

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO MECÂNICO DE UMA CHAVE DE BOCA COM DIFERENTES MATERIAIS E GEOMETRIAS VIA SIMULAÇÃO NO SOLIDWORKS

Daniel Correia Dias¹
Carlos Eduardo Marques Cerqueira²
Michel Pedrosa Machado³
Mateus Zanirate de Miranda⁴
João Antônio Sabino Júnior⁵
Renata Pessoa Bifano⁶
Imaculada Gomes Coelho⁷

michel.p.machado@hotmail.com

ÁREA DO CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

O presente trabalho realizou uma análise comparativa do desempenho mecânico de uma chave de boca em duas configurações geométricas — modelos 10x11 e 27 mm — utilizando diferentes materiais metálicos: aço carbono simples, aço cromo inoxidável e aço carbono fundido. O estudo fundamenta-se no Método dos Elementos Finitos, aplicado por meio do software SolidWorks Simulation®, com vistas à avaliação estrutural estática e à resposta em regime de fadiga. A metodologia adotada envolveu modelagem tridimensional das geometrias, seleção dos materiais disponíveis no SolidWorks, malhas por elementos sólidos e aplicação de carregamentos unificados. Os resultados indicam que a geometria exerce influência decisiva sobre a distribuição de tensões e sobre a integridade estrutural: a chave 10x11 apresentou maior concentração de tensões e danos por fadiga, independentemente do material utilizado, ao passo que a chave 27 demonstrou desempenho superior, especialmente quando combinada ao aço inoxidável. O estudo demonstra a relevância da simulação computacional no projeto de ferramentas manuais, permitindo avaliar com precisão os efeitos da geometria e do material sobre o desempenho mecânico, contribuindo para o aperfeiçoamento técnico, a redução de custos com protótipos e a segurança funcional dos dispositivos.

PALAVRAS-CHAVE: simulação computacional; método dos elementos finitos; SolidWorks; análise estrutural; ferramentas manuais.

¹ Discente do curso de Engenharia Mecânica - UNIVERTIX

² Docente do curso de Engenharia Mecânica- UNIVERTIX

³ Docente do curso de Engenharia Civil- UNIVERTIX

⁴ Docente do curso de Engenharia Civil - UNIVERTIX

⁵ Docente do Curso de Engenharia Civil- UNIVERTIX

⁶ Docente do curso de Engenharia Civil - UNIVERTIX

⁷ Docente do Curso de Engenharia Civil - UNIVERTIX

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Mecânica é uma área de elevada complexidade aplicada, responsável pelo desenvolvimento de sistemas operacionais e pela sustentação técnico-científica de estruturas em múltiplas escalas. Nesse contexto, o Método dos Elementos Finitos (MEF) consolida-se como uma ferramenta de análise numérica indispensável, permitindo prever, com elevada precisão, o comportamento de componentes submetidos a diferentes regimes de carga (Carneiro; Carneiro; Silva 2020). Segundo Borges; Almeida e Bonfim (2023), sua adoção no ambiente de projeto reduz os ciclos de prototipagem, os custos experimentais e antecipa a validação de soluções estruturais seguras e eficientes.

Ademais, verifica-se, na literatura técnica, uma lacuna significativa quanto à normatização metodológica que subsidie o aprimoramento estrutural de tais ferramentas. Lopes et al. (2020), ao realizarem simulações estruturais em um pórtico de elevação, demonstram que o MEF, aliado a modelagens tridimensionais parametrizadas, permite validar projetos com base em critérios normativos, mesmo em geometrias não convencionais ou em situações limítrofes de uso.

A adoção de softwares de simulação estrutural, como o SolidWorks Simulation®, permite não somente a modelagem tridimensional precisa, mas também a realização de ensaios virtuais por meio do MEF. Pereira et al. (2024) afirmam que essa ferramenta, ao considerar variações geométricas e alternativas de materiais, possibilita a visualização das tensões equivalentes de von Mises, bem como a quantificação de deslocamentos e deformações em condições específicas de carregamento. Com isso, assegura-se maior confiabilidade no processo de desenvolvimento de peças mecânicas, além da possibilidade de redução de custos com prototipagem e testes físicos.

Dessa forma, observa-se um número crescente de investigações que empregam a análise computacional para avaliação comparativa de materiais e geometrias em componentes mecânicos. No entanto, apesar dos avanços supracitados, ainda se constata lacunas referentes à sistematização dessas

análises em ferramentas manuais simples, como a chave de boca, cuja relevância prática justifica a condução de estudos aprofundados. Com isso, estabelece-se a seguinte pergunta-problema que norteia a presente investigação: De que maneira a variação de materiais e geometrias influencia no desempenho mecânico de uma chave de boca, considerando os critérios estruturais obtidos por simulação no software SolidWorks Simulation®?

Diante disso, destaca-se o objetivo deste estudo é comparar o desempenho mecânico de uma chave de boca com diferentes geometrias e materiais por meio do software SolidWorks Simulation®.

Tal pesquisa é relevante na medida em que contribui com o aperfeiçoamento técnico do design de ferramentas, promovendo eficiência, confiabilidade e economia de materiais, com reflexos diretos na segurança dos usuários e no desempenho dos processos industriais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise estrutural de componentes mecânicos exige abordagens matemáticas para contemplar geometrias complexas, condições de contorno diversas, comportamentos materiais variáveis. Nesse contexto, o Método dos Elementos Finitos (MEF) constitui-se como um dos marcos metodológicos expressivos na engenharia contemporânea, permitindo, via discretização do contínuo em subconjuntos finitos, a resolução numérica de sistemas físicos cuja formulação analítica seria inatingível (Andrade, 2023). Como explicitam Almeida et al. (2022), o MEF viabiliza, com elevado grau de precisão, a obtenção de campos de deslocamento, distribuição de tensões e deformações internas em modelos sujeitos a diferentes regimes de carregamento.

O princípio fundamental que rege o MEF está ancorado na minimização da energia potencial total do sistema, hipótese válida sob o regime elástico linear, frequentemente adotado em análises estruturais estáticas. Esse método permite que equações diferenciais, de ordem superior, sejam substituídas por sistemas algébricos matriciais, solucionáveis por técnicas computacionais iterativas. Recktenvald et al. (2022) destacam que essa transposição da modelagem contínua para o domínio

discreto possibilita, com parcimônia matemática, o estudo de estruturas mecânicas que apresentam heterogeneidades geométricas e materiais, sem necessidade de simplificações excessivas.

A eficácia do MEF, contudo, está intrinsecamente relacionada à definição adequada da malha de elementos. A densidade, a forma e a topologia dos elementos impactam diretamente na acurácia dos resultados (Rocha, Trindade Júnior, 2023). Segundo Santos e Silva (2024), regiões críticas, como entalhes, transições abruptas ou áreas de contato devem ser tratadas com refinamento local de malha, garantindo que o campo de tensões reproduza, com fidelidade, o comportamento estrutural real observado nos ensaios experimentais ou aplicações industriais.

Outro aspecto basilar do MEF repousa na caracterização dos materiais empregados. Em análises lineares, como as realizadas neste estudo, adota-se o modelo elástico isotrópico, definido por parâmetros como módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e limite de escoamento. Silva et al. (2024), ao aplicarem o MEF em dispositivos de torque fabricados em compósitos, demonstraram que a alteração desses parâmetros pode modificar substancialmente os pontos de concentração de tensões, os fatores de segurança e o deslocamento máximo observado na estrutura, reforçando a importância da definição precisa do modelo de material.

A aplicabilidade do MEF extrapola os limites das grandes estruturas industriais e atinge também elementos aparentemente simples, como suportes, fixadores e, por analogia, ferramentas manuais. Conforme Araújo (2022) argumenta, a robustez do método o torna apto para validar, simular e otimizar peças mecânicas de qualquer escala, desde que a modelagem tridimensional, as condições de contorno e os critérios de falha estejam adequadamente definidos dentro do ambiente computacional.

A adoção de ferramentas de engenharia assistida por computador (CAE – Computer-Aided Engineering) transformou radicalmente o modo como projetos mecânicos são concebidos, testados e otimizados. Entre os softwares disponíveis no mercado, o SolidWorks Simulation se destaca por sua interface intuitiva, integração nativa com ambientes CAD tridimensionais e robustez na aplicação do Método dos Elementos Finitos. Conforme afirmam Vasconcelos, Diniz e França (2020), essa

plataforma permite ao engenheiro realizar análises estruturais com elevada precisão, simulando as condições reais de carregamento, vínculos e propriedades de material diretamente sobre o modelo geométrico desenvolvido.

José (2022) destaca que a análise comparativa entre diferentes ligas metálicas em peças submetidas a flexão e torção pode revelar variações expressivas nos fatores de segurança, deformações máximas e tensões residuais, o que justifica plenamente a aplicação de testes computacionais para subsidiar decisões de projeto com base em critérios objetivos. A curva tensão-deformação é uma ferramenta essencial para compreender o comportamento mecânico de materiais submetidos a esforços uniaxiais. A inclinação inicial da curva define o módulo de elasticidade (ou módulo de Young), e o ponto de inflexão indica o início do escoamento plástico, fundamental para o dimensionamento seguro de componentes estruturais.

Como argumenta Lopes et al. (2020), a avaliação computacional de esforços em componentes metálicos tem se consolidado como abordagem indispensável na fase de pré-projeto, especialmente quando se busca eficiência material e integridade estrutural em geometrias críticas. Um exemplo notável dessa aplicação é o estudo desenvolvido por Schwaab (2022), no qual se analisou a estrutura de um cubo de roda automotivo submetido a carregamentos direcionais. O autor estudou a distribuição da tensão principal máxima, fornecendo subsídios técnicos para o entendimento das regiões críticas da geometria, cujo comportamento pode comprometer a vida útil do componente se não adequadamente dimensionado.

Esse tipo de representação, conforme destaca Koehler (2023), permite ao engenheiro antecipar falhas, redistribuir espessuras e validar geometrias com base em critérios técnicos objetivos, sem recorrer a prototipagens iniciais dispendiosas. O escopo de aplicação do Método dos Elementos Finitos (MEF) abrange, cada vez mais, componentes estruturais submetidos a exigências específicas de resistência, durabilidade e precisão funcional.

Essa diversidade metodológica confirma a robustez do MEF como recurso de engenharia aplicada. Carvalho (2025), ao investigar a rigidez estrutural da estrutura de uma embarcação em içamento, demonstrou que a simulação computacional

permite identificar zonas críticas de deformação antes mesmo da prototipagem, otimizando tempo, custo e confiabilidade do projeto.

No mesmo sentido, Silva, Chaves e Guidi (2016) aplicou o MEF na análise de um eixo de transmissão, evidenciando a variação das tensões máximas em função da geometria e dos pontos de acoplamento. O estudo, validado por dados empíricos, reforça a importância da definição precisa de malhas, vínculos e materiais para simulações realistas. Esses aspectos são cruciais também na presente pesquisa, que propõe a análise de uma chave de boca submetida a esforços concentrados. De forma análoga, Dias (2023) analisou o braço de corte de estribadeiras automáticas utilizando o método dos elementos finitos, demonstrando que pequenas variações no perfil da lâmina alteram substancialmente o comportamento tensional da ferramenta, reforçando a necessidade de testes comparativos para suporte técnico ao projeto.

3 METODOLOGIA

A investigação seguiu abordagem quantitativa. Essa abordagem, conforme destacado por Itokazu (2023), é amplamente adotada em pesquisas de natureza aplicada que buscam analisar e comparar desempenho de elementos sob diferentes condições, permitindo uma avaliação precisa e quantitativa.

Foi realizada uma avaliação estrutural por simulação numérica utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF), implementado no software SolidWorks Simulation®.

Nesse contexto, foram produzidas duas ferramentas manuais do tipo chave de boca, modeladas em ambientes tridimensionais distintos e extraídas de desenhos técnicos padronizados. As ferramentas possuíam geometrias reais distintas, denominadas Chave 10x11 e Chave 27. Ambas foram construídas com modelagem em escala real e submetidas a um mesmo conjunto de condições de carregamento (força que foi aplicada).

Cada uma das geometrias foi simulada com três diferentes materiais metálicos: aço carbono simples, aço cromo inoxidável e aço carbono fundido, totalizando seis configurações produzidas. A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas dos materiais utilizados.

Tabela 1 - Propriedades Mecânicas dos Materiais Utilizados para simulação da produção das chaves de boca no software *SolidWorks Simulation*®.

Material	Módulo de Elasticidade (N/m ²)	Tensão de Escoamento (MPa)	Coeficiente de Poisson
Aço carbono simples	$2,1 \times 10^5$	220,594	0,28
Aço cromo inoxidável	$2,0 \times 10^5$	172,339	0,28
Aço carbono fundido	$2,0 \times 10^5$	248,168	0,32

Fonte: Dados obtidos no *SolidWorks Simulation*®, versão 2025 (DASSAULT SYSTÈMES, 2025).

A simulação de produção das ferramentas compreendeu cinco etapas principais: modelagem 3D, escolha do material já configurado no software, aplicação das condições de contorno, discretização por malha sólida e análises estáticas e de fadiga. A modelagem tridimensional foi iniciada pela seleção do plano superior (Top Plane), em que foi construído o esboço bidimensional correspondente à vista superior da ferramenta. Foram utilizadas as ferramentas “Line”, “Centerline”, “Arc” e “Circle” para definir o perfil, enquanto as dimensões críticas foram aplicadas por meio do recurso “Smart Dimension”, garantindo que o esboço alcance o status “Fully Defined”. Os desenhos técnicos contendo as dimensões aplicadas na modelagem encontram-se apresentados no Anexo A. Concluída essa etapa, foi realizada a extrusão do contorno (Extruded Boss/Base), conferindo volume inicial ao modelo.

Em seguida, operações de corte (Cut-Extrude) foram aplicadas para gerar os encaixes destinados à fixação com parafusos e porcas. Incorporaram-se, ainda, refinamentos geométricos, como filetes internos e externos (Fillet) com raio de 2 mm e chanfros (Chamfer) nas bordas de ataque, conforme especificado no projeto. Após o detalhamento, foi efetuada uma verificação de integridade utilizando a ferramenta “Evaluate → Check”, e propriedades físicas preliminares serão obtidas por meio da função “Mass Properties”. Finalizada a modelagem, os arquivos foram salvos nos formatos .SLDPRT e .STEP, assegurando compatibilidade com plataformas externas e continuidade das análises.

A seleção dos materiais a serem empregados nas simulações estruturais seguiu critérios técnicos voltados ao desempenho mecânico sob cargas estáticas e cíclicas. Foram considerados três materiais metálicos: aço carbono simples, aço carbono fundido e aço cromo inoxidável. O primeiro foi escolhido por sua resistência à tração e ductilidade; o segundo, por sua robustez volumétrica; e o terceiro, por sua

resistência à corrosão e estabilidade estrutural. A análise se limitou a esses três tipos, pois o objetivo foi realizar uma comparação controlada entre as classes de materiais mais representativas (forjado, fundido e inoxidável). Materiais como aços HSLA (High-Strength Low-Alloy – aços de alta resistência e baixa liga), aços ferramenta e ferros fundidos foram excluídos por estarem fora do escopo comparativo definido, concentrando a pesquisa nos parâmetros de interesse primário.

As condições de contorno foram implementadas no SolidWorks Simulation®, de modo a replicar as restrições e carregamentos reais enfrentados pelas ferramentas durante sua operação. Foram fixadas as faces internas das aberturas menores — 10 mm e 26,24 mm para os modelos 10x11 e 27, respectivamente — com a condição “Fixed Geometry”. Em oposição, a força de operação foi aplicada na segunda abertura, de 11 mm para o modelo 10x11 e 33 mm para o modelo 27, com o vetor orientado perpendicularmente ao plano do esboço. Adotou-se uma carga padronizada de 125 kg (≈ 1.226 N) para todos os modelos e materiais, representando uma condição de carregamento severa, a fim de verificar o comportamento estrutural em situação extrema e permitir comparação direta entre materiais e geometrias. O contato foi modelado como perfeitamente aderente e os modelos considerados contínuos e isotrópicos. A validade das condições foi confirmada utilizando a ferramenta Resultant Forces, evidenciando que já havia equilíbrio entre as forças aplicadas e as reações de apoio.

A discretização foi realizada automaticamente pelo SolidWorks Simulation®, utilizando elementos sólidos tetraédricos ajustados à geometria dos modelos. O software definiu as dimensões e a distribuição da malha, aplicando refinamentos nas regiões de maior complexidade e carregamento. Após a geração, foi feita uma inspeção qualitativa para verificar integridade, continuidade e distribuição adequada, assegurando conformidade com padrões de simulação linear. Concluída a malhação, os modelos foram armazenados com suas respectivas malhas. As imagens das malhas geradas foram apresentadas no Anexo B.

Foram realizadas análises estruturais estática linear e de fadiga de alto ciclo, com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico das ferramentas em diferentes combinações de geometrias e materiais. Para cada estudo, foram determinadas as

ensões equivalentes de von Mises, os deslocamentos máximos e os fatores de segurança, essenciais para avaliar a integridade estrutural. A análise de fadiga foi conduzida com base nos resultados estáticos, utilizando modelos consolidados de dano acumulado. No total, foram executados seis estudos, referentes às duas geometrias e aos três materiais selecionados. Os resultados foram organizados em dois gráficos comparativos e em uma tabela de consolidação, permitindo uma avaliação criteriosa dos efeitos da geometria e do material sobre a resistência estrutural e a durabilidade das ferramentas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DA CHAVE DE BOCA 10X11

A simulação realizada com o aço carbono simples apresentou uma tensão máxima de 248,40 MPa. No estudo de fadiga, observou-se uma vida útil mínima de 8.259,78 ciclos (no ponto crítico), com um dano máximo registrado de 12,11. Estes resultados evidenciam uma vulnerabilidade significativa à fadiga quando submetido a carregamentos cíclicos severos. Torres (2019) aponta que, apesar de o material ser largamente utilizado em estruturas gerais, sua resistência à fadiga demonstrou ser limitada sob as condições aplicadas, o que sugere a necessidade de considerações adicionais de projeto ou tratamento para aplicações com alta ciclagem.

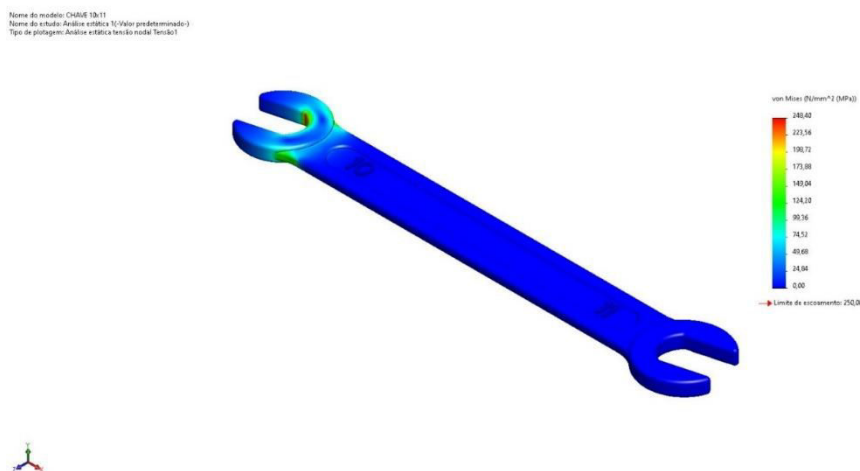
O uso do aço cromo inoxidável elevou a tensão de *von Mises* máxima para 249,66 MPa, com deslocamento máximo mantido em 0,050 mm. Nesse caso, o fator de segurança obtido foi de 0,69, valor inferior a 1, indicando que a tensão atuante ultrapassa a resistência do material, levando ao escoamento sob o carregamento aplicado. Na análise de fadiga, o comportamento não apresentou vantagens significativas: a vida mínima foi também de 8.256,78 ciclos, com dano máximo de 12,11, equivalentes ao desempenho do aço carbono simples. Araújo Júnior (2005) sugere que as propriedades anticorrosivas do inoxidável não se traduzem em melhoria na resistência à fadiga estrutural sob cargas cíclicas invertidas, ressaltando que a resistência à fadiga é influenciada pela microestrutura e pela presença de defeitos.

No cenário com aço carbono fundido, os resultados indicaram uma tensão máxima levemente superior, de 252,61 MPa, com o mesmo deslocamento máximo

observado nas outras simulações. Em fadiga, o aço carbono fundido apresentou o pior desempenho entre os três materiais testados, com uma vida útil mínima de 8.245,54 ciclos e um dano máximo de 12,13, conforme registrado no nó 100944. Essa variação, embora sutil, pode ser explicada por microdefeitos típicos do processo de fundição, que atuam como concentradores de tensão e aceleram a nucleação e propagação de trincas sob cargas cíclicas. Carmo (2011) e Diniz (2023) apontam que aços fundidos podem ter um comportamento em fadiga inferior a aços forjados devido a essas características microestruturais.

A Figura 1 apresenta um exemplo visual da distribuição de tensões obtida por simulação computacional pelo Método dos Elementos Finitos no *SolidWorks Simulation®*, ilustrando a análise estática de uma das geometrias estudadas.

Figura 1 – Exemplo de simulação computacional da análise estática (Método dos Elementos Finitos).



Fonte: *SolidWorks Simulation®*

A análise comparativa demonstra que, embora os três materiais sejam próximos em rigidez, seus desempenhos em termos de resistência ao escoamento e fadiga apresentam variações críticas. O aço carbono simples, apesar de estar no limite da segurança, ainda se apresenta como o mais equilibrado entre desempenho estrutural e resistência à fadiga. Já o aço inoxidável mostrou-se menos seguro em termos de tensão admissível e fator de segurança, e o aço fundido, embora resistente, revelou-se mais suscetível à fadiga devido à natureza de sua microestrutura.

4.2 ANÁLISE DA CHAVE 27

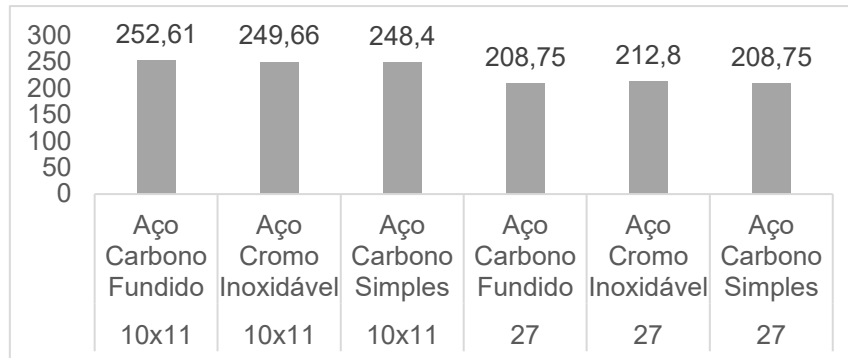
Na simulação estática com aço carbono simples, foi observada uma tensão máxima de 208,75 MPa. Na análise de fadiga, com 1.000 ciclos totalmente invertidos ($ED = -1$), o gráfico de danos apontou um valor máximo de 8,115 em uma das regiões críticas, evidenciando elevada concentração de tensões alternadas. A vida útil mínima foi de 12.323 ciclos, inferior ao limite de vida infinita convencional (10^6 ciclos), o que sugere suscetibilidade à fadiga em uso prolongado ou sob ciclos mais intensos. Torres (2019) destaca que a elevada concentração de tensões alternadas em regiões críticas contribui para essa limitação.

Para o aço cromo inoxidável, os resultados mostraram tensão máxima de 212,80 MPa. Na simulação de fadiga, o dano variou entre 0,100 e 0,378, apresentando um desempenho significativamente superior ao do aço carbono, com vida útil mínima de 264.496 ciclos, muito próxima ao regime de vida infinita. Este resultado reforça a eficiência do aço inoxidável em aplicações sujeitas a carregamentos cíclicos, embora sua resistência à tração inferior possa impactar negativamente no desempenho estático, conforme discutido por Araújo Júnior (2005).

Para o aço carbono fundido, os dados mostraram comportamento intermediário entre os dois anteriores: tensão máxima de 208,75 MPa e, na simulação de fadiga (força aplicada de 125 kgf), revelou dano máximo de 0,337 e vida útil mínima de 296 841 ciclos, indicando maior resistência à fadiga em comparação ao aço carbono simples. Essa similaridade está associada à natureza do material, que compartilha as mesmas propriedades mecânicas e limitações microestruturais, exceto pela diferença de processo produtivo (fundição) que pode impactar na isotropia dos esforços.

A análise dos dados dispostos na Figura 2 revela um conjunto de tensões equivalentes de *von Mises* obtidas por simulação computacional via Método dos Elementos Finitos (MEF). A leitura técnica desses resultados, articulada ao conhecimento estrutural e ao comportamento mecânico dos materiais metálicos, permite inferências de elevada relevância projetual, estrutural e funcional.

Figura 2 – Análise dos resultados (Tensão)

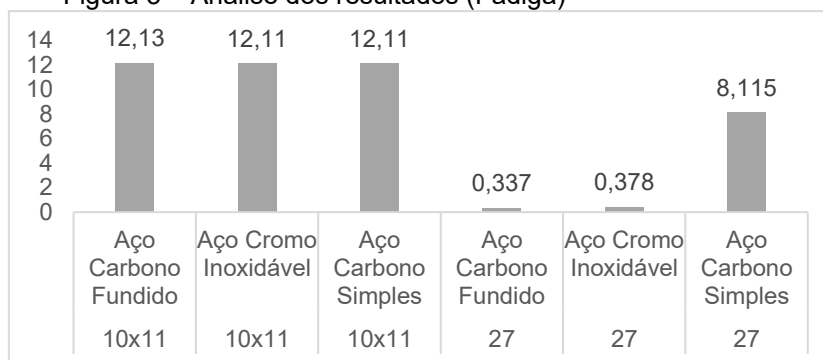


Fonte: dados da pesquisa

A primeira inferência crítica decorre da constatação de que a Chave 10x11, de menor porte e espessura, apresentou, para todas as combinações de material, valores de tensão superiores à Chave 27. A geometria mais compacta da Chave 10x11 impõe à estrutura uma condição de carregamento com maior índice de concentração de tensões, uma vez que há menor área efetiva de distribuição dos esforços de tração e flexão. Trata-se de um fenômeno consagrado na mecânica dos sólidos: quanto menor a seção transversal e maior a restrição de movimento, maior a intensidade tensional por unidade de área, como explicam Beer *et al.* (2017).

A interpretação crítica dos valores de dano máximo obtidos por simulações computacionais estruturadas sob o arcabouço do Método dos Elementos Finitos (MEF) revela aspectos cruciais sobre o comportamento estrutural de ferramentas manuais submetidas a carregamentos cíclicos. A noção de dano apresentado na Figura 3, nesse contexto, refere-se ao índice de degradação progressiva do material em função da repetição de tensões alternadas ao longo de ciclos, até a ocorrência de falha estrutural — seja por nucleação de trincas, propagação instável ou ruptura final, conforme detalhado por Torres (2019).

Figura 3 – Análise dos resultados (Fadiga)



Fonte: dados da pesquisa

A Chave 10x11 apresentou os maiores índices de dano máximo em todas as três configurações materiais. Esses resultados são expressivos e indicam, com clareza, que a totalidade das simulações excedeu o limiar de falha acumulativa, ou seja, todos os modelos não resistiriam ao número de ciclos impostos, independentemente da natureza da liga empregada.

Os resultados numéricos consolidados das duas geometrias e três materiais estão apresentados na Tabela 2

Tabela 2 – Resultados obtidos nas simulações para as chaves 10x11 e 27 mm

Chave de Boca	Material Aço	Tensão equivalente de Von Mises (MPa)	Deslocamento Resultante (mm)	Fator de segurança	Índice de dano	Vida em fadiga (ciclos)
10X11	Carbono Simples	248,4	0,05	1,006	12,11	8259,78
	Cromo Inoxidável	249,66	0,05	0,69	12,11	8256,78
	Carbono Fundido	252,61	0,05	0,982	12,13	8245,54
27	Carbono Simples	208,75	0,001	1,189	8,115	12323,35
	Cromo Inoxidável	212,8	0,025	0,81	0,378	264496,7
	Carbono Fundido	208,75	0,025	1,189	,337	296841,15

Fonte: dados da pesquisa

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo avaliou comparativamente o desempenho de duas geometrias de chaves de boca combinadas a diferentes materiais por meio do Método dos Elementos

Finitos no SolidWorks Simulation. As análises mostraram que geometria e material influenciam tensões, deslocamentos e vida em fadiga, permitindo compreender com precisão o comportamento estrutural dos modelos. Observou-se que a Chave 10x11 concentrou maiores tensões e menor durabilidade, enquanto a Chave 27 apresentou desempenho mais equilibrado, sobretudo com aço carbono fundido, indicando maior resistência sob carregamentos cíclicos. Esses resultados reforçam a relevância do MEF no aprimoramento e comparação estrutural de ferramentas manuais em estudos de engenharia aplicada. Sugere-se, para estudos futuros, a inclusão de análises termomecânicas, a variação de topologias geométricas e a validação experimental dos resultados obtidos por simulação, a fim de ampliar a aplicabilidade dos modelos propostos à engenharia de produto e ao controle de qualidade industrial.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Luan Gondin de. **Projeto de um vaso separador trifásico conforme a norma ASME e análise comparativa entre o método analítico e o método dos elementos finitos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Russas, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69735>. Acesso em: 1 jun. 2025.

ARAÚJO JÚNIOR, Pedro Eliezer de. **Influência de solicitações térmicas na resistência à fadiga do aço AISI 304L**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. Disponível em: http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EngMecanica_AraujoJuniorPE_1.pdf. Acesso em: 1 out. 2025.

ANDRADE, Anderson Guimarães. **Análise estrutural de chassi tipo spaceframe de veículo off-road tipo Baja SAE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, São Mateus, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/1840>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ALMEIDA, Luís Henrique Pereira de; SILVA, Leandro Cardoso da; LUIZ, Nelis Evangelista; YAMAMOTO, Erick Toshio; BALDACONI, Ricardo Hovacker; PESTANA, Carlos César; CARVALHO, Antônio Carlos Lemos; NETO, Norberto Gonçalves. Análise em elementos finitos para o desenvolvimento de sistema de medição da força tangencial em cadeira de rodas com tecnologia assistida. **Revista Científica SENAI-SP: Tecnologia, Inovação & Educação**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 73–88, ago. 2022.

Disponível em: <https://periodicos.sp.senai.br/index.php/rcsenaisp/article/view/6>. Acesso em: 30 abr. 2025.

BEER, Ferdinand Pierre; JOHNSTON JÚNIOR, E. Russell; DEWOLF, John T.; MAZUREK, David F. **Estática e Mecânica dos Materiais**. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2013. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580551655/pageid/0>. Acesso em: 3 out. 2025.

BORGES, Clécia Santos; ALMEIDA, Érica Cristina; BOMFIM, Danilo Silva. Simulação de ensaio mecânico de tração por elementos finitos utilizando o *SolidWorks*. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 12577–12590, abr. 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n4-003. Acesso em: 30 mar. 2025.

CARMO, Denilson José do. **Obtenção e caracterização de aço fundido bainítico com elevada resistência à fadiga mecânica de alto ciclo**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUOS-8MSJ93>. Acesso em: 1 out. 2025.

CARNEIRO, Raylson dos Santos; CARNEIRO, Rogerio dos Santos; SILVA, Kattia Ferreira da. Método dos elementos finitos para a análise de estruturas: comparativo entre solução exata e soluções aproximadas pelo método de Galerkin. **Revista Sergipana de Matemática e Educação Matemática**, Palmas, TO, v. 5, n. 2, p. 407–428, set. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/ReviSe/article/view/13482>. Acesso em: 26 jun. 2025.

CARVALHO, Humberto Cardoso de. **Análise por elementos finitos da estrutura de uma embarcação em içamento por ponto único**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/69496/69496.PDF>. Acesso em: 25 jun. 2025.

DASSAULT SYSTÈMES. *SolidWorks Simulation®* [software]. Versão 2025. Waltham, MA: Dassault Systèmes, 2025.

DIAS, Pedro Oreste. **Análise em braço de corte de estribadeiras automáticas utilizando método de elementos finitos**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Centro Universitário Sagrado Coração, Bauru, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unisagrado.edu.br/jspui/handle/handle/4150>. Acesso em: 25 jun. 2025.

DINIZ, Jorge Luiz Cordeiro. **Análise do comportamento de aços de alta resistência para aplicações estruturais**. 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica e Tecnologia de Materiais) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://dippg.cefet->

<https://ppemm/attachments/article/256/2023TeseJorgeDiniz14521040.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

ITOKAZU, Marcia Ferreira. **Estudo sobre a abordagem quali-quantitativa em dissertações de mestrados profissionais em educação**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário Internacional UNINTER, Curitiba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.uninter.com/handle/1/1413>. Acesso em: 1 abr. 2025.

JOSÉ, Gustavo Alves. **Análise comparativa do desempenho mecânico de ligas β -Ti em implantes ortopédicos como alternativas aos biomateriais metálicos comerciais**. 2022. Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/17440>. Acesso em: 1 jun. 2025

KOEHLER, Bruna Oliveira. **Análise estática pelo método dos elementos finitos de uma estrutura para movimentação de cargas**. 2023. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/266187>. Acesso em: 17 jun. 2025.

LOPES, Lucas Azeredo da Silva; AZEVEDO, Davi Alvarenga; GALLO, Daniel Passos; CERQUEIRA, Niander Aguiar; SOUZA, Victor Barbosa. Análise por elementos finitos de um pórtico rolante para elevação de cargas, de acordo com os critérios da NBR 8400. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, [s.l.], v. 6, n. 2, dez. 2020. Disponível em: <https://reinpec.cc/index.php/reinpec/article/download/604/487/>. Acesso em: 2 abr. 2025.

PEREIRA, Anderson Andreo; SILVA, João Pedro Trajano Gerônimo da; ROSON, Felipe Pisapio Vassalo; RANGEL, Matheus dos Santos; ANDRADE, Gustavo Caravita de . Aplicação do método dos elementos finitos (MEF) em uma plataforma de elevação de paletes. **Revista DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, Curitiba, v. 17, n. 62, p. 01–27, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n62-100. Acesso em: 2 abr. 2025.

RECKTENVALD, Bernardo Eckert; SASSETT, Lucas Lira; MARTOS, João Felipe de Araújo. **Análise por método dos elementos finitos (MEF) de estrutura de um foguete para foguetemodelismo**. In: SIMPÓSIO GAÚCHO DE ENGENHARIA AEROESPACIAL E MECÂNICA, 1., 2022, Santa Maria. Anais [...]. Santa Maria: UFSM, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/30942>. Acesso em: 30 abr. 2025.

ROCHA, Gabriel Rodrigues Gazal; TRINDADE JÚNIOR, Herivelton José Gomes da. **Análise da influência do refinamento da malha de elementos finitos em corpos de prova cilíndricos gerados por otimização topológica na resistência por compressão**. Orientadora: Márcia Silva de Araújo. 2023. 55 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do

Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: [analiserefinamentoelementosfinitos.pdf](#). Acesso em: 12 mai. 2025.

SANTOS, Pedro Henrique Nascimento; SILVA, Leandro Cardoso da. Análise de dinâmica por métodos dos elementos finitos (MEF) em uma peneira vibratória. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 10, n. 7, p. 01–16, 2024. DOI: 10.34117/bjdv10n7-056. Acesso em: 4 19 abr. 2025.

SCHWAAB, Carlos Roberto. **Desenvolvimento de um cubo de roda pelo método de elementos finitos aplicado a um veículo de competição Fórmula SAE**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Automotiva) – Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville, Joinville, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/243163>. Acesso em: 17 jun. 2025.

SILVA, Anderson Andreo Pereira; SILVA, João Pedro Trajano Gerônimo da; ROSON, Felipe Pisapio Vassalo; RANGEL, Matheus dos Santos; ANDRADE, Gustavo Caravita de. **Aplicação do método dos elementos finitos (MEF) em uma plataforma de elevação de paletes**. *Revista DELOS: Desenvolvimento Local Sustentável*, Curitiba, v. 17, n. 62, p. 1–27, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n62-100. Acesso em: 22 mai. 2025.

SILVA, Claudio Aparecido da; SILVA, Leandro Cardoso da; SILVA, Edson Pereira da. Análise por elemento finito em dispositivo de absorção de torque feito em fibra de carbono. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 10, n. 5, p. 01–16, 2024. DOI: 10.34117/bjdv10n5-060. Acesso em: 22 abr. 2025.

SILVA, Fernando de Azevedo; CHAVES, Carlos Alberto; GUIDI, Erick Siqueira. Análise de falha por fadiga em eixo de transmissão utilizando o método dos elementos finitos. **Exacta – EP**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 207–219, 2016. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/6211>. Acesso em: 7 jun. 2025.

TORRES, Natalia Gonçalves. **Estudo experimental da influência de pequenos defeitos na vida à fadiga em aço de baixo carbono**. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/322683169.pdf>. Acesso em: 1 out. 2025.

VASCONCELOS, Felipe Moura; DINIZ, Leonardo Batista; FRANÇA, Ricardo Ferreira. **Análise estrutural através de simulação computacional de uma caçamba de entulho utilizando o método dos elementos finitos**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <https://bib.pucminas.br/pergamumweb/vinculos/000076/0000761f.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2025.