UNiSA Universidade de Santo Amaro

Pluralistas

Análise mecânica e proposta de melhoria em faca de válvula guilhotina utilizando aço inoxidável AISI 420 temperado

Mechanical analysis and improvement proposal for knife gate valve blade using hardened AISI 420 stainless steel

Tiago Luiz Machado[1]
Pedro Hitalo Rodrigues Luz[2]
Me. Vanderlei Araújo Militão[3]
Me. Ismael Mendonça Rezende[4]
Me. Antônio Jose do Couto Pitta[5]
Dr. Caique Movio Pereira de Souza[6]

Resumo

Válvulas de guilhotina são utilizadas em processos industriais que exigem controle e bloqueio de fluidos com partículas sólidas e condições abrasivas. Este trabalho apresenta uma análise mecânica aplicada à faca de válvula guilhotina DN 200, comparando o desempenho estrutural dos aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420 temperado. Foram analisados parâmetros relacionados à tensão de flexão, limite de escoamento e resistência mecânica dos materiais. Os resultados demonstraram desempenho superior do aço AISI 420, apresentando maior resistência ao desgaste e menor deformação sob pressão de operação, aumentando a vida útil e a confiabilidade da válvula.

Palavras chaves: Válvula guilhotina; Aço inoxidável AISI 420; Desgaste abrasivo.

Abstract

Knife gate valves are used in industrial processes that require flow control and sealing under abrasive operating conditions involving fluids with solid particles. This study presents a mechanical analysis applied to a DN 200 knife gate valve blade, comparing the structural performance of AISI 304 stainless steel and hardened AISI 420 stainless steel. Parameters related to bending stress, yield strength, and mechanical resistance of the materials were analyzed. The results demonstrated superior performance of AISI 420 steel, presenting higher wear

[1,2,4,5,6] Universidade Santo Amaro
[3]Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI

resistance and lower deformation under operating pressure, increasing the valve service life and operational reliability.

Keywords: Knife gate valve; AISI 420 stainless steel; Abrasive wear.

Introdução

As válvulas de guilhotina são amplamente utilizadas em sistemas industriais destinados ao bloqueio e controle de fluxo de fluidos com elevada concentração de partículas sólidas, materiais abrasivos e meios de elevada viscosidade. Esse tipo de válvula apresenta como principal característica a utilização de uma lâmina metálica, denominada faca, responsável pela interrupção total ou parcial do fluxo durante o processo operacional. Devido às condições severas de operação, os componentes internos da válvula estão sujeitos a elevados esforços mecânicos, desgaste abrasivo e deformações estruturais ao longo de sua vida útil (Marchiori, 2017).

A faca da válvula guilhotina desempenha função fundamental na vedação e no controle operacional do sistema, sendo diretamente submetida a tensões de flexão, esforços de cisalhamento e contato contínuo com partículas sólidas presentes nos fluidos transportados. Em aplicações industriais envolvendo papel e celulose, mineração, saneamento, indústrias químicas e processos de tratamento de efluentes, falhas estruturais nesse componente podem comprometer significativamente a estanqueidade da válvula, reduzindo sua confiabilidade operacional e aumentando os custos de manutenção.

Tradicionalmente, a fabricação de facas de válvulas guilhotina utiliza aços inoxidáveis austeníticos, principalmente o aço AISI 304, devido à sua elevada resistência à corrosão e boa tenacidade mecânica. Entretanto, apesar de apresentar excelente desempenho em ambientes corrosivos, o aço AISI 304 possui dureza relativamente baixa quando comparado aos aços inoxidáveis martensíticos, tornando-se mais suscetível a desgaste abrasivo, deformação plástica e perda de estabilidade dimensional em aplicações submetidas a elevadas solicitações mecânicas (Callister, 2018).

Em contrapartida, o aço inoxidável AISI 420 apresenta maior teor de carbono e possibilidade de tratamento térmico por têmpera, permitindo obtenção de elevados níveis de dureza e maior resistência ao desgaste. Sua microestrutura martensítica proporciona melhor comportamento mecânico em aplicações sujeitas à abrasão, impacto e esforços de corte, características importantes para componentes utilizados em válvulas industriais (Macedo, 2016). Dessa forma, a substituição do aço AISI 304 pelo aço AISI 420 temperado pode representar uma alternativa tecnicamente viável para aumento da durabilidade e desempenho operacional da faca da válvula guilhotina.

Além das propriedades metalúrgicas dos materiais, a análise de tensões mecâ-

nicas e deformações estruturais representa um aspecto essencial na avaliação da integridade da faca da válvula. Conceitos relacionados à resistência dos materiais, tensão de flexão, limite de escoamento e distribuição de tensões tornam-se fundamentais para compreensão das falhas observadas em componentes submetidos a carregamentos elevados e condições operacionais severas (Callister, 2018).

Diante desse contexto, este trabalho apresenta uma análise mecânica aplicada à faca de válvula guilhotina DN 200, comparando o comportamento estrutural dos aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420 temperado. A pesquisa foi desenvolvida a partir de um estudo de caso industrial envolvendo falhas por deformação permanente em facas fabricadas em aço AISI 304, propondo uma melhoria de projeto baseada na substituição do material construtivo. Foram avaliados parâmetros relacionados à tensão de flexão, resistência mecânica, limite de escoamento e desempenho estrutural sob pressão de operação, buscando demonstrar tecnicamente os ganhos obtidos com a utilização do aço AISI 420 endurecido.

Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvida por meio de um estudo de caso industrial voltado à análise mecânica e proposta de melhoria da faca de válvula guilhotina DN 200. A pesquisa teve como objetivo avaliar o comportamento estrutural de facas fabricadas em aço inoxidável AISI 304 e comparar seu desempenho mecânico com facas produzidas em aço inoxidável AISI 420 temperado, considerando parâmetros relacionados à resistência mecânica, tensão de flexão, desgaste e deformação estrutural.

Inicialmente, foi realizada revisão bibliográfica em livros, artigos científicos, normas técnicas e documentos relacionados à resistência dos materiais, metalurgia dos aços inoxidáveis e aplicações industriais de válvulas guilhotina. Essa etapa permitiu compreender as propriedades mecânicas e metalúrgicas dos aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420, bem como os principais mecanismos de desgaste e falhas estruturais associados a componentes submetidos a esforços mecânicos severos.

A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma ocorrência técnica registrada em ambiente industrial envolvendo falha operacional em válvula guilhotina utilizada em linha de processo, como mostrado na Figura 1. O problema identificado estava relacionado à deformação permanente da faca fabricada em aço inoxidável AISI 304, comprometendo o funcionamento adequado do sistema de vedação e bloqueio de fluxo da válvula.

Figura 1 — Faca de válvula guilhotina DN 200 apresentando deformação estrutural após operação industrial.



Fonte: Própria do Autor.

Durante a análise preliminar foram observados empenamento da lâmina, desgaste localizado e falhas na vedação da válvula, indicando que o material originalmente utilizado apresentava limitações mecânicas para as condições operacionais do processo. A partir dessa constatação, foi proposta a substituição do aço inoxidável AISI 304 pelo aço inoxidável AISI 420 submetido a tratamento térmico de têmpera, visando aumentar a dureza superficial e a resistência ao desgaste abrasivo.

Foram analisadas propriedades mecânicas dos materiais, incluindo limite de escoamento, dureza, resistência à tração e comportamento estrutural sob carregamento mecânico. A avaliação foi conduzida com base em conceitos de resistência dos materiais e tensão de flexão aplicados à geometria da faca da válvula. As análises consideraram as condições reais de operação da válvula DN 200 submetida a pressões de trabalho compatíveis com sistemas industriais Classe 150, vistas na Figura 2.

Figura 2 — Comparação visual entre faca fabricada em aço AISI 304 deformada e faca fabricada em aço AISI 420 temperado.



Fonte: Própria do Autor.

As tensões atuantes sobre a faca da válvula foram avaliadas por meio de modelagem analítica baseada em equações de tensão de flexão e distribuição de esforços mecânicos ao longo da peça. Foram considerados parâmetros geométricos da faca, incluindo largura, espessura e comprimento total, permitindo estimativa da região crítica sujeita à maior concentração de tensões mecânicas.

Além das análises teóricas, foram realizados testes práticos em bancada para validação do desempenho estrutural da faca produzida em aço AISI 420 temperado. Os ensaios foram conduzidos sob condições de pressão hidráulica progressiva, avaliando deformações permanentes, estabilidade dimensional e comportamento mecânico da peça durante o funcionamento da válvula.

Figura 3 — Desenho técnico da faca DN 200 com dimensões geométricas utilizadas nas análises mecânicas.



Fonte: Própria do Autor.

Os resultados obtidos foram comparados entre as duas configurações de material, permitindo avaliação da eficiência da modificação proposta no projeto. A análise comparativa considerou fatores relacionados à resistência ao desgaste, deformação estrutural, limite de escoamento e desempenho operacional da válvula durante os ensaios hidrostáticos realizados em bancada industrial.

Resultados e discussão

A análise inicial da faca da válvula guilhotina fabricada em aço inoxidável AISI 304 evidenciou deformações permanentes após operação em linha industrial submetida a esforços mecânicos elevados e presença de partículas abrasivas no fluido de processo, como observado na Figura 4. As inspeções visuais identificaram empenamento da lâmina, desgaste superficial acentuado e comprometimento da vedação da válvula, fatores que afetaram diretamente o desempenho operacional do equipamento.

Figura 4 — Faca de válvula guilhotina DN 200 apresentando desgaste e deformação estrutural após operação industrial.



Fonte: Própria do Autor.

As falhas observadas indicaram que o aço AISI 304, apesar de apresentar elevada resistência à corrosão, possuía limitações relacionadas à dureza e resistência ao desgaste para as condições específicas de operação da válvula. A elevada ductilidade característica do aço inoxidável austenítico favoreceu deformações permanentes da faca durante os ciclos de abertura e fechamento da válvula sob pressão de operação.

A análise comparativa das propriedades mecânicas demonstrou diferenças significativas entre os aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420 temperado. O aço AISI 420 apresentou maior dureza, maior limite de escoamento e maior resistência ao desgaste abrasivo quando comparado ao AISI 304, tornando-se mais adequado para aplicações submetidas a elevados esforços mecânicos e contato contínuo com partículas sólidas.

Tabela 1 — Comparativo das propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420 temperado.

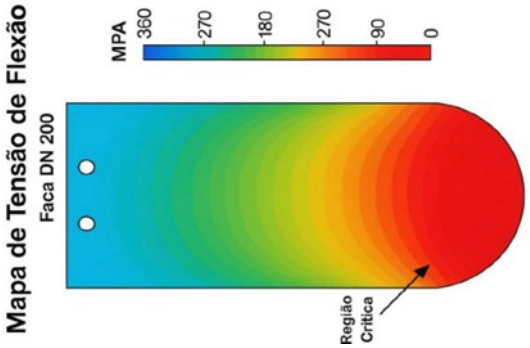
Propriedades	Aço AISI 420	Aço AISI 304
Tipo	Martensítico	Austenítico
Dureza	513 HV	300 HV
Resistencia a corrosão	Bom	Excelente
Resistencia ao calor	Até 650 °C	Até 870 °C
Usinabilidade	Boa (recozida)	Boa

Fonte: Própria do Autor.

Os resultados obtidos demonstraram que o aço AISI 420 apresentou melhor comportamento estrutural sob carregamento mecânico, suportando maiores tensões sem ocorrência de deformação permanente. Enquanto o aço AISI 304 apresentou tendência ao escoamento plástico em condições próximas à pressão operacional da válvula, o aço AISI 420 temperado manteve estabilidade dimensional mesmo sob condições severas de carregamento.

A distribuição das tensões de flexão ao longo da faca evidenciou concentração máxima de tensões na região de fixação da peça, local diretamente associado às falhas observadas no componente fabricado em aço AISI 304. Essa região apresentou comportamento crítico devido à combinação entre momento fletor elevado e restrição geométrica do engaste da faca ao conjunto da válvula.

Figura 5 — Mapa de tensão de flexão aplicado à faca DN 200 indicando região crítica de concentração de tensões.



Fonte: Própria do Autor.

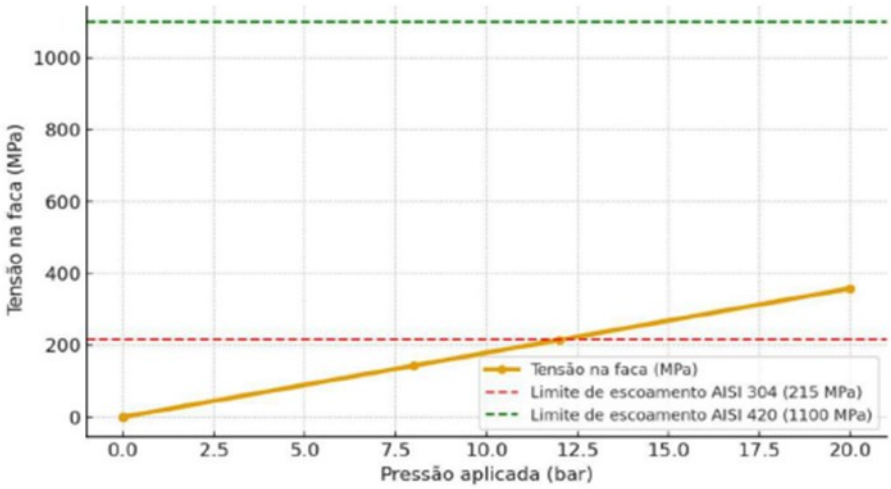
A análise mecânica demonstrou que as tensões atuantes sobre a faca fabricada em aço AISI 304 ultrapassavam o limite de escoamento do material durante determinadas condições operacionais, justificando tecnicamente as deformações permanentes observadas em campo. Em contrapartida, o aço AISI 420 temperado apresentou limite de escoamento significativamente superior, proporcionando maior fator de segurança estrutural durante a operação da válvula.

Além da resistência mecânica superior, o aço AISI 420 apresentou melhor desempenho relacionado à resistência ao desgaste abrasivo. A maior dureza superficial obtida após tratamento térmico reduziu significativamente o desgaste na região de contato entre a faca e os elementos de vedação da válvula, contribuindo para aumento da vida útil operacional do conjunto.

Os ensaios hidrostáticos realizados em bancada industrial validaram o desempenho estrutural da faca produzida em aço AISI 420 temperado, como apresentado na Figura 6. Durante os testes, a válvula suportou pressões de operação de até 20 bar

sem ocorrência de deformações permanentes ou comprometimento da vedação, demonstrando estabilidade estrutural superior em relação à configuração original em aço AISI 304.

Figura 6 — Relação entre pressão aplicada e tensão equivalente na faca da válvula guilhotina DN 200.



Fonte: Própria do Autor.

A análise gráfica da relação entre pressão aplicada e tensão mecânica demonstrou que o aço AISI 304 operava próximo ao limite de escoamento em condições de pressão elevadas, enquanto o aço AISI 420 permaneceu dentro de uma faixa segura de operação durante todo o ensaio. Esse comportamento confirma tecnicamente a superioridade mecânica do aço martensítico para aplicações industriais que exigem elevada resistência estrutural e estabilidade dimensional.

Outro aspecto relevante observado durante os testes foi a redução da deformação elástica da faca fabricada em aço AISI 420, como mostrado na Figura 7. A maior rigidez estrutural proporcionou melhor alinhamento da peça durante os movimentos de abertura e fechamento da válvula, contribuindo para maior eficiência na vedação e redução do desgaste prematuro dos componentes internos.

Figura 7 — Comparação entre distribuição de tensões na faca fabricada em aço AISI 304 e na faca fabricada em aço AISI 420 temperado.



Fonte: Própria do Autor

Os resultados obtidos demonstram que a substituição do aço inoxidável AISI 304 pelo aço inoxidável AISI 420 temperado representa uma solução tecnicamente eficiente para aumento da confiabilidade operacional de válvulas guilhotina submetidas a condições severas de operação. A melhoria proposta proporcionou aumento da resistência mecânica, redução do desgaste abrasivo e maior estabilidade estrutural da faca durante os ensaios operacionais realizados.

Conclusão

A análise mecânica aplicada à faca de válvula guilhotina DN 200 permitiu avaliar o comportamento estrutural dos aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 420 temperado em condições industriais submetidas a elevados esforços mecânicos e desgaste abrasivo. Os resultados obtidos demonstraram que o aço AISI 304, apesar de apresentar elevada resistência à corrosão, possui limitações relacionadas à dureza e resistência ao escoamento quando aplicado em componentes sujeitos a tensões elevadas e contato contínuo com partículas sólidas.

As falhas observadas na faca fabricada em aço AISI 304 evidenciaram deformações permanentes associadas à baixa resistência mecânica do material frente às condições operacionais da válvula. A análise de tensão de flexão demonstrou que as tensões atuantes ultrapassavam o limite de escoamento do aço austenítico durante determinadas condições de pressão, justificando tecnicamente os empenamentos observados no componente original.

Em contrapartida, o aço inoxidável AISI 420 temperado apresentou desempenho estrutural significativamente superior, proporcionando maior dureza, maior resistência ao desgaste abrasivo e maior estabilidade dimensional durante os ensaios realizados. Os testes hidrostáticos demonstraram que a faca produzida em aço AISI 420 suportou pressões de operação de até 20 bar sem ocorrência de deformações permanentes, validando tecnicamente a substituição do material original.

Além do aumento da resistência mecânica, a utilização do aço AISI 420 contri-

buiu para melhoria da confiabilidade operacional da válvula guilhotina, reduzindo o desgaste da faca e aumentando a vida útil do conjunto. A maior rigidez estrutural observada no material martensítico favoreceu melhor desempenho da vedação e redução das falhas operacionais associadas ao desalinhamento da lâmina.

Dessa forma, conclui-se que a substituição do aço inoxidável AISI 304 pelo aço inoxidável AISI 420 temperado representa uma solução tecnicamente viável para aplicações industriais que exigem elevada resistência mecânica, estabilidade dimensional e resistência ao desgaste abrasivo. O estudo também reforça a importância da correta seleção de materiais em projetos mecânicos industriais, demonstrando que a análise integrada entre propriedades metalúrgicas e resistência dos materiais é fundamental para aumento da confiabilidade e desempenho operacional de componentes submetidos a condições severas de trabalho.

Referências

ACOVISA. Tabela comparativa de durezas e resistências: ASTM E140. São Paulo, 2013. Disponível em: https://acovisa.com.br/wp-content/uploads/2013/08/tabelacomparativadedurezas.pdf. Acesso em: 26 maio 2026.

AÇOS NOBRE. Tudo sobre o aço inox 420. Disponível em: https://acosnobre.com.br. Acesso em: 26 maio 2026.

APERAM. O que é aço inoxidável. Disponível em: https://www.aperam.com/pt-br/o-que-e-aco-inoxidavel. Acesso em: 26 maio 2026.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DELBO VÁLVULAS INDUSTRIAIS. Registro de Reclamação Técnica nº 0110/25. São Paulo, 2025.

HXSS. Comparação entre aço inoxidável AISI 304 e AISI 420. Disponível em: https://pt.huaxiao-ss.com. Acesso em: 26 maio 2026.

MACEDO, M. M. Influência do tratamento térmico de revenimento na tenacidade à fratura dinâmica e na tenacidade à fratura assistida pelo ambiente de um aço inoxidável martensítico AISI 420. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

MARCHIORI, B. C. Aumento de confiabilidade de válvulas guilhotina de um sistema de despoeiramento. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MATWEB. Material Property Data: AISI 304 and AISI 420 Stainless Steel. Disponível em: https://www.matweb.com. Acesso em: 26 maio 2026.

SCIELO. Comportamento dos aços inoxidáveis submetidos a diferentes condições de lubrificação. Disponível em: https://www.scielo.br. Acesso em: 26 maio 2026.