessária para suportar as condições de operação com segurança. De acordo com Henn e Konno (2022), esse cálculo tem como principal finalidade evitar deformações plásticas, rupturas e colapsos decorrentes da pressão interna. A espessura deve ser dimensionada de forma a garantir que as tensões geradas permaneçam dentro dos limites admissíveis do material, levando em consideração as

características geométricas do vaso e o tipo de esforço predominante, seja ele circunferencial, longitudinal ou combinado.

As normas técnicas, como a ASME Section VIII e as correlatas da ABNT, apresentam fórmulas específicas para o dimensionamento da espessura, considerando fatores como pressão interna de projeto, diâmetro do vaso, tensão admissível e coeficiente de junta de solda. Essas equações são derivadas da teoria da casca fina, que estabelece que a espessura da parede deve ser proporcional à pressão e ao diâmetro, e inversamente proporcional à resistência do material. Henn e Konno (2022) destacam que, embora o cálculo teórico seja essencial, ele deve sempre ser complementado por verificações experimentais e inspeções de qualidade.

Também é de relevância a inclusão da margem de corrosão no cálculo da espessura. Como muitos vasos operam em ambientes agressivos ou armazenam fluidos corrosivos, a perda gradual de material ao longo do tempo precisa ser prevista. As normas recomendam a adição de uma espessura extra, denominada “allowance de corrosão”, que garante que, mesmo com o desgaste natural, o vaso mantenha sua integridade estrutural durante toda a vida útil projetada (Henn; Konno, 2022).

Além da corrosão, o processo de fabricação e os métodos de soldagem influenciam diretamente na determinação da espessura mínima. Imperfeições nas soldas, variações na espessura das chapas e tensões residuais são fatores que exigem a adoção de coeficientes de segurança adicionais. Em vasos soldados, por exemplo, aplica-se um fator de junta (E) que reduz a tensão admissível, compensando as possíveis descontinuidades. Esse ajuste é fundamental para evitar falhas localizadas e garantir o desempenho adequado em operação (Henn; Konno, 2022).

O cálculo da espessura mínima deve ser validado por meio de ensaios e verificações não destrutivas, conforme previsto nas normas de projeto. Técnicas como ultrassom, radiografia e ensaios hidrostáticos permitem confirmar a uniformidade da espessura e a ausência de defeitos que possam comprometer a segurança. O cumprimento rigoroso dessas etapas assegura que o vaso de pressão opere dentro dos parâmetros de segurança estabelecidos, prolongando sua durabilidade e reduzindo o risco de acidentes industriais. Dessa forma, o cálculo da espessura mínima não é apenas um requisito normativo, mas um dos pilares fundamentais do projeto mecânico responsável e seguro (Henn; Konno, 2022).

## **CÓDIGOS E NORMAS TÉCNICAS: PRINCIPAIS EXIGÊNCIAS DA ASME SECTION VIII E ABNT NBR 13.531 E CORRELATAS**

Os códigos e normas técnicas representam a base regulatória que orienta o projeto e a fabricação de vasos de pressão, garantindo uniformidade, segurança e confiabilidade nos processos industriais. A ASME Section VIII, amplamente reconhecida internacionalmente, foi desenvolvida pela American Society of Mechanical Engineers e é referência global para o projeto e fabricação de equipamentos sob pressão. Ela estabelece critérios detalhados que abrangem desde o cálculo da espessura das paredes até os procedimentos de soldagem, testes de resistência e inspeção final. Já a ABNT NBR 13.531, norma brasileira, adapta essas diretrizes às condições locais, considerando fatores como disponibilidade de materiais, processos de fabricação e regulamentações trabalhistas e ambientais específicas do Brasil (Oliveira, 2023).

A ASME Section VIII é dividida em três divisões principais, cada uma com diferentes níveis de exigência e aplicação. A Divisão 1 aborda o projeto de vasos de pressão convencionais, com requisitos gerais de cálculo e segurança. A Divisão 2 apresenta critérios mais rigorosos, incluindo análises avançadas de tensões e uso de métodos numéricos, como o elemento finito. Já a Divisão 3 é destinada a vasos de altíssima pressão, utilizados em aplicações críticas, como nas indústrias nuclear e aeroespacial. Essa estrutura de divisões permite a adequação da norma a diferentes graus de complexidade e risco (Oliveira, 2023).

Um dos pontos centrais da ASME Section VIII é o cálculo da pressão de projeto e da espessura mínima das paredes, que devem ser determinados considerando as propriedades do material, a temperatura de operação, o tipo de fluido e os fatores de corrosão. A norma estabelece equações e tabelas específicas para diferentes geometrias, como vasos cilíndricos e esféricos, bem como fatores de segurança mínimos. Além disso, exige que os projetos contemplem uma pressão de teste hidrostático superior à de operação, como forma de validar a resistência estrutural antes do uso comercial (Oliveira, 2023).

A ASME exige a aplicação de procedimentos de soldagem qualificados, com profissionais certificados, além de inspeções rigorosas em todas as etapas. Ensaio não destrutivos, como radiografia e ultrassom, são mandatórios para detectar descontinuidades internas que possam comprometer a integridade do equipamento. A documentação técnica detalhada de todo o processo é obrigatória, garantindo rastreabilidade e conformidade com os padrões de segurança (Oliveira, 2023).

A ABNT NBR 13.531, por sua vez, segue a mesma linha conceitual da ASME, mas incorpora adaptações ao contexto industrial brasileiro. Essa norma define os requisitos mínimos para o projeto, fabricação, inspeção e manutenção de vasos de pressão, bem como para o registro de equipamentos junto aos órgãos fiscalizadores, como o Ministério do Trabalho. A norma brasileira também enfatiza a importância da elaboração de prontuário do vaso de pressão, documento obrigatório que contém todos os dados técnicos do equipamento, desde o projeto até a operação (Oliveira, 2023).

Entre as principais exigências da ABNT NBR 13.531 estão os cálculos de espessura e resistência dos materiais, a definição da pressão de operação e o controle rigoroso das soldas. A norma ainda prevê a obrigatoriedade de inspeções periódicas e ensaios hidrostáticos, realizados sob supervisão de engenheiros habilitados. Essas inspeções são fundamentais para identificar desgastes, trincas ou corrosão que possam comprometer o desempenho e a segurança do vaso. O não cumprimento dessas exigências pode resultar em sanções legais e interdição do equipamento (Oliveira, 2023).

As normas também tratam de aspectos relacionados à segurança operacional e à proteção dos trabalhadores. Tanto a ASME quanto a ABNT estabelecem limites de pressão e temperatura, critérios para seleção de válvulas de segurança e dispositivos de alívio, e orientações para o posicionamento e ancoragem dos vasos. Esses dispositivos são essenciais para evitar acidentes graves, como explosões e vazamentos de substâncias tóxicas ou inflamáveis. Assim, o cumprimento das normas não apenas garante a integridade do equipamento, mas também preserva vidas humanas e o meio ambiente (Oliveira, 2023).

A segurança no projeto, fabricação e operação de vasos de pressão depende não apenas da aplicação das normas ASME Section

VIII e ABNT NBR 13.531, mas também da observância de um conjunto de normas complementares e legislações nacionais que regulamentam aspectos de inspeção, manutenção, qualificação profissional e responsabilidade técnica. Essas normas garantem que o ciclo de vida do equipamento, desde o projeto até o descomissionamento, ocorra dentro dos padrões legais e de segurança exigidos (Oliveira H. G. D., 2023)

No Brasil, o principal instrumento legal que trata de vasos de pressão é a Norma Regulamentadora nº 13 (NR-13), emitida pelo Ministério do Trabalho e Emprego. Ela estabelece os requisitos mínimos para a instalação, operação, manutenção e inspeção desses equipamentos, determinando também a necessidade de treinamento de operadores, elaboração de prontuário técnico e registros de inspeções. A NR-13 é obrigatória em todo o território nacional, sendo considerada um dos marcos regulatórios mais importantes da segurança

industrial (Conceição, 2023). A NR-13 classifica os vasos de pressão em categorias de risco (I a V), levando em conta o produto do volume interno pela pressão de operação. Essa classificação é fundamental para definir a periodicidade das inspeções, o tipo de ensaio requerido e o nível de qualificação dos profissionais envolvidos. Vasos de alta pressão ou grandes volumes se enquadram em categorias superiores, exigindo inspeções mais rigorosas e frequentes (Santos, 2022).

Na NR-13 também se destaca a obrigatoriedade de que todos os vasos de pressão possuam um prontuário técnico, documento que reúne o projeto, os cálculos de dimensionamento, o material utilizado, os procedimentos de fabricação e soldagem, os resultados dos ensaios e o histórico de inspeções. Esse prontuário deve ser mantido atualizado e disponível no local de instalação do equipamento, sendo indispensável em auditorias e fiscalizações (Henn; Konno, 2022).

Além da NR-13, outras normas técnicas da ABNT complementam as diretrizes da NBR 13.531, ampliando a abordagem sobre segurança, inspeção e manutenção. Entre elas, destaca-se a ABNT NBR 15587, que trata da inspeção periódica de vasos de pressão e estabelece critérios para avaliação da integridade estrutural. Essa norma define métodos para determinação da vida remanescente do equipamento e procedimentos de análise de defeitos encontrados durante inspeções (Oliveira H. G. D., 2023).

A ABNT NBR 15378, que aborda os requisitos para inspeção de caldeiras e vasos de pressão em operação. Ela orienta sobre a realização de ensaios não destrutivos, como ultrassom e radiografia, além de prever a documentação dos resultados para fins de rastreabilidade e histórico de integridade. A adoção dessa norma auxilia na padronização dos processos de inspeção, garantindo uniformidade e confiabilidade nos relatórios técnicos (Conceição, 2023).

Complementarmente, a ABNT NBR 12235 fornece diretrizes para o controle de fabricação e qualificação de soldadores e procedimentos de soldagem aplicáveis a vasos de pressão. Essa norma garante que os profissionais e processos utilizados atendam aos níveis de qualidade exigidos pelas normas internacionais. O controle de soldagem é considerado um dos fatores mais críticos na integridade estrutural desses equipamentos (Santos, 2022).

A API 510 (Pressure Vessel Inspection Code), desenvolvida pelo American Petroleum Institute, é outra referência frequentemente aplicada no Brasil em conjunto com as normas da ABNT e da ASME. Ela fornece critérios detalhados para inspeção, reparo, alteração e reclassificação de vasos de pressão, especialmente em indústrias de óleo e gás. A adoção da API 510 assegura compatibilidade com práticas internacionais e é recomendada

para empresas que operam em ambientes de alta criticidade (Henn; Konno, 2022).

ABNT NBR ISO 9712, que define as qualificações e certificações exigidas para profissionais que executam ensaios não destrutivos. Essa norma é essencial para garantir que apenas técnicos devidamente capacitados realizem inspeções, evitando interpretações incorretas de defeitos ou falhas que poderiam comprometer a segurança do vaso (Zeferino, 2023).

A legislação brasileira também exige que a inspeção e manutenção de vasos de pressão sejam executadas sob a responsabilidade de um engenheiro habilitado, devidamente registrado no CREA. Esse profissional deve emitir relatórios técnicos e laudos de integridade, assegurando que o equipamento se encontra em conformidade com as normas e pode continuar operando de forma segura (Conceição, 2023).

Além das exigências de projeto e operação, as normas complementares tratam da gestão de riscos e prevenção de acidentes. A NR- 13, por exemplo, impõe que todas as instalações possuam um plano de ação emergencial, contendo procedimentos para casos de vazamento, explosão ou falha estrutural. Esses planos devem ser revisados periodicamente e os trabalhadores devem receber treinamento adequado para resposta rápida em situações de emergência (Santos, 2022). Em complemento, a ABNT NBR ISO 45001 pode ser integrada à gestão de vasos de pressão, criando um ambiente de trabalho mais seguro e controlado. A aplicação simultânea de normas técnicas e de gestão fortalece a cultura de segurança nas organizações industriais (Zeferino, 2023).

As normas complementares também abordam os requisitos de registro e certificação de equipamentos. O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) atua como órgão certificador de conformidade, exigindo que vasos de pressão importados ou fabricados no país sejam aprovados de acordo com os padrões nacionais. Esse processo assegura que apenas equipamentos testados e qualificados sejam utilizados em território brasileiro (Oliveira H. G. D., 2023).

A integração entre as normas internacionais (ASME, API) e as nacionais (ABNT, NR-13) cria um sistema robusto de controle técnico e legal. Essa harmonização facilita a importação e exportação de equipamentos, além de assegurar que os projetos brasileiros mantenham equivalência técnica com os padrões globais. Assim, as empresas que seguem essas diretrizes alcançam maior competitividade e confiabilidade no mercado (Conceição, 2023).

O cumprimento dessas normas garante a segurança dos trabalhadores, a integridade das instalações e a preservação ambiental. De forma conjunta, elas consolidam a engenharia

de vasos de pressão como uma prática técnica responsável, baseada em evidências e comprometida com a excelência e a sustentabilidade (Santos, 2022).

## **AVALIAÇÃO DE INTEGRIDADE E CRITÉRIOS DE FALHA**

Avaliação de integridade e critérios de falha A avaliação da integridade dos vasos de pressão envolve a verificação periódica de possíveis falhas ou danos estruturais, como trincas, corrosão, deformações e desgaste. Essa análise pode ser feita por meio de ensaios não destrutivos (ENDs), como ultrassom, líquido penetrante e radiografia. Os critérios de falha são definidos pelas normas técnicas e envolvem limites aceitáveis de dano antes da necessidade de substituição ou reparo. Uma avaliação eficiente permite garantir a continuidade segura da operação, evitando acidentes e paradas não programadas (Conceição, 2023; Oliveira H. G. D., 2023).

Entre os principais métodos empregados para a avaliação de integridade estão os ensaios não destrutivos (ENDs), que permitem detectar imperfeições internas ou superficiais sem comprometer a estrutura do vaso. O ultrassom é amplamente utilizado para medir espessuras e identificar descontinuidades internas, enquanto o líquido penetrante é eficiente para detectar trincas superficiais em regiões críticas, como soldas e bocais. Já a radiografia industrial fornece uma visualização detalhada do interior das juntas soldadas, revelando porosidades, inclusões e outras imperfeições que possam afetar a resistência estrutural (Oliveira H. G. D., 2023).

Esses ensaios devem ser realizados periodicamente, conforme a frequência estabelecida pelas normas técnicas, como a ASME Section VIII e a ABNT NBR 13.531. A periodicidade das inspeções depende de fatores como o tipo de fluido armazenado, a pressão de operação, o histórico de manutenção e o ambiente de exposição. Vasos que operam sob condições severas, como altas temperaturas ou presença de substâncias corrosivas, requerem intervalos de inspeção mais curtos. Conceição (2023) destaca que o monitoramento contínuo das condições do equipamento é uma prática cada vez mais comum, permitindo a detecção precoce de anomalias e a adoção de medidas corretivas imediatas.

Os critérios de falha definidos pelas normas técnicas determinam os limites de aceitação para diferentes tipos de danos. Por exemplo, níveis moderados de corrosão ou pequenas trincas superficiais podem ser toleráveis, desde que não comprometam a integridade global do vaso. No entanto, quando os danos ultrapassam os limites

especificados, torna-se obrigatória a realização de reparos ou a substituição de componentes. Esses limites são estabelecidos com base em análises de resistência residual, garantindo que o equipamento mantenha um fator de segurança adequado mesmo em condições degradadas (Oliveira H. G. D., 2023).

A corrosão é um dos mecanismos de falha mais comuns e preocupantes em vasos de pressão. Ela pode ocorrer de forma generalizada, ou localizada, sendo esta última mais perigosa por causar perfurações em pontos específicos. Para minimizar seus efeitos, utilizam-se revestimentos protetores, sistemas de pintura e controle do pH do fluido de processo. A inspeção visual associada ao ultrassom é uma prática recomendada para identificar áreas críticas e avaliar a taxa de corrosão ao longo do tempo (Conceição, 2023).

Vasos submetidos a ciclos repetitivos de pressão e temperatura sofrem variações contínuas de tensão, o que pode gerar micro trincas que evoluem progressivamente até a ruptura. As normas ASME e ABNT exigem que o projeto considere o número estimado de ciclos de operação e que sejam realizados testes periódicos para avaliar o envelhecimento do material. Oliveira H. G. D. (2023) ressalta que o acompanhamento da fadiga estrutural é fundamental para evitar falhas inesperadas em equipamentos que operam em regime contínuo.

Os resultados obtidos nas inspeções devem ser analisados e registrados em relatórios técnicos que compõem o histórico de integridade do vaso. Esses relatórios subsidiam decisões sobre manutenção preditiva, reparos e substituições, e também servem como documentos obrigatórios em auditorias e fiscalizações. As normas exigem que qualquer intervenção, soldagem ou modificação no equipamento seja devidamente documentada e aprovada por engenheiros habilitados. Essa rastreabilidade é essencial para a gestão de riscos e para a conformidade legal (Conceição, 2023).

A avaliação de integridade e os critérios de falha representam o elo final entre o projeto e a operação segura dos vasos de pressão. Eles asseguram que os equipamentos, mesmo sob envelhecimento natural e desgaste operacional, continuem atendendo aos padrões de segurança exigidos pelas normas internacionais. Uma gestão de integridade eficiente não apenas previne acidentes e reduz custos com paradas inesperadas, mas também reforça a cultura de segurança industrial, elemento indispensável em qualquer instalação que opere com fluidos pressurizados (Oliveira H. G. D., 2023).

## CONCLUSÃO

A análise dos fundamentos teóricos, normativos e construtivos relacionados aos vasos de pressão evidencia a importância de um projeto mecânico criterioso, que assegure tanto a integridade estrutural quanto a segurança operacional dos equipamentos. Esses dispositivos desempenham papel essencial em diversos setores industriais, como o petroquímico, alimentício e energético, e, por operarem sob condições severas de pressão e temperatura, exigem conformidade rigorosa com normas técnicas e práticas de engenharia consolidadas. As normas ASME Section VIII e ABNT NBR 13.531, ao estabelecerem diretrizes detalhadas para projeto, fabricação, ensaio e inspeção, garantem a padronização e a confiabilidade dos vasos de pressão. O atendimento a esses requisitos reduz significativamente os riscos de falhas, assegurando que o equipamento possa operar de forma contínua e segura durante toda a sua vida útil. Além disso, a aplicação correta dos fatores de segurança e o cálculo preciso da espessura mínima da parede representam etapas fundamentais na prevenção de acidentes industriais.

Os estudos sobre esforços, tensões e formas construtivas mostram que a escolha adequada da geometria, dos materiais e dos métodos de fabricação é determinante para o desempenho e a durabilidade dos vasos. A análise das tensões internas, externas, térmicas e residuais permite projetar equipamentos capazes de resistir a diferentes condições de operação, preservando sua estabilidade estrutural e eficiência. Nesse contexto, o dimensionamento e o controle de qualidade tornam-se indispensáveis para garantir que os parâmetros projetados se mantenham dentro dos limites normativos.

A realização periódica de ensaios não destrutivos, associada à correta documentação técnica e à rastreabilidade das inspeções, é um dos pilares da manutenção preditiva moderna. Essa abordagem preventiva não apenas prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também evita paradas inesperadas, reduz custos operacionais e aumenta a segurança dos profissionais envolvidos.

Conclui-se, portanto, que o estudo e a aplicação dos princípios normativos e técnicos no projeto de vasos de pressão não são apenas exigências legais, mas um compromisso ético e profissional da engenharia com a segurança e a eficiência industrial. A integração entre teoria, prática e regulamentação permite o desenvolvimento de equipamentos mais confiáveis, sustentáveis e compatíveis com os padrões internacionais. Assim, o cumprimento rigoroso das normas, aliado a uma gestão de integridade eficiente, é

o caminho para garantir o pleno desempenho dos vasos de pressão e a preservação da vida humana e ambiental nas instalações industriais.

## REFERÊNCIAS

**CONCEIÇÃO, K. V. da.** *Análise da aplicação da NR-13 na gestão de ativos de um conjunto de vasos de pressão: o caso de uma empresa do setor siderúrgico.* 2023.

**DE SOUSA, R. A. F.; et al.** *Determinação estatística da pressão máxima de operação em vasos de pressão. Observatorio de la Economía Latinoamericana*, v. 23, n. 1, e8538–e8538, 2025.

**HENN, B. C.; KONNO, D.** *Vasos de pressão: comparação do dimensionamento de componentes entre as normas ASME Seção VIII Divisão 1 e EN 13445 aplicado à indústria de papel e celulose.* 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2022.

**MARTINS, A. G.; BRANDÃO, S. M.; RODRIGUES, R. F. N.** *Manutenção e inspeção em vasos de pressão – uma revisão sistemática. Anais do Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias (SINACEN)*, Anápolis, v. 5, n. 2, p. 57–75, 2020. Disponível em: <https://anais.unievangelica.edu.br/index.php/SINACEN/article/view/7598/3756>. Acesso em: [data não informada].

**OLIVEIRA, S. G. de.** *Estudo sobre um caso prático de inspeção de vaso de pressão.* 2023.

**OLIVEIRA, H. G. D. de.** *Metodologia de inspeção para vasos de pressão aplicados à NR-13: um estudo de caso.* 2023.

**SANTOS, V. N.** *Modelagem matemática e otimização de vaso de pressão para armazenamento de hidrogênio verde.* 2022.

**SILVA, K. O.** *Estudo teórico de vasos de pressão de paredes grossas e paredes compostas.* 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) — Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2017. 64 f.

**ZEFERINO, J. de S.** *Otimização global de vaso de pressão com restrições de norma ASME Seção VIII com o algoritmo metaheurístico GSA.* 2023.